



Diseño y desarrollo de una instalación experimental para caracterizaciones magnéticas

Alvis Cabrera Tejera, Daily Milanés Hermosilla, Fidel Gilart González, Roberto Vázquez Somoza

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es diseñar e implementar una instalación robótica automatizada para realizar mediciones de inducción magnética y procesamiento de datos. Para lograr este objetivo, se propone el uso de un prototipo robótico automatizado portador de una sonda de efecto Hall. Se desarrolla un software para el control y procesamiento de los datos obtenidos en las mediciones realizadas que permite cálculos estadísticos y mapeo de datos y la inducción magnética en la superficie del acondicionador lo que brinda la posibilidad de evaluar las características del mismo. Con este trabajo se logra una mejor calidad en términos de eficiencia y precisión al tomar las medidas para realizar las caracterizaciones magnéticas en el Laboratorio de Caracterización Magnética de la CNEA, el único laboratorio de este tipo en el país y que está próximo a ser acreditado. Los resultados alcanzados en la implementación de la propuesta demuestran el logro de una mayor precisión en la adquisición de mediciones proporcionando un laboratorio de confiabilidad a la altura de otros laboratorios del mundo, compuesto por equipos calibrados, mediciones automáticas y expertos en estos temas.

Palabras claves: efecto Hall, Mediciones Magnéticas, Robótica

ABSTRACT

The objective of this paper is to design and implement an automated robotic installation to perform measurements of magnetic induction and data processing. To achieve this goal, an automated prototype carrying the Hall effect probe is designed and constructed. A software is developed for the control and processing of the data obtained in the measurements made that allows statistical calculations and data mapping. The magnetic induction on the surface of the conditioner that provides the possibility of evaluating the characteristics of the same. With this work you can achieve quality in terms of efficiency and precision when taking measurements to perform the magnetic characterizations in the Magnetic Characterization Laboratory of the CNEA, the only laboratory of this type in the country that is close to being accredited. To achieve greater precision in the acquisition of measurements by providing a reliability laboratory at the level of other laboratories in the world, since it will now have calibrated equipment, automatic measurements and experts in these subjects.

Key words: Hall effect, magnetic measurement, robotic

Design and development of an experimental installation for magnetic characterizations

1. -INTRODUCCIÓN

La revolución que está sufriendo el mundo en el campo tecnológico es producto en gran medida del avance de la física. Esto se ve de manera particular en el desarrollo de la microelectrónica y de otras áreas de alta tecnología que utilizan los principios del electromagnetismo en el diseño de aparatos y sistemas de información, medición, etc. Las aplicaciones que se realizan en la actualidad son variadas y la ciencia del magnetismo se ha vuelto central en nuestra tecnología por lo que el cumplimiento

de normas nacionales e internacionales, así como el aseguramiento de un sistema de calidad confiable, ha inducido a diversas industrias a incursionar en el campo de la metrología, para cumplir con estándares que les permitan ser competitivas y poder exportar sus productos. Tal es el caso, por ejemplo, de industrias del sector automotriz, metal-mecánico, agroalimentario y minero, las cuales basan el desarrollo de algunos de sus productos en la medición de propiedades magnéticas de materiales [1-5].

La caracterización magnética consiste en la medición de la inducción magnética y su mapeo dentro de la región de trabajo con una resolución espacial especificada [6]. El Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado (CNEA), ubicado en Santiago de Cuba, Cuba, es una entidad de Ciencia e Innovación Tecnológica de la Universidad de Oriente que investiga y aplica tecnologías basadas en el electromagnetismo tanto en la industria, la medicina, la agricultura y el medio ambiente logrando impactos sociales de referencia nacional e internacional. En este centro se encuentra el Laboratorio de Caracterizaciones Magnéticas (LCM), el cual tiene entre sus funciones la caracterización magnética de imanes permanentes y dispositivos generadores de campos magnéticos, tales como acondicionadores magnéticos, separadores de partículas ferromagnéticas y aplicadores para la estimulación magnética de sistemas biológicos e ingenieros [7]. Cada una de las aplicaciones mencionadas demandará un nivel de inducción magnética determinado por el investigador, para un mejor desempeño del instrumento a utilizar. Sin embargo, en la actualidad estas mediciones se realizan manualmente en el LCM del CNEA, tanto para el control de la posición de la sonda, como para el registro de la lectura del gaussímetro. Para ello se ubica una cuadrícula equidistante a 1cm o 5mm, y se recorre la superficie del equipo a caracterizar posicionando la sonda sobre cada uno de los puntos, una persona realiza las mediciones y otra anota las mismas de forma manual. Este trabajo tiene como objetivo realizar la propuesta e implementación del proceso automatizado de caracterizaciones magnéticas en este centro lo cual constituye la principal contribución desde el punto de vista de innovación tecnológica que se hace en el mismo. La propuesta que se hace consiste en el desarrollo de una instalación automatizada para realizar mediciones de inducción magnética y procesamiento de datos con la que se logra fiabilidad y eficiencia en la toma, el almacenamiento y el procesamiento de las mediciones.

2.- MATERIALES Y MÉTODOS

La propuesta de automatización que se hace en este artículo se presenta en la Fig. 1 y consiste en:

1. Uso del Sensor de efecto Hall FW. Bell. [8]
2. Incorporar una estructura cartesiana de 2 GDL como portadora del sensor de efecto Hall FW. Bell.
3. Desarrollar una placa electrónica para el control de los motores paso a paso que tiene el robot planar.
4. Utilizar una plataforma de desarrollo Arduino Uno como unidad procesadora
5. Desarrollar un programa en Matlab® para el procesamiento de los datos medidos por el sensor y que garantice mediante una interfaz gráfica de usuario la entrada de datos como las características del acondicionador y la cantidad de mediciones deseadas a realizar en un intervalo de longitud [2, 3, 5].

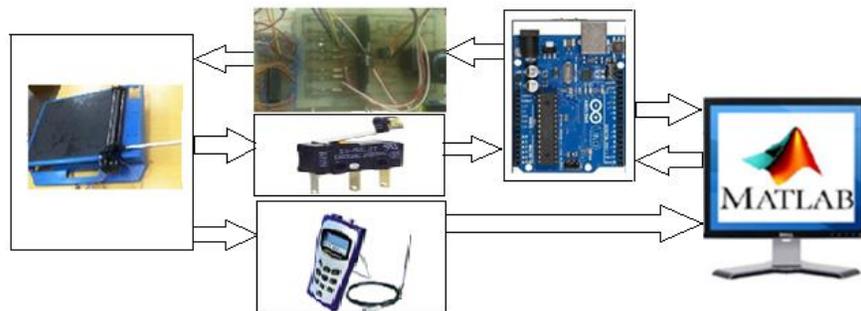


Figura. 1

Propuesta de Automatización del sistema.

2.1- SENSOR DE EFECTO HALL

El gaussímetro FW Bell modelo 5180 se muestra en la Fig. 2. El mismo es un instrumento portátil con conexión por puerto USB que tiene tres rangos de medición con la sonda estándar (la que dispone actualmente el LCM): ± 300 G, ± 3 kG y ± 30 kG y un rango de temperaturas de trabajo desde 0 hasta 50 °C. La resolución es de 0.1 G en el rango de 300 G, de 1 G en el rango de 3 kG y de 10 G en el rango de 10 kG.



Figura. 2

Gaussímetro FW Bell modelo 5180.

2.2.- ROBOT PLANAR DE 2 GRADOS DE LIBERTAD

El robot planar de 2 GDL escogido tiene una dimensión es de 50x55cm, el mismo contiene las poleas, motores de paso, la tarjeta electrónica para el control de los motores, sensores y engranajes ideales para este proyecto. Fue necesario aislar el robot planar de 2 GDL con un brazo de acrílico, portador de la sonda de efecto Hall, debido a que los actuadores del mismo son motores paso a paso (cuyas características se muestran en la Tabla 1), los cuales por su propia construcción influyen en la variable medida, pues contienen materiales ferromagnéticos, lo que afectaría la medición provocando interferencias importantes en el proceso, además de la posibilidad de ser atraídos por el imán a caracterizar. Este robot planar se muestra en la Fig. 3 [9].

Tabla 1
Características de los motores

Motor Unipolar	Voltaje alimentación	Ángulos de Paso	País de fabricación
Kp6r2-024	10.4 V de DC	1.8	Japón
Kp4m-219	10.4 V de DC	1.8	Japón

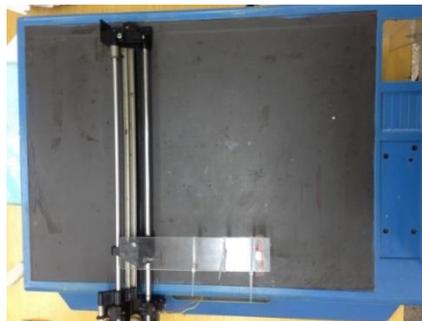


Figura. 3

Robot planar de 2 grados de libertad

- Establecimiento de posición y velocidad

Para establecer la velocidad de giro del motor y que este se desplazara el ángulo indicado, fue necesario realizar una serie de cálculos, de los cuales se derivan las ecuaciones generales que se introdujeron en el firmware, para que, enviados el ángulo y

la velocidad del movimiento este pudiera realizarse correctamente. Como los motores utilizados en esta investigación son de 1,8°/paso, para que se logre una vuelta completa (360°) deben darse 200 pasos como se muestra en la ecuación (1). [9]

$$\frac{360^\circ}{1.8^\circ} = 200 \text{ pasos} \quad (1)$$

La secuencia escogida fue la de paso completo dos fases que debe repetirse 50 veces para lograr una vuelta completa. Por lo que para determinar el tiempo que transcurre en dar una vuelta completa el motor, considerando un tiempo de 100 ms de duración entre un pulso y el siguiente se tiene la ecuación (2):

$$\frac{1.8^\circ}{100ms} = \frac{360^\circ}{t} \quad t = 20 \text{ s} \quad (2)$$

Según la ecuación (2) el motor demora en dar una vuelta completa 20 segundos. Se determinó experimentalmente la distancia recorrida por el robot planar (en un eje) en una vuelta completa de un motor, obteniéndose un recorrido de 4 cm, es decir que en un pulso enviado al motor se recorre 0.02cm, esto lo demuestra la ecuación (3).

$$\frac{1.8^\circ}{360^\circ} = \frac{1 \text{ paso}}{200 \text{ pasos}} = \frac{\text{distancia}}{4 \text{ cm}} \quad \text{distancia} = 0.02 \text{ cm} \quad (3)$$

Por lo anterior se establece la ecuación (4) para determinar la cantidad de pasos necesarios a enviar al motor para recorrer una distancia deseada:

$$\text{pasos} = \frac{\text{distancia deseada} * 200}{4 \text{ cm}} \quad (4)$$

Luego la velocidad se establece por la ecuación 5.

$$\text{Velocidad} = \frac{\text{desplazamiento}}{\text{tiempo}} = \frac{4 \text{ cm}}{20 \text{ s}} = \frac{1 \text{ cm}}{5 \text{ s}} = 0.2 \text{ cm/s} \quad (5)$$

Para lograr el posicionamiento del robot planar de 2 GDL se utilizaron dos sensores de final de carrera o sensor de contacto. Los sensores de fin de carrera utilizados son SS-5GL27, normalmente abiertos.

Las tarjetas electrónicas para el control de los motores fueron del tipo FT5754M. Las mismas están constituidas por dos pares Darlington, doce diodos y seis resistencias. Su distribución de terminales se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2
Distribución de terminales de la tarjeta electrónica FT5754M

Modelo	FT5754M
Entradas	1, 5, 8, 12
Salidas	2, 4, 9, 11
Alimentación 12V	3, 10
Tierra	6, 7

2.3.- CIRCUITO ELECTRÓNICO

En la Fig. 4 se muestra la tarjeta de circuito impresa que se diseñó. Primeramente, se realizaron las simulaciones en el paquete de diseño de circuitos electrónicos Proteus y se diseñó una fuente de 12V para alimentación de los motores paso a paso. Se realizó el montaje eléctrico en la herramienta de Proteus ISIS y en el Proteus ARES se obtuvo el diseño del circuito impreso. Para poder crearlo se realizó la técnica de sumersión en cloruro férrico y planchado. El listado de componentes se muestra en la Tabla 3.

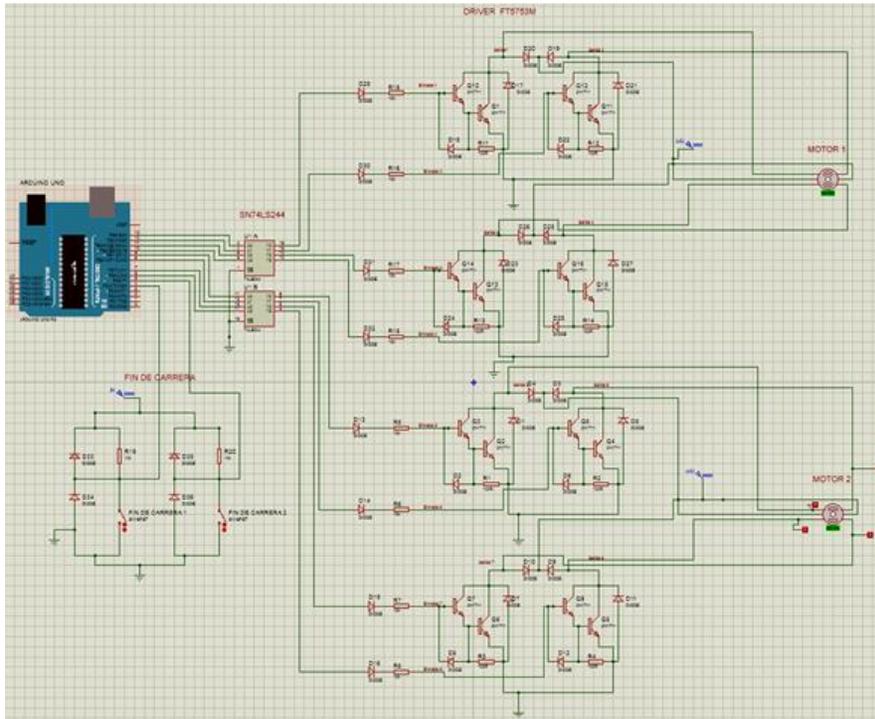


Figura. 4

Diseño y simulación en Proteus de los circuitos electrónicos

Tabla 3
 Listado de componentes

Componentes	Cantidad
Resistencia de 1KΩ	8
Resistencias de 10kΩ	2
Condensador de 4700µF	1
Puente de diodo	1
Regulador de voltaje	1
Driver para control de motores FT 5754m	2
Diodos	12

2.4.- PLATAFORMA DE DESARROLLO ARDUINO

La plataforma de desarrollo utilizada fue Arduino UNO, por sus prestaciones y fácil lenguaje de programación. La misma cuenta con 14 terminales digitales y dos terminales de conexión puerto serie que la convierte en ideal para la propuesta [10,

11].

En la Fig. 5 se muestra la conexión entre la placa Arduino, la placa FT 5457M y las bobinas de los motores. Los terminales 6, 7, 8, 9 son los dirigidos a las bobinas del motor 1 y los terminales 10, 11, 12 y 13 a las del motor 2 [12].

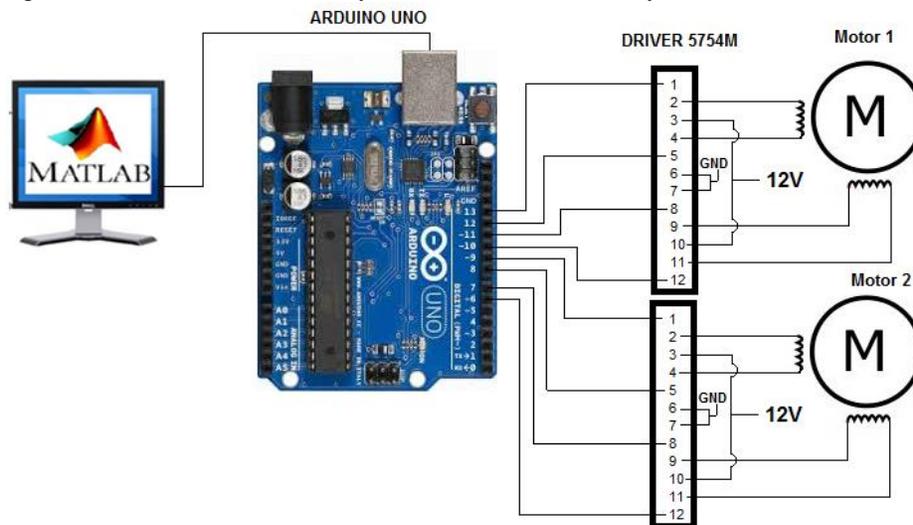


Figura. 5

Diagrama de conexión entre Arduino, driver y motores

En la Fig. 6 se visualiza el robot planar de dos grados de libertad utilizado para la propuesta en el cual se señalan los fines de carrera FC1 y FC2, el FC1 en la parte superior y el FC2 en la parte inferior, el primero para el Motor 1 que es el que se desplaza de forma vertical hasta la dimensión establecida x , y el segundo para el Motor 2 que se desplaza de forma horizontal barriendo todo el eje y del equipo a caracterizar. Cuando ambos fines de carrera estén activados se logrará la posición inicial del robot. Los diagramas de flujo para conexión y control del robot planar de 2 GDL mediante la plataforma Arduino Uno son los que se muestran en la Fig. 7 y 8. El robot se coloca automáticamente en la posición inicial, utilizando para ello la información brindada por los sensores de fines de carrera. La dimensión del equipo a caracterizar y su intervalo de medición es introducido por teclado en la interfaz de usuario creada en Matlab®, la cual se conecta por puerto serie a la plataforma de desarrollo Arduino UNO para comenzar el recorrido indicado sobre la superficie evitando los errores de tiempo en el momento de sincronizar Matlab- Arduino- Robot. Teniendo en cuenta que el gaussímetro, según datos del fabricante, toma una medición cada 500 mseg, en 1 seg tomaría dos mediciones, luego teniendo en cuenta la velocidad establecida para los motores en la ecuación (5), se demuestra que se almacenarán en 20 seg 40 mediciones habiendo recorrido 4cm, lo que significa que se toman 10 mediciones por centímetro, una cantidad apreciablemente superior en comparación con el método manual.

Se decidió mover un motor a la vez ya que para realizar la matriz de medición en un imán se necesitan tomar los valores de los vectores alineados y en una misma dirección y no de forma dispersa ya que se busca que en el gráfico en 3D pueda verse la disposición de inducción magnética en toda la superficie. El control del recorrido del robot planar de 2 GDL se establece en el diagrama de flujo de la Fig. 8. Realizando los movimientos de izquierda a derecha de los motores para lograr con la velocidad establecida el desplazamiento sobre la superficie del equipo [13].

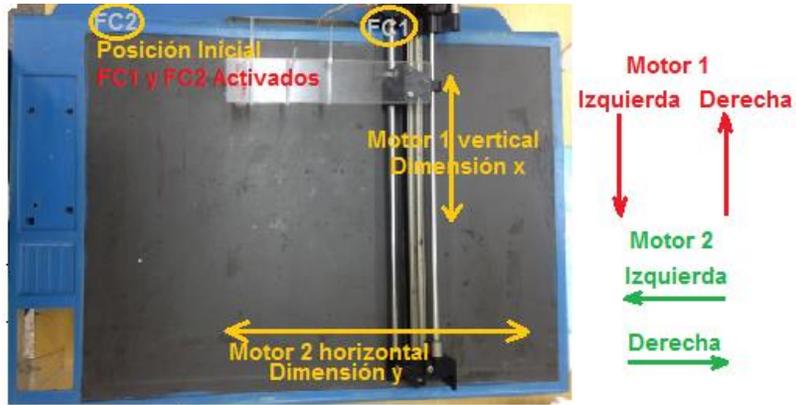


Figura. 6

Robot planar de dos grados de libertad

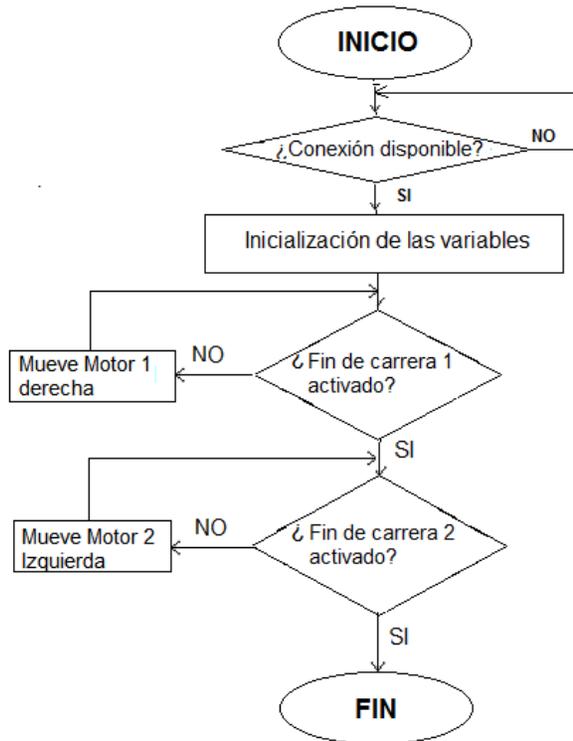


Figura. 7

Diagrama de flujo para inicialización del robot planar de dos grados de libertad

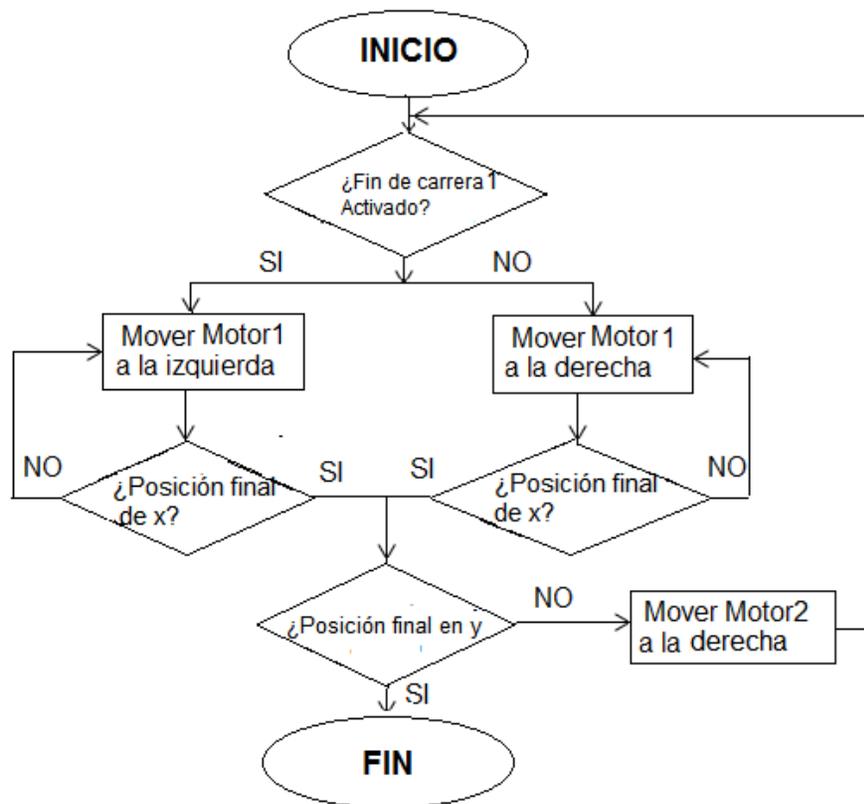


Figura. 8

Diagrama de flujo para la conexión y control del robot planar de 2 GDL

2.5.- SOFTWARE PARA EL PROCESAMIENTO DE LOS DATOS

Para procesar los datos obtenidos por el sensor de efecto Hall se diseña, empleando el software Matlab®, un sistema informático, el cual contiene una interfaz gráfica de usuario que permite obtener datos como las dimensiones del acondicionador a caracterizar y cantidad de mediciones a realizar que serán enviados a la plataforma Arduino, además cuenta con una herramienta para realizar diversos análisis estadísticos como son los estadígrafos de dispersión y de posición.

En este software se establece la comunicación con la plataforma Arduino Uno a través del puerto serie. La comunicación entre Matlab® y Arduino es bidireccional. Los datos enviados garantizan la inicialización de la posición del robot planar de 2 GDL y que se realice la medición de la inducción magnética de forma automática. Una vez terminada la caracterización del acondicionador, el Arduino le enviará al Matlab® un comando indicando que se ha terminado la medición.

- Interfaz Gráfica de Usuario

GUIDE es un entorno de programación visual disponible en Matlab® para realizar y ejecutar programas que necesiten ingreso continuo de datos. Tiene las características básicas de todos los programas visuales como Visual Basic o Visual C++. En la Fig. 9 se muestra la interfaz desarrollada. En la parte izquierda, el usuario introduce las dimensiones físicas del imán a caracterizar, largo y ancho, además del intervalo de medición. El botón de Procesamiento de las mediciones hace una llamada a la interfaz de procesamiento de los datos medidos. También cuenta con un botón de Ayuda que explica el funcionamiento del software.

En el software de Procesamiento de Datos se importarán las mediciones seleccionadas por el usuario previamente almacenado en un documento Excel. Al cargarse los valores de medición del imán caracterizado se mostrará automáticamente el mapeo de la inducción magnética en 3D, así como los otros valores de interés que se muestran. La ventana cuenta con un botón para guardar la imagen de la ventana del software, un botón para limpiar los campos por si se desea realizar otra medición, un botón de ayuda y uno para volver a la ventana principal.

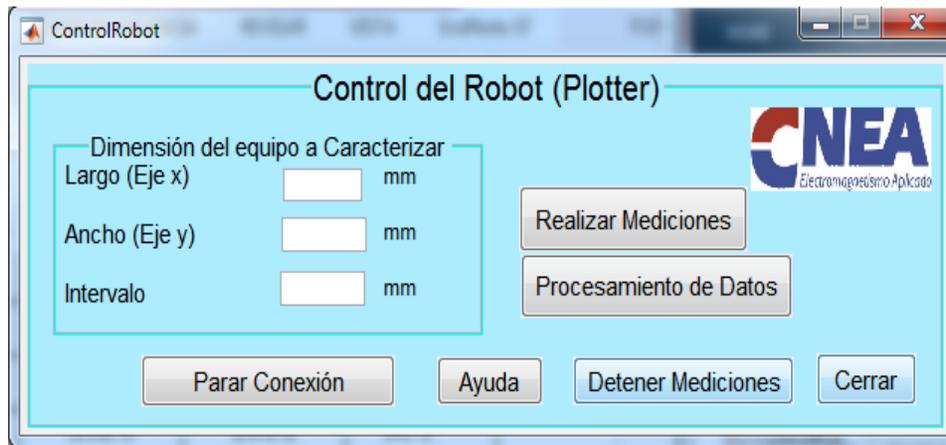


Figura. 9

Interfaz de Control del Robot

3.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para mostrar las ventajas de la propuesta sobre el método manual anteriormente utilizado para la caracterización magnética se tomará como referencia un acondicionador magnético de 5cm de largo por 3cm de ancho.

3.1.- MÉTODO CONVENCIONAL

En la Fig. 10 se muestra como se realizaba el trabajo anteriormente de forma manual. La caracterización de un acondicionador se realizaba cuadriculando, utilizando una regla con un paso de 1cm de distancia en una hoja de papel con las dimensiones del imán a caracterizar, luego este se colocaba sobre el acondicionador magnético como guía de los puntos donde se iban a tomar las mediciones. Posteriormente se desplazaba la sonda del sensor sobre cada punto de medición y se tomaban las muestras, para esto fueron necesarias dos personas, una para mover el sensor y la otra para anotar manualmente las mediciones. Se obtuvieron 24 mediciones como puede verse en la Tabla 4, en la Fig. 11 se muestran los resultados obtenidos.

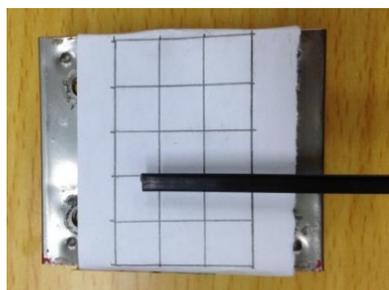


Figura. 10

Imán caracterizado por el método manual

Tabla 4
 Valores resultantes de las mediciones por el método convencional (g)

	C1	C2	C3	C4	C5	C6
F1	188.3	283.6	204.3	162.5	132.9	141.1
F2	268.7	299.9	299.9	299.9	299.9	34.6
F3	293.1	299.9	299.9	299.9	299.9	113.6
F4	10.5	92.9	181.1	232.8	298.2	86.3

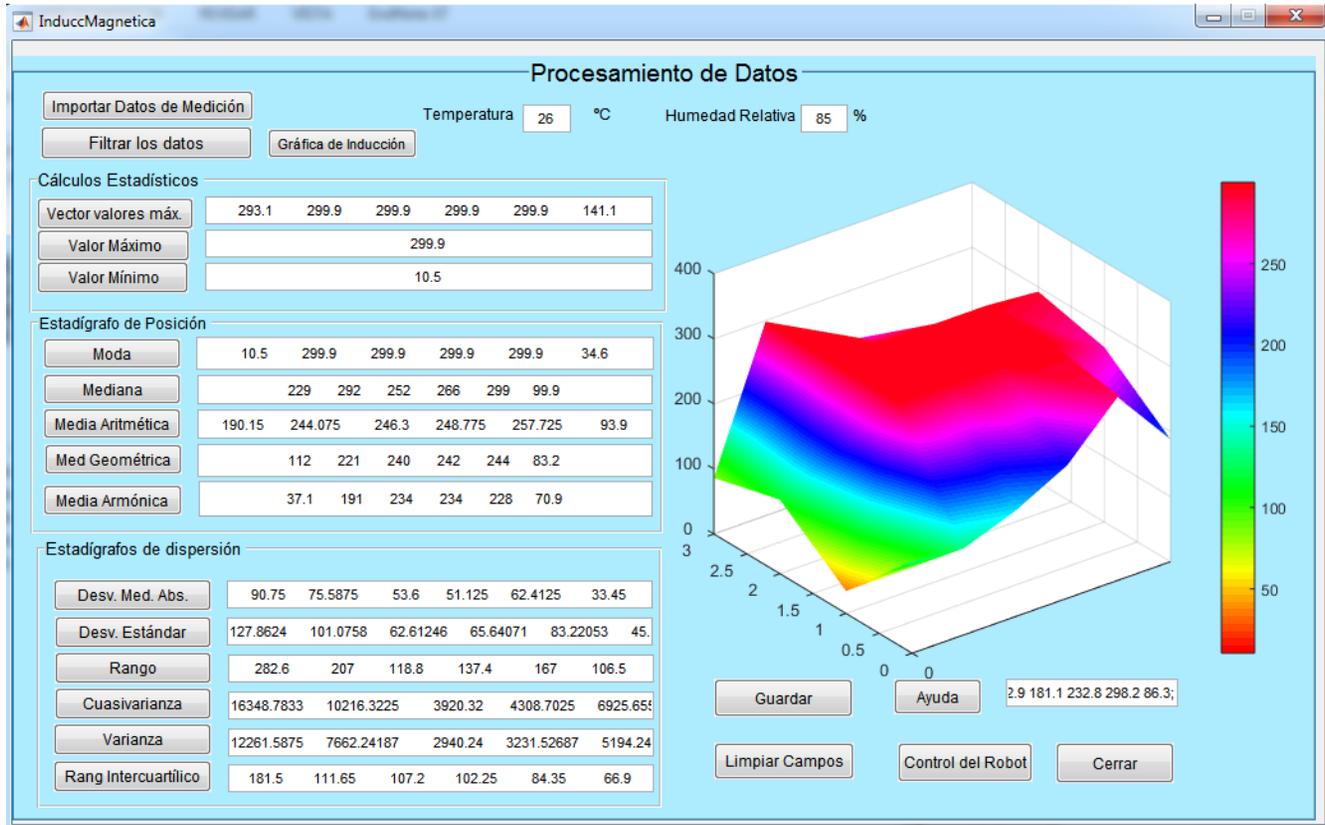


Figura. 11

Resultado del procesamiento de las mediciones para el método manual

3.2.- PROPUESTA IMPLEMENTADA

Con la implementación de la nueva propuesta se obtuvieron un total de 300 mediciones almacenadas en una matriz de 6x50. El procesamiento de dichas mediciones se muestra en la Fig. 12. Una de las etapas más importantes en el proceso de investigación se relaciona con la sistematización y análisis de la información denominándose análisis estadístico de la información. La cantidad de mediciones obtenidas en el método propuesto es mayor que las obtenidas de forma convencional, 300 y 24 respectivamente, lo cual repercute positivamente en la calidad de los datos, debido a que algunos intervalos de medición no son tomados teniendo como consecuencia que se obvian datos de medición.

El Gaussímetro FW Bell se conecta por el puerto USB con la computadora permitiendo almacenar los datos de medición en un documento Excel, uno de los principales aportes de este trabajo es que a través de la interfaz gráfica de usuario los datos podrán ser procesados de forma automática oprimiendo el botón de Importar Datos de Medición [14].

Como se infiere, el proceso de medición magnética manual en sistemas como estos es excesivamente laborioso, consume una enorme cantidad de tiempo y se puede ver afectado fácilmente por errores de posicionamiento espacial y precisión debidos a una incorrecta operación del gaussímetro como consecuencia del cansancio humano. A las dificultades anteriores se suma el hecho de que los valores obtenidos como resultado de cada medición son registrados manualmente por otra persona además de la que opera el gaussímetro. Debido a estas limitaciones se toman menor cantidad de muestras las que no reflejan con exactitud los valores de inducción magnética en toda la región de trabajo del equipo a caracterizar; sin embargo, con el método propuesto se toman mayor cantidad de mediciones con mayor exactitud y precisión brindando una caracterización más fiel de la realidad.

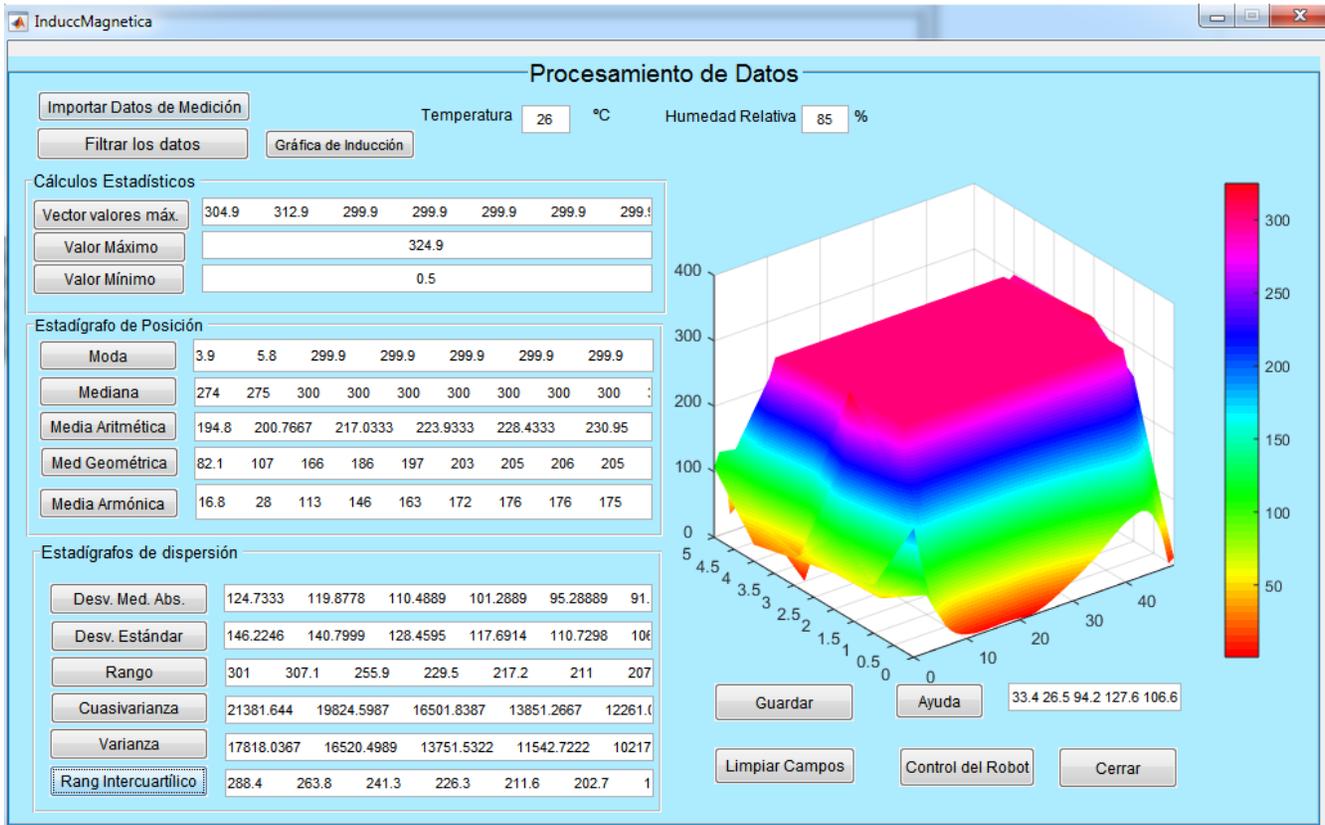


Figura. 12

Resultado del procesamiento de las mediciones para el método automático

3.3. VALORACIONES DE EXPERTOS

Para la validación de los resultados se contó con la valoración de investigadores que necesitan el servicio de caracterización magnética. Los expertos consideran que el trabajo se enmarca en una temática de actualidad al abordar el tema de las disímiles aplicaciones del electromagnetismo, ya que la automatización de este tipo de medidas se hace cada vez más necesaria para sus investigaciones por la precisión que esta acredita al posicionar y desplazar la sonda de efecto Hall sobre la superficie del equipo que se caracteriza. Al desarrollar un software que controle el plotter y pueda tomar de forma automática y almacenar todas las mediciones que anteriormente se realizaban de forma manual sin exactitud, constituye un paso de avance para el Laboratorio de Caracterizaciones Magnéticas del CNEA ya que este es el único laboratorio del país, líder en esta medición y ahora contará con mediciones más confiables y robustas.

Todos los investigadores en sus tesis de doctorado e investigaciones que se desarrollan en el centro han necesitado caracterizar un equipo de este tipo, y este trabajo servirá para que el tiempo de entrega de los resultados sea más rápido y eficiente brindando además una herramienta para procesar los datos obtenidos. Es bueno significar que todos los cálculos estadísticos incluidos en el software fueron a solicitud de los investigadores del centro.

4.- CONCLUSIONES

Se diseñó un equipo automatizado que realiza las mediciones de inducción magnéticas de forma más eficiente y precisa. Se realizó el software de control del robot, almacenamiento y procesamiento de las mediciones con el programa MATLAB, el cual cumple con todas las características necesarias, pero el mismo es un paquete propietario por tanto se recomienda hacer la interfaz con un software no propietario. A pesar de que este trabajo cuenta con valoraciones satisfactorias de expertos, se recomienda que el mismo sea tenido en cuenta en el proceso para la certificación nacional del sistema de caracterización magnética el cual está actualmente en proceso para así validarlo conforme al cumplimiento de las normas requeridas en el proceso de certificación.

REFERENCIAS

- 1.- ALBA L. d. m. m. *Laboratorio de medidas magnéticas ALBA.*, 2018 Available: <https://www.cells.es/es/tecnologia/laboratorios-de-soporte>
- 2.- Braun, E. *Electromagnetismo. De la ciencia a la tecnología*: Fondo de cultura económica, 2011.
- 3.- Bregel J.P., L. d. M. M., *Laboratorio de Medidas Magnéticas LMM. José Palacios Bregel.*, 2017 Available: <http://LaboratorioMedidasMagnéticas-E.T.S.I.D.I>
- 4.- C. Centro Nacional de Metrología. México.. *Centro Nacional de Metrología. México, CENAM.*, 2018 Available: <http://www.cenam.mx/dme/melectromagneticas.aspx>
- 5.- V. L. o. M. Measurements. *VNIIM_Laboratory of Magnetic Measurements.*, 2018 Available: <http://www.russianmuseums.info/M224>
- 6.- Du, C., Van der Sar, T., Zhou, T.X., Upadhyaya, P., Casola, F., Zhang, H., "Control and local measurement of the spin chemical potential in a magnetic insulator," *Science*, vol. 357, pp. 195-198, 2017.
- 7.- González, D.F.G., "Fundamentos físicos de la estimulación magnética de sistemas biológicos.," *Revista Cubana de Física*, Universidad de Oriente. Santiago de Cuba. ISBN 978-959-207-372-2
- 8.- "Manual: Gaussímetros portátiles serie 5100 " in *SP-5170, SP-5180* ed, 2016.
- 9.- Levine, S., Pastor, P., Krizhevsky, A., Ibarz, J. and Quillen, D., "Learning hand-eye coordination for robotic grasping with deep learning and large-scale data collection," *The International Journal of Robotics Research*, vol. 37, pp. 421-436, 2018.
- 10.- Warren, J.D., Adams, J. and Molle, H., "Arduino for robotics," in *Arduino robotics*, ed: Springer, 2011, pp. 51-82.
- 11.- Wheat, D., *Arduino Internals*, 2011.
- 12.- Sánchez Salazar, I.A., Sánchez Quinche, K.C., Flores Moran, M.E., Barzola-Monteses, J.J. and Guzman Real, C.J., "Sistema doméstico empleando RASPBERRY PI y ARDUINO para el monitoreo automatizado de parqueaderos," ed: Grupo compás, 2018.
- 13.- Zoya Popović, B.D.P., "Introductory Electromagnetics," *Prentice-Hall Inc. Upper Saddle River. New Jersey*, vol. 07458, 2000.
- 14.- Martínez, D.C., "Evaluación de los efectos del tratamiento magnético a la solución cm-95 por medidas de conductividad eléctrica," *Revista Cubana de Química*, 2011.

CONFLICTO DE INTERESES

No existe conflicto de intereses entre los autores ya que tres de ellos pertenecen al Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado que corresponde a la Universidad de Oriente, y el otro autor pertenece al Departamento de Automática de la misma Universidad de Oriente.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Alvis Cabrera Tejera: contribución importante a la idea, montaje y diseño del estudio teórico y práctico del artículo ya que formó parte de su tesis en opción al título de Máster en Automática. Redacción del borrador del artículo y de su versión final.

Daily Milanés Herмосilla: contribución en el análisis de la información y bibliografía.

Fidel Gilart González: revisión crítica del borrador del artículo y aprobación de la versión final a publicar.

Roberto Vázquez Somoza: contribución a la idea y organización del artículo, así como sugerencias para la versión final del mismo.

Todos de forma general contribuyeron en las ideas esenciales para crear el artículo en su versión final con acertadas sugerencias.

AUTORES

Alvis Cabrera Tejera, Ingeniera Automática, Máster en Automática, Universidad de Oriente, Cuba, Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado, Santiago de Cuba, Cuba. E-mail: alvita@uo.edu.cu. Sus principales intereses de investigación son la calidad en las mediciones en el Laboratorio de Caracterizaciones Magnéticas del CNEA, cumpliendo normas nacionales e internacionales, además de especialista de las mediciones magnéticas y sus aplicaciones, modelación y simulación de campos electromagnéticos.

Número ORCID: 0000-0002-0295-6271

Daily Milanés Hermosilla, Ingeniera Automática, Máster en Automática, Universidad de Oriente, Cuba, Departamento de Ingeniería en Automática de la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba. E-mail: daily@uo.edu.cu. Sus principales intereses de investigación son los temas de robótica de rehabilitación en el desarrollo de su tema de doctorado. Ha publicado artículos de impacto nacional e internacional.

Número ORCID: 0000-0003-4463-9263

Fidel Gilart González, Licenciado en Física, Doctor en Ciencias Física, Universidad de Oriente, Cuba, Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado, Santiago de Cuba, Cuba. E-mail: fgg@uo.edu.cu. Sus principales intereses de investigación son la interacción entre la radiación electromagnética no ionizante y los sistemas biológicos, así como las aplicaciones industriales y médicas de los campos electromagnéticos, incluyendo el diseño, la modelación y las simulaciones.

Número ORCID: 0000-0002-8216-9234

Roberto Vázquez Somoza, Ingeniero en Telecomunicaciones, Máster en Ingeniería Biomédica, Universidad de Oriente, Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado, Santiago de Cuba, Cuba. E-mail: robertv@uo.edu.cu. Sus principales intereses de investigación son los efectos térmicos de los campos electromagnéticos de radiofrecuencia sobre los tejidos biológicos así como las aplicaciones industriales y médicas de los campos electromagnéticos, incluyendo el diseño, la modelación y las simulaciones.

Número ORCID: 0000-0003-0306-0941



Esta revista se publica bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Sin Derivar 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)