

# Microinterruptor magnético con material híbrido

Fralett Suárez Sandoval

Ingeniería Electrónica, Instituto Tecnológico de Morelia  
“José María Morelos y Pavón”

Beatriz Cristina López Walle

FIME y CIIDIT, UANL

fralett\_520@hotmail.com , beatriz.lopezwl@uanl.edu.mx



## RESUMEN

*En este artículo se reporta el diseño de un microinterruptor fabricado con materiales metálicos y aislantes, convencionales, pero cuyo elemento móvil está hecho de una película de material híbrido compuesta de nanopartículas de óxido de hierro dispersas en una matriz polimérica. La contribución principal de este trabajo es el uso de esta película con la que se construyó un prototipo que trabaja con 24 Vdc de alimentación de la bobina y conduce 0.46 A de corriente máxima a una frecuencia de operación de conmutación de 35 Hz.*

## PALABRAS CLAVE

Nanopartículas, microinterruptor, material híbrido.

## ABSTRACT

*The design of a microswitch fabricated with conventional metallic and isolant materials, but with a movil element made of a film of hibrid material compounded by iron oxide nanoparticles dispersed in a polymeric matrix is reported in this paper. The main contribution of this work is the application of the film that was used for building a protoype that works with 24 Vdc coil feed and is able to conduct 0.46 A of maximum current at a commutation frequency of 35 Hz.*

## KEYWORDS

Nanoparticles, microswitch, hybrid material.

## OBJETIVO

El objetivo de este trabajo consistió en diseñar, fabricar y caracterizar un microinterruptor electromecánico cuyo elemento móvil es un material híbrido compuesto de nanopartículas de óxido de hierro dispersas en una matriz polimérica de carboximetilcelulosa, el cual responde a las variaciones de un campo magnético.

## INTRODUCCIÓN

Los materiales magnéticos nanoestructurados ofrecen propiedades novedosas que están revolucionando la tecnología de las aplicaciones magnéticas. Este tipo de material está constituido por partículas magnéticas de tamaño nanométrico (1

a 100 nm) embebidas en una matriz de un material no magnético. La motivación fundamental para su síntesis y estudio es el cambio dramático de sus propiedades magnéticas<sup>1</sup> derivado de las dimensiones nanométricas de los constituyentes magnéticos y la relación área superficial contra volumen existente.<sup>2</sup> Las partículas llegan a ser tan pequeñas que provocan que cada una se comporte como un magneto independiente<sup>3</sup> y el material exhiba fenómenos inusuales como es el superparamagnetismo.<sup>4</sup> Entre sus aplicaciones más prometedoras se encuentra el grabado magnético,<sup>5</sup> el diagnóstico médico,<sup>6</sup> la liberación controlada de drogas o medicinas,<sup>7</sup> los sensores,<sup>8</sup> etc.

Los nanocompósitos magnéticos han sido producidos en una amplia variedad de matrices como óxidos de silicio,<sup>9</sup> óxidos de aluminio,<sup>10</sup> o vidrio poroso.<sup>11</sup> En algunos de estos casos los procesos de síntesis y/o incorporación tienen alto grado de dificultad, necesitan equipos costosos o requieren materiales poco comunes. Una gran parte de las investigaciones se han enfocado al desarrollo de metodologías y procesos para la incorporación de nanopartículas magnéticas dentro de matrices poliméricas,<sup>12</sup> motivados principalmente por sus interesantes propiedades magnéticas y por su excelente manejabilidad.

La película magnética usada en este trabajo fue producto de una tesis doctoral de la Universidad Autónoma de Nuevo León,<sup>13</sup> para la cual ya se habían realizado ciertas investigaciones con el fin de comprobar sus facultades como actuador.<sup>14</sup>

El microinterruptor diseñado funciona bajo los principios de un relé o relevador, el cual es un dispositivo electromecánico controlado por un circuito eléctrico en el que, por medio de una bobina y un electroimán, se acciona un juego de uno o varios contactos que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes. El relevador fue inventado por Joseph Henry en 1835.

En la figura 1 se presenta, de forma esquemática, la disposición de los distintos elementos que forman un relé de un solo contacto.

Los contactos de un relé pueden ser normalmente abiertos, NA o NO, (Normally Open por sus siglas en inglés), normalmente cerrados, NC, (Normally Closed), o de conmutación:

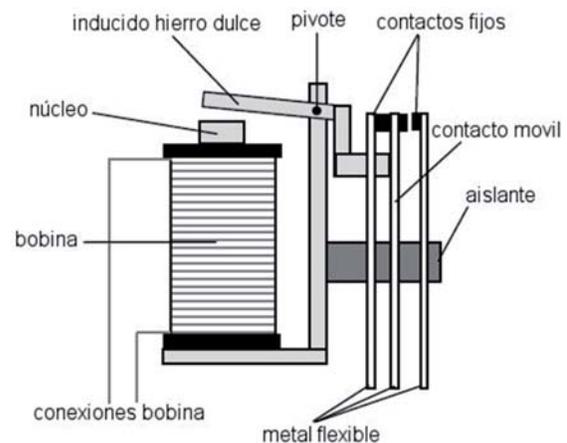


Fig. 1. Esquema de un relevador.

Los contactos normalmente abiertos conectan el circuito cuando el relé es activado; el circuito se desconecta cuando el relé está inactivo. Este tipo de contactos es ideal para aplicaciones en las que se requiere conmutar fuentes de poder de alta intensidad para dispositivos remotos.

Los contactos normalmente cerrados desconectan el circuito cuando el relé es activado; el circuito se conecta cuando el relé está inactivo. Estos contactos se utilizan para aplicaciones en las que se requiere que el circuito permanezca cerrado hasta que el relé sea activado.

Los contactos de conmutación controlan dos circuitos: un contacto NA y uno NC con una terminal común.

La fabricación de los microrelevadores puede realizarse utilizando microtecnologías de fabricación típicamente empleadas en los sistemas microelectromecánicos (MEMS), o mediante el proceso UV-LIGA (*Lithographie, Galvanoformung, Abformung*), tecnología que combina patrones litográficos de UV de muy alta fotorresistencia y un depósito de materiales estructurales dentro de surcos resistentes para posteriormente realizar electroformado y moldeo. Este proceso presenta ventajas como la fabricación de microestructuras de cualquier altura, incluso varios cientos de micrómetros, en cualquier forma de sección transversal. Los micro-relevadores son ampliamente usados en diversas industrias para distintas aplicaciones, como interrupción segura, alto aislamiento y bajo consumo de potencia.<sup>15</sup>

En este trabajo se realizó la sustitución del elemento móvil de un microinterruptor magnético por

un material novedoso híbrido (orgánico/inorgánico). A continuación se presenta la metodología empleada para realizar el diseño del dispositivo, describiendo posteriormente su funcionalidad.

## METODOLOGÍA

Para el diseño del microinterruptor mencionado se propuso y siguió la metodología descrita a continuación.

### Selección de la bobina

En primer lugar, era necesario seleccionar una bobina, la cual debía mostrar la mayor reacción en la película magnética (figura 2).



Fig. 2. Muestra de la película magnética utilizada.

De acuerdo a los datos arrojados por un magnetómetro durante un análisis previo, se sabe que la película que se desea mover necesita una intensidad de campo magnético de  $H=100$  Oe.<sup>16</sup>

Debido a que el objetivo del trabajo no es diseñar una bobina, se optó por encontrar una ya existente con la inductancia capaz de mover lo suficiente a la película antes mencionada.

Para llevar a cabo pruebas con distintas bobinas se implementó el circuito de la figura 3 en el laboratorio.

De acuerdo a la capacidad para generar un campo magnético de la bobina en funcionamiento se observó la atracción que presentaba la película magnética hacia el polo de la bobina.

V1 = 0  
V2 = 18V  
TD = 0  
TR = 1n  
TF = 1n  
PW = .5s  
PER = 1s

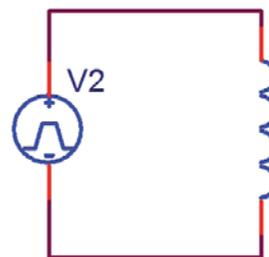


Fig. 3. Circuito implementado en el laboratorio para elegir una bobina.

En las figuras 4 y 5 se puede observar una muestra de la película siendo atraída desde una posición inicial hacia la otra deseada.

Se seleccionó a una bobina en específico, siendo ésta la que mostraba una mayor generación de campo magnético para atraer a la película magnética.

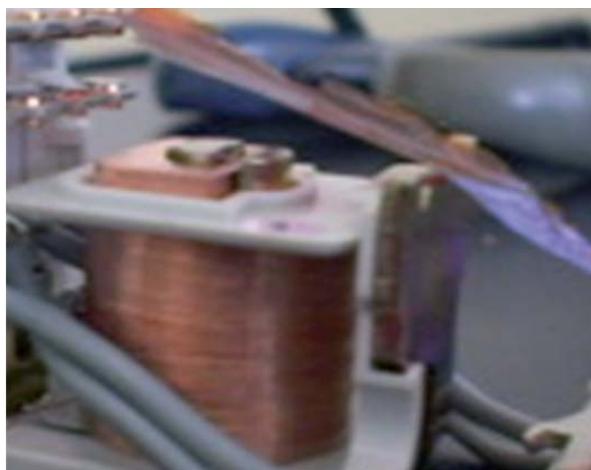


Fig. 4. Posición inicial de la película magnética.



Fig. 5. Posición final de la película magnética.

Era conveniente conocer el valor de la inductancia de la bobina seleccionada, para después corroborar esa medición con cálculos teóricos, con el fin de mostrar congruencia en ambos datos.

### Caracterización de la bobina

Para medir la inductancia de la bobina seleccionada se implementó el circuito de la figura 6 en el laboratorio.

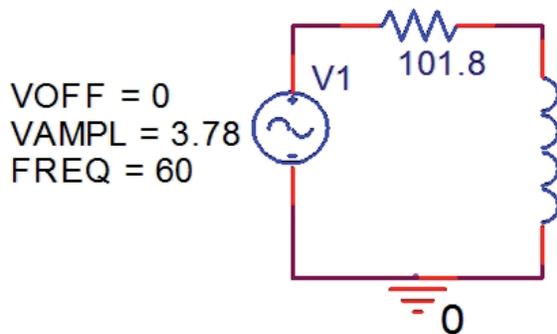


Fig. 6. Circuito implementado en laboratorio para medir la inductancia de la bobina.

Como puede observarse, es un circuito RL en serie. La selección de la resistencia adecuada fue en pro de una buena distribución de voltajes entre ambos elementos, es decir, la resistencia y la bobina, esto para que fueran apreciables en el osciloscopio ambas magnitudes, ya que se notó que la bobina tenía asociada una resistencia de magnitud considerable.

La fuente de voltaje se obtuvo de un generador de funciones marca TEKTRONIX modelo AFG3021. Las formas de onda se midieron con ayuda de un osciloscopio obteniendo las siguientes amplitudes.

$$V_1 = 3.78V \quad (1)$$

$$V_R = 1.4V \quad (2)$$

$$V_L = 3.5V \quad (3)$$

Con los resultados obtenidos de las magnitudes de voltajes se prosiguió a hacer uso del análisis fasorial del circuito implementado para obtener el valor de la inductancia  $L$ .

Se sabe que la impedancia total del circuito es:

$$Z = \sqrt{X_R^2 + X_L^2} \quad (4)$$

De la figura 6, sabemos que

$$X_R = R = 101.8 \Omega \quad (5)$$

$$X_L = \omega Lj = 2\pi fLj = 2\pi(60)Lj = 376.991Lj \Omega \quad (6)$$

El ángulo de retraso del voltaje en la resistencia según lo medido es

$$\theta_R = -60^\circ \quad (7)$$

La corriente que circula por el circuito se puede calcular en magnitud y fase conociendo (2), (5) y (7)

$$I = \frac{V_R \angle \theta_R}{R} = \frac{1.4V \angle -60^\circ}{101.8\Omega} = 13.7524 \text{ mA} \angle -60^\circ \quad (8)$$

Utilizando la ley de ohm se sabe que

$$V_1 = I * Z \quad (8)$$

Lo cual sustituyendo (1), (6) y (8), en magnitud representa

$$3.78V = 13.7524 \text{ mA} * \sqrt{101.8^2 + (376.991L)^2} \quad (9)$$

Despejando el valor de  $L$  de (9) se obtiene:

$$L = \frac{\sqrt{\left(\frac{3.78}{13.7524 \text{ mA}}\right)^2 - 101.8^2}}{376.991} = 677.2392 \text{ mH} \quad (10)$$

Es necesario comprobar la veracidad del resultado obtenido, por lo cual se recurre en primer lugar, a la simulación del circuito y posteriormente al cálculo teórico.

La simulación se llevó a cabo en Capture CIS del paquete de simulación (OrCAD 10.5). Se tomaron mediciones de voltajes en los elementos y de la corriente en el circuito. Las figuras 7 a 10 muestran los resultados obtenidos.

Para corroborar los valores se debe de recordar que la suma de las caídas de tensiones, en este caso con ángulos de defase, debe ser igual al valor de la fuente de alimentación. Tomando en cuenta lo anterior y considerando el circuito de la figura 6 se puede observar que

$$V_1 = V_L + V_R = 3.5112 \angle 21.8657^\circ + 1.4 \angle -68.3883^\circ$$

Pasando de coordenadas polares a cartesianas las expresiones para el voltaje en la bobina y la resistencia.

$$\begin{aligned} V_L &= r \cos(\theta_L) + j r \sin(\theta_L) = \\ &= 3.5112 \cos(21.8657^\circ) + j 3.5112 \sin(21.8657^\circ) = \\ &= 3.258602 + 1.307684j \\ V_R &= r \cos(\theta_R) + j r \sin(\theta_R) = \\ &= 1.4 \sin(-68.3883^\circ) + j 1.4 \sin(-68.3883^\circ) = \\ &= .5156 - 1.301581j \end{aligned}$$

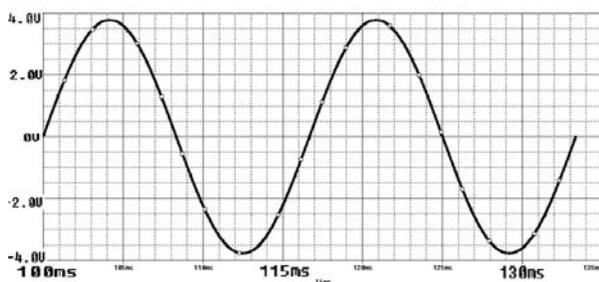


Fig. 7. Voltaje de entrada de amplitud 3.78 V y 60 Hz de frecuencia.

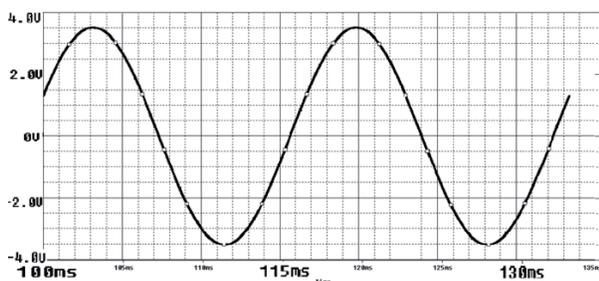


Fig. 8. Voltaje de la bobina de amplitud 3.5112 V, 60 Hz de frecuencia y ángulo de desfase de 21.87°.

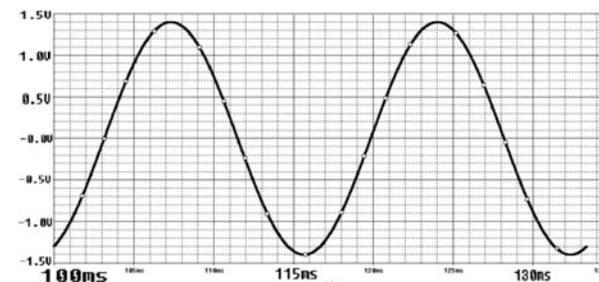


Fig. 9. Voltaje en la resistencia de amplitud 1.4 V, 60 Hz de frecuencia y ángulo de desfase de -68.13°.

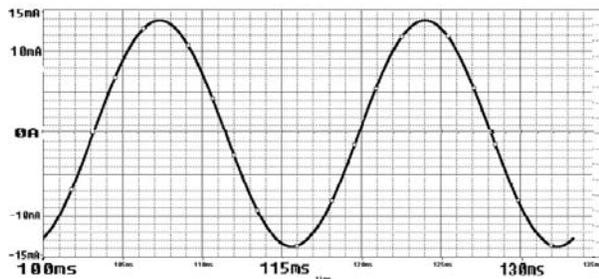


Fig. 10. Corriente del circuito de amplitud 13.738 mA, 60 Hz de frecuencia y ángulo de desfase de -68.13°.

Con lo que se obtiene:

$$V_1 = 3.774202 + 6.103181 \times 10^{-3} j$$

Convirtiéndola a coordenadas polares se tiene

$$V_1 = \sqrt{3.774202^2 + 6.103181 \times 10^{-32}}$$

$$\angle \tan^{-1} \frac{6.103181 \times 10^{-3}}{3.774202} = 3.78 < .0926^\circ$$

Con lo cual se puede observar que la ley de caída de tensiones se cumple. Aún así se observó que existen diferencias entre los ángulos de desfase medidos y los que arroja la simulación. Esto se debe principalmente a que la bobina real no es puramente inductiva y posee una parte resistiva considerable.

Se comprobará la medición de la bobina mediante las leyes del electromagnetismo. El calibre del alambre con el cual se encuentra embobinado el núcleo de M36 Si.Fe laminado en frío<sup>17</sup> es de 32AWG,<sup>18</sup> lo cual dicta que se tiene un diámetro de

$$D = 0.2019 \text{ mm}$$

Y que le circula una corriente máxima de

$$I = .09 \text{ A}$$

Conociendo la intensidad de campo magnético necesaria para mover la película

$$H = 100 \text{ Oe} = 7957.75 \text{ A / m}$$

Se puede calcular la fuerza magnetomotriz tomando en cuenta que la longitud de núcleo de la bobina es de  $l = 0.0113 \text{ m}$  como

$$F_m = (H)l = \left(7957.75 \frac{\text{A}}{\text{m}}\right)(0.0113 \text{ m}) = 89.9225 \text{ A} \cdot \text{v}$$

Por lo cual se obtiene que el número de vueltas necesarias es de

$$N = \frac{F_m}{I} = \frac{89.9225 \text{ A} \cdot \text{v}}{.09 \text{ A}} = 999.1397 \text{ vueltas}$$

De acuerdo al material del núcleo que se usó se sabe que la permeabilidad magnética relativa es de  $\mu_r = 500$ <sup>19</sup> y posee un diámetro de 0.004 m. Con lo cual se puede calcular la permeabilidad absoluta del núcleo como

$$\mu = \mu_0 \mu_r = (4\pi \times 10^{-7}) (500) = 628.31 \times 10^{-6} \frac{\text{Wb}}{\text{A} \cdot \text{m}}$$

Y el área de sección transversal del núcleo como

$$A = \pi (r^2) = (\pi)(0.002)^2 = 12.5663 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

Finalmente se calcula la inductancia de la bobina:

$$L = \frac{N^2 \mu A}{l} = \frac{(999.1397)^2 \left( 628.31 \times 10^{-6} \frac{Wb}{A \cdot v.m} \right) (12.5663 \times 10^{-6} m^2)}{0.0115 m}$$

En consecuencia, como se puede observar, es un valor muy parecido al obtenido experimentalmente. Las pequeñas variaciones son debidas a la pureza del material utilizado para construir el núcleo.

## RESULTADOS

### Diseño del microinterruptor

El microinterruptor tiene como características: funcionalidad de un contacto, expandible a cuatro con independencia de cada uno; 14 *pin*s disponibles para montaje en zócalo de los cuales 2 corresponden para energizar a la bobina, 4 de común, 4 de normalmente cerrado y 4 de normalmente abierto; 24 Vdc de alimentación de la bobina; manejo de 0.46 A de corriente a la salida; frecuencia de entrada de operación de 35 Hz; no encapsulado en fase de pruebas para su manipulación, pero diseñado para ser encapsulado; mica de fibra de vidrio como soporte de la película magnética.

En la figura 11 se puede observar el interruptor diseñado, las dimensiones se dan en la figura 12. En 12 a) se presenta la vista superior ya con la película incluida, la cual es capaz de atraerse a sí misma, así como a la mica de fibra de vidrio y al común. Como se había mencionado antes, sólo uno de los contactos fue modificado.

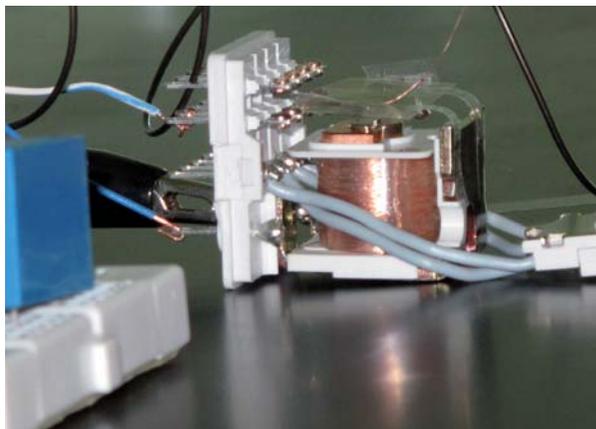


Fig. 11. Micro-interruptor diseñado.

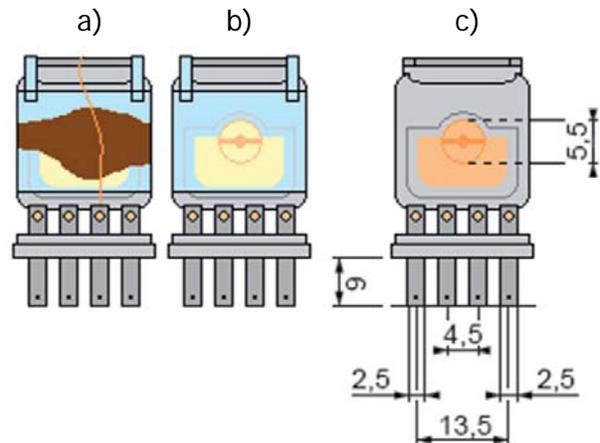


Fig. 12. Vista superior del interruptor: a) con película magnética, b) con mica soporte, c) esquemático acotado (acotaciones en mm).

Las figura 13 a 15 muestran respectivamente la vista lateral, la vista trasera del interruptor diseñado, ya las medidas del zócalo.

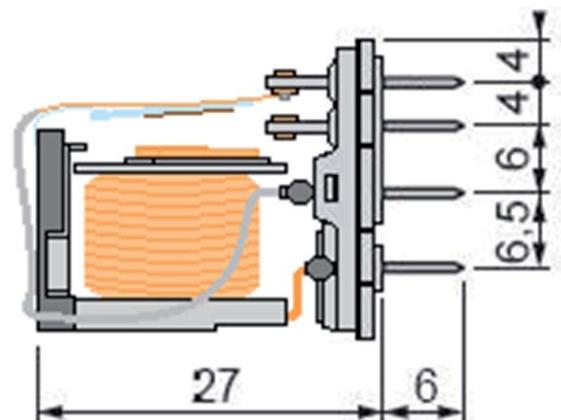


Fig. 13. Vista lateral del interruptor.

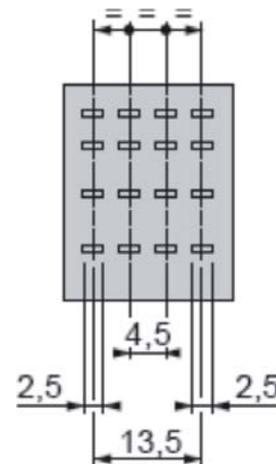


Fig. 14. Vista trasera, muestra los *pin*s del interruptor (acotaciones en mm).

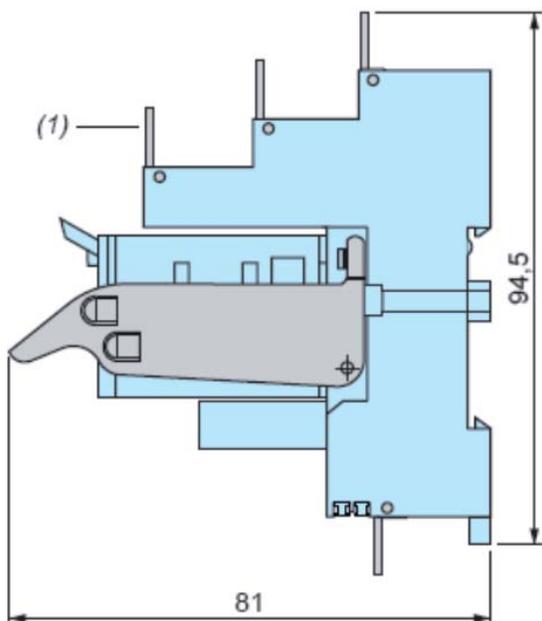


Fig. 15. Vista del zócalo: a) lateral, b) inferior (acotaciones en mm).

### Funcionalidad del microinterruptor

Se necesitaba comprobar la funcionalidad del microinterruptor diseñado, por lo cual se implementó el circuito de la figura 16 en el laboratorio.

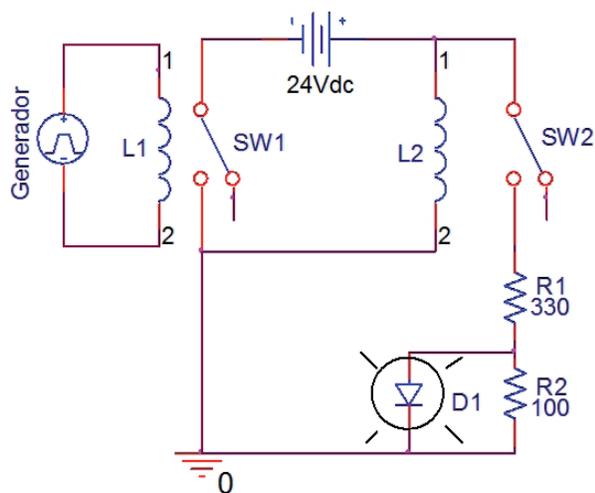


Fig. 16. Circuito implementado para comprobar funcionalidad del microinterruptor.

El relevador adicional, apreciable en la misma figura, le da el pulso a la bobina del interruptor que se construyó en este trabajo, y que permite remontar el voltaje a 24 V, que es el voltaje de excitación de la misma. El circuito de la figura 16 se muestra en funcionamiento en la figura 17.

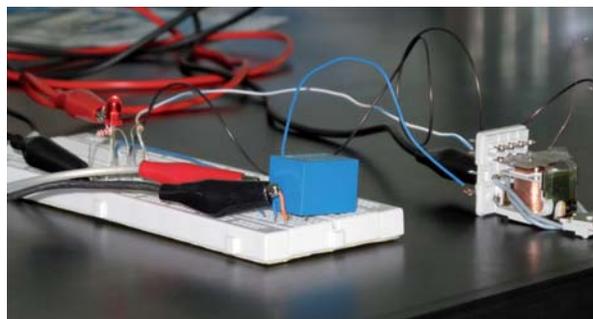


Fig. 17. Circuito real usado para comprobar funcionalidad del microinterruptor (LED encendido).

Como puede observarse en la figura anterior, el abrir y cerrar el contacto del interruptor diseñado se usa para encender y apagar un LED indicador, es decir en el momento en que se cierra el contacto el LED se polariza directamente por medio de un divisor de tensión lo cual ocasiona que se encienda. En la figura 18 se puede observar el proceso inverso, es decir, el contacto se abre y el LED deja de recibir corriente, por lo cual se apaga.

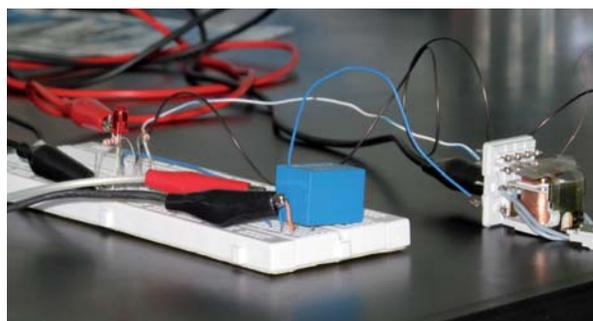


Fig. 18. Circuito real usado para comprobar funcionalidad del microinterruptor (LED apagado).

### CONCLUSIONES

Se construyó un microinterruptor magnético completamente funcional empleando material híbrido (orgánico/inorgánico).

Dado que la película magnética es únicamente capaz de conducir corrientes del orden de los microamperes, se hace necesario añadirle elementos conductores. Sin embargo el calibre de los mismos está limitado a la capacidad mecánica de la película, lo cual afecta la capacidad total de corriente de trabajo.

### AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento al MVZ Carlos H. Jiménez González, Coordinador General

del Programa Delfín, y a la Ing. Obeth Hernández Díaz, Consejera Técnica de dicho programa en el ITM; a la Academia Mexicana de Ciencias, en particular a la Ing. Saraí Malinal Torres Delgado y a la Sra. Ruth Marín; a los doctores Juan Francisco Luna Martínez y Edgar Reyes Melo por facilitar las películas de material híbrido; a la UANL; y a la familia Reynoso Pámanes.

## REFERENCIAS

1. L. E. Brus R. E. Siegel et al., Cluster and cluster-assembled materials, *J. Mater. Res.*, 4, 704 (1989).
2. V. V. Kresin, Photodisintegration sum rule and electron distribution in metal clusters, *Phys. Rep.*, 220, 1 (1992).
3. C. Kittel, Theory of the structure of ferromagnetic domains in films and small particles, *Phys. Rep.*, 70, 965 (1946).
4. C. P. Bean, J. D. Livingston, Superparamagnetism, *J. Appl. Phys.*, 30 120 (1959).
5. R. G. L. Audran, A. P. Huguenard, U. S. Patent 4, 302, 523 (1981).
6. L. Nixon, C. A. Koval, R. D. Noble, G. S. Slaff, Preparation and characterization of novel magnetite coated ion exchange particles, *Chem. Mater.*, 4, 117 (1992).
7. S. P. Bhatnagar, R. E. Rosenwelg, *J. Magn. Mater.*, Magnetic fluids bibliography, 149, 198 (1995).
8. I. Anton, D. Sabata, L. Yékás, Application oriented researchers on magnetic fluids, *J. Magn. Mater.*, 85, 219 (1990).
9. L. A. García-Cerda, Sagrario M. Montemayor, Synthesis of  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  nanoparticles embedded in a silica matrix by the citrate precursor technique, *J. Magn. Mater.* 294, 2, e43-346 (2005).
10. A. Gavrin, C. L. Chien, Fabrication and magnetic properties of granular alloys, *J. Appl. Phys.*, 67, 938 (1990).
11. N. F. Breolli, D. L. Morse, J. W. H. Schreurs, *J. Appl. Phys.*, Magnetic properties of iron oxide photolytically produced from  $\text{Fe}(\text{CO})_5$  impregnated porous glass, 54, 3344 (1983).
12. R. F. Ziolo, E. P. Giannelis, B. A. Weinstein, M. P. O'Horo, B. N. Ganguly, V Mehrotra, M. W. Russell, D.R. Huffman, Matrix-Mediated Synthesis of Nanocrystalline  $\text{ggr-Fe}_2\text{O}_3$ : A New Optically Transparent Magnetic Material. *Science*, 257, 219 (1992).
13. J. F. Luna Martínez. Síntesis y caracterización de materiales nanoestructurados a base de una matriz polimérica de carboximetilcelulosa. Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Nuevo León (2011).
14. B. C. Lopez-Walle, E. Reyes-Melo, Characterization and Dynamics of Polymer Microactuators. Chapter 2. M. Rakotondrabe, Editor. *Smart Materials-Based Actuators at the Micro/Nano-Scale*. Springer New York (2013), pp. 15-39.
15. S. J. Jeong, D. E. Lee, W. Wang, Nanosystems-information Storage and Processing Systems *Microsyst Technol*, 13, 635-645 (2007).
16. J. F. Luna Martínez, E. Reyes-Melo, V. González-González, C. Guerrero-Salazar, A. Torres-Castro, S. Sepúlveda-Guzmán. Synthesis and characterization of a magnetic hybrid material consisting of iron oxide in a carboxymethyl cellulose matrix. *Journal of Applied Polymer Science*, 127 (3) pp. 2325-2331 (2013).
17. Zelio Relay - Plug in Relays & interposing relays Catalogue [http://www.global-download.schneider-electric.com/852575A6007E5FD3/all/5D8BE01C4452629D85257639006A9289/\\$File/dia3ed2090304en.pdf](http://www.global-download.schneider-electric.com/852575A6007E5FD3/all/5D8BE01C4452629D85257639006A9289/$File/dia3ed2090304en.pdf)
18. *Electrónica fácil*. F. J. Molina López (2004). Valores normalizados cables A.W.G. <http://www.electronicafacil.net/tutoriales/Valores-normalizados-cables-AWG.php>
19. *Materiales Magnéticos* P. Bravo (2007). <http://www.pascualbravo.edu.co/buzon/ferney.rendon/Materiales%20magn%C3%A9ticos.pdf>