



CCADET

CENTRO DE CIENCIAS APLICADAS Y DESARROLLO
TECNOLÓGICO
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Software para la obtención de la curva de magnetoimpedancia

Benjamín Valera Orozco
José Castillo Hernández
Maria Herlinda Montiel Sánchez

Agosto 2016

Proyecto Interno

CCADET UNAM
Financiamiento interno

Software para la obtención de la curva de magnetoimpedancia

Benjamín Valera Orozco, José Castillo Hernández, María Herlinda Montiel Sánchez

Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico

Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito Exterior S/N, Ciudad Universitaria AP 70-186, C.P. 04510, México D.F. México

Resumen

La magnetoimpedancia es la variación de la impedancia eléctrica que experimentan ciertos materiales cuando son expuestos a un campo magnético externo. La curva de magnetoimpedancia entonces es la gráfica de impedancia del material en función de la intensidad del campo magnético aplicado. En este sentido, un arreglo experimental para obtener la curva mencionada contempla el siguiente equipo: Un analizador de impedancias comercial al cual pueda ser acoplado el material bajo análisis, un par de bobinas de Helmholtz para producir el campo magnético, una fuente bipolar de potencia con señal de control externa que impulse las bobinas y una computadora personal con software específico que permita el control de los dispositivos involucrados y capture las magnitudes de campo e impedancia para su graficación. En este informe se presenta el software de propósito específico desarrollado para la aplicación descrita y se muestran los resultados al usarlo con el arreglo experimental para obtener la curva de magnetoimpedancia para un material de ejemplo.

Indice

Introducción	3
Definición del problema	3
Entorno actual	3
Descripción del problema a resolver y motivación	3
Relevancia y limitaciones	3
Relación con otras áreas	3
Método	3
Objetivos y resultados esperados	4
Organización del informe	4
1 Descripción del arreglo experimental	6
1.1 Esquema general	6
1.2 Analizador de impedancias	7
1.2.1 Procedimiento manual para analizar impedancias	8
1.2.2 Procedimiento automatizado para analizar impedancias y curva de magnetoimpedancia	9
1.3 Fuente bipolar de potencia	11
1.4 Generador de funciones	12
1.5 Bobinas del Helmholtz	12
2 Descripción del software de operación	14
2.1 Procedimiento de instalación	14
2.1.1 Requisitos mínimos	14
2.1.2 Instalación del software	14
2.2 Descripción del software en el ámbito del operador	16
2.2.1 Consideraciones previas	16
2.2.2 Descripción de la pantalla principal	17
2.3 Descripción del software en el ámbito del programador	19
2.3.1 Clase CAboutDlg	20
2.3.2 Clases insertadas por el control ActiveX	20
2.3.3 Clase CPuenteApp	21
2.3.4 Clase CPuenteDlg	21
2.4 Procedimiento típico para operar el sistema	23
3 Resultados y discusión	25
3.1 Resultados	25
3.1.1 Medición de impedancia	25
3.1.2 Obtención de la curva de magnetoimpedancia	26
3.2 Discusión	27
Conclusiones	29
Referencias	30

Introducción

Las propiedades magnéticas de los materiales son aprovechadas hoy en día en un gran número de aplicaciones industriales, médicas y de la vida diaria. Es por ello que se han dirigido diversos esfuerzos tecnológicos por el estudio de las propiedades magnéticas de los materiales y el desarrollo de nuevos instrumentos de medición. En particular, la propiedad de magnetoimpedancia de los materiales es estudiada ampliamente en la actualidad ya que, con base en esta, se pueden construir nuevos sensores magnéticos [Phan y Peng 2008].

Definición del problema

En este informe se presenta un arreglo experimental y el desarrollo de software de propósito específico para la obtención de la curva de magnetoimpedancia de ciertos materiales.

Entorno actual

En el Laboratorio de Materiales y Nanotecnología del CCADET UNAM y como parte de su línea de investigación dirigida al desarrollo de elementos sensores, se estudian y caracterizan las propiedades magnéticas de diversos materiales. Una de estas propiedades es la magnetoimpedancia, fenómeno que ha propiciado la creación de infraestructura y compra de equipo con el fin de estudiar este importante fenómeno.

Descripción del problema a resolver y motivación

El trabajo reportado en el presente informe tiene como objetivo implementar un sistema de medición con base en equipos comerciales, equipos de desarrollo específico y software exprofeso para estudiar las propiedades de magnetoimpedancia de diversos materiales. Concretamente se desea que un analizador de impedancias Agilent 4395A mida la impedancia del material bajo estudio mientras que una fuente bipolar de poder, diseñada y construida en el CCADET UNAM, genere la alimentación para un par de bobinas de Helmholtz, también diseñadas y construidas en el CCADET. Tanto el analizador de espectro como la fuente bipolar, deben conectarse a una computadora personal a través de sus respectivas interfaces con el objetivo de automatizar el proceso. La motivación principal es la creación de infraestructura propia que puede ser ofertada como transferencia tecnológica.

Relevancia y limitaciones

La relevancia del presente trabajo radica principalmente en la sustitución de equipo comercial especializado por dispositivos que han sido diseñados y construidos con anterioridad en el CCADET UNAM. También es importante mencionar que con la automatización del proceso se consigue volumen y rapidez en la obtención de resultados que posteriormente pueden ser objeto de publicación en revistas especializadas.

La limitación del sistema radica en la resolución y exactitud que pueden tener los equipos de desarrollo propio si son comparados con los equipos comerciales de marcas que están presentes en el mercado desde hace muchas décadas.

Relación con otras áreas

Existe una gran relación con las áreas de instrumentación virtual, materiales, sensores, programación de computadoras y medición e instrumentación.

Método

La figura 1 muestra el esquema general adoptado para el sistema de obtención de la curva de magnetoimpedancia.

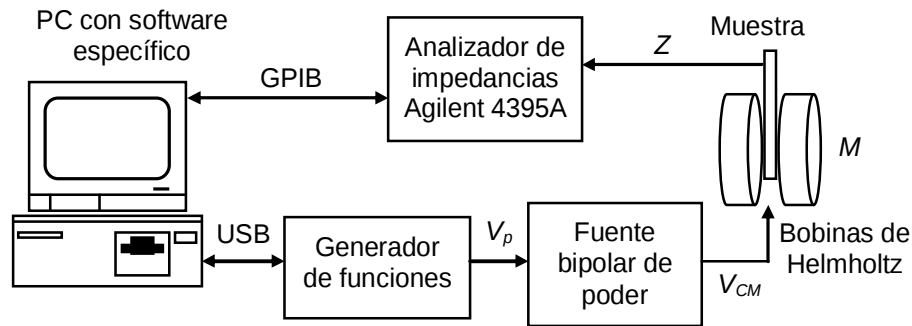


Figura 1. Sistema automatizado para la obtención de la curva de magnetoimpedancia.

En la figura 1 el analizador de impedancias se conecta a una computadora por medio de su interface GPIB común a ambos equipos. Mediante este arreglo, es posible enviar desde la computadora instrucciones de operación al analizador y recibir en la computadora la medición de impedancia Z del analizador. El generador de funciones se conecta al puerto USB de la computadora, lo que le permite recibir las instrucciones apropiadas para generar la señal de baja potencia V_p . Esta señal es recibida por la fuente bipolar para generar la señal de potencia V_{CM} que alimentará las bobinas de Helmholtz y a su vez generarán el campo magnético M . Se puede demostrar que M es directamente proporcional V_p , ya que los dispositivos fueron diseñados con este principio. Bajo este esquema se obtienen en la computadora las variables Z y M las cuales constituyen los elementos fundamentales de la curva de magnetoimpedancia que será presentada en el software de desarrollo específico. El software contiene el algoritmo de control de los equipos y el algoritmo de medición de las variables Z y M .

Objetivos y resultados esperados

Configurar un sistema de medición con base en equipos comerciales y equipos de desarrollo propio para la obtención de curvas de magnetoimpedancia de diversas muestras de manera automatizada.

Objetivo particular: Elaborar un software específico que contenga lo siguiente:

- El algoritmo de control de los equipos involucrados en el proceso de medición.
- El algoritmo de medición para la graficación de la curva de magnetoimpedancia.
- Una interface gráfica para establecer parámetros.

Organización del informe

En la sección 1 se describe el arreglo experimental de la figura 1. En la sección 2 se describe el software de operación en los ámbitos del usuario y del programador. Se proporciona una guía típica para operar el sistema desarrollado. En la sección 3 se muestra el funcionamiento del sistema bajo pruebas de desempeño, se discuten los resultados obtenidos y se establece el trabajo a futuro. En las conclusiones se expone el trabajo realizado en este proyecto. En las referencias, se lista la bibliografía usada para la elaboración de este trabajo. Se incluye un CD conteniendo la siguiente estructura de directorios.

```
Informe
CodigoFuente
    PuenteV2
Programa
    Instalacion
    ControlActiveX
```

El contenido de los directorios es como sigue:

Informe: El presente documento.

CodigoFuente: El código fuente del software desarrollado en Visual C++ 2008 para automatizar la obtención de la curva de magnetoimpedancia (proyecto Visual Studio PuenteV2).

Programa: Los archivos de instalación y controladores ActiveX para PC.

1 Descripción del arreglo experimental

El presente trabajo consiste en desarrollar un sistema automático para obtener la curva de magnetoimpedancia desde una computadora usando como base un analizador de impedancias comercial y equipo auxiliar de desarrollo propio.

1.1 Esquema general

La figura 2 muestra el esquema general para obtener la curva de magnetoimpedancia desde el software de propósito específico en una PC.

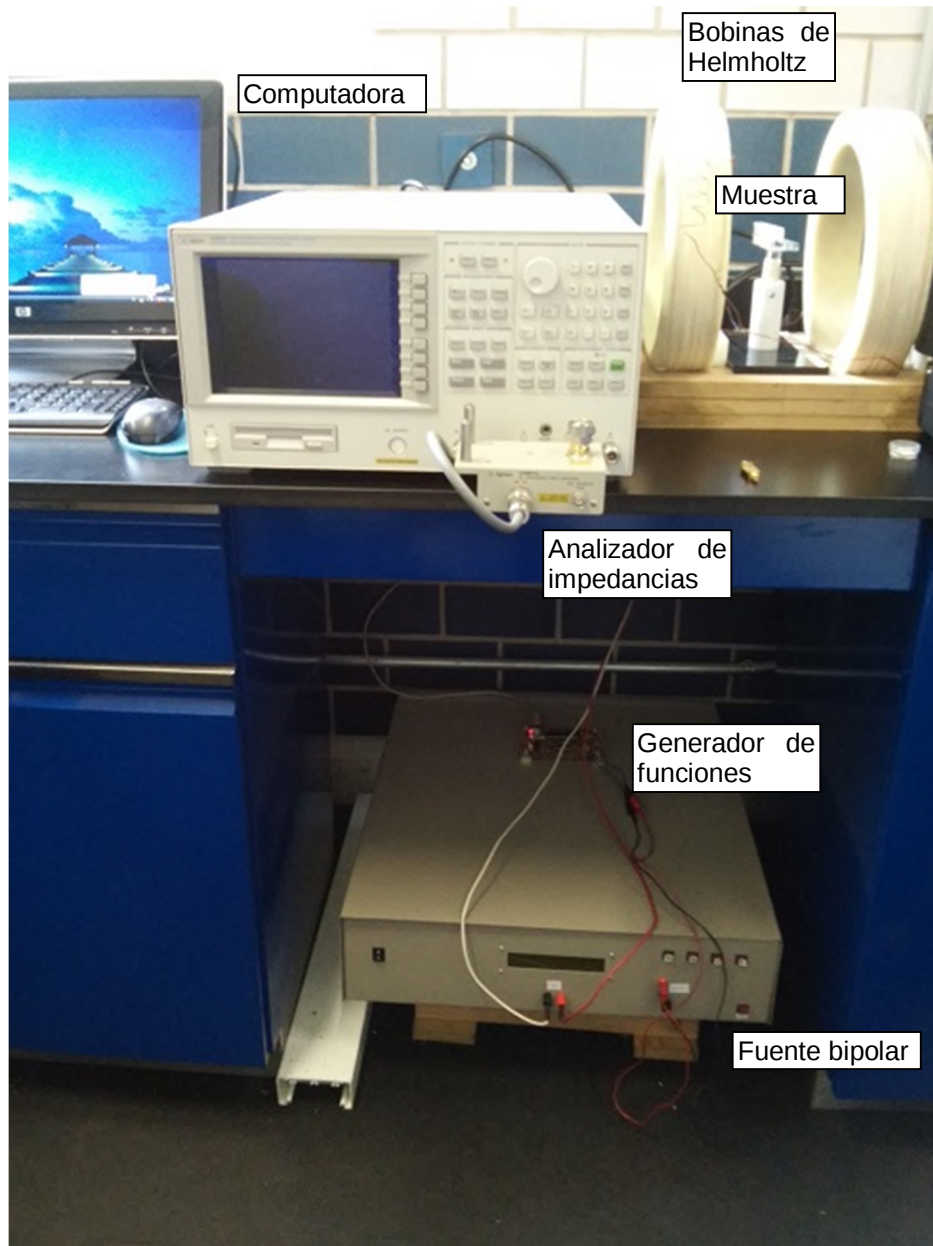


Figura 2. Esquema general.

En el esquema de la figura 2 el analizador de impedancias 4395A [Agilent 2002] obtiene la magnitud de la impedancia de la muestra que se ve afectada por el campo magnético generado en las bobinas de Helmholtz [Casañas 2012]. La variación en el campo se consigue al variar la alimentación del voltaje que suministra la fuente bipolar [Castillo 2013] a las bobinas. A su vez, la fuente bipolar es controlada por un voltaje analógico de baja potencia en el generador de funciones [Castillo 2013]. La computadora con el software específicamente desarrollado para la presente aplicación, controla al analizador a través de una interface GPIB [National Instruments 2015] y también controla al generador de funciones mediante una interface USB. En este sentido, el software contiene los algoritmos de control y medición.

Bajo el esquema de la figura 2 se pueden obtener curvas de magnetoimpedancia en gran volumen y con gran rapidez ya que el sistema es controlado por una PC y los resultados del proceso se almacenan en archivos de texto que pueden ser importados por Microsoft Excel.

A continuación, una descripción detallada de los componentes del sistema automático de medición.

1.2 Analizador de impedancias

El analizador de espectro/redes/impedancias Agilent 4395A, mostrado en la figura 3, es un equipo multifuncional que es capaz de operar en modo de analizador de impedancias en conjunto con algunos accesorios suministrados por el fabricante para tal propósito.



Figura 3. Agilent 4395A.

En modo de analizador de impedancias el 4395A opera en el rango de frecuencias de 100kHz a 500MHz proporcionando mediciones de magnitud, fase, componente real e imaginaria en dos canales de medición.

Cuando se desea analizar una muestra, se requiere de un accesorio de prueba o “test fixture” que se utiliza para conectar la muestra al equipo. El accesorio de prueba introduce una impedancia adicional a la medición por lo que debe ser compensada como parte del proceso de calibración. El accesorio de prueba puede comprarse como accesorio adicional al 4395A. A manera de revisión documental, a continuación se presentan los procesos generales que recomienda el fabricante para realizar mediciones de impedancia de manera manual y automática programada en un equipo controlador.

1.2.1 Procedimiento manual para analizar impedancias

En esta sección se describe de manera sucinta el proceso manual para medir una impedancia con el 4395A usando su panel de operación. El proceso descrito sirve como base para plantear el proceso automático.

En forma adicional al 4395A se requieren los siguientes accesorios:

1. Conjunto para prueba de impedancia 43961A.
2. Conjunto de calibración en corto circuito, circuito abierto y carga nominal de 50Ω .
3. Accesorio de prueba.
4. Dispositivo de corto circuito para el accesorio de prueba.
5. Muestra por analizar.

El proceso se desarrolla en los siguientes ocho pasos.

1. Preparación para la medición. Consiste en conectar el conjunto de prueba de impedancia 43961A al analizador de impedancia 4395A, posteriormente encender el equipo y esperar a que se realice el protocolo inicial del equipo.
2. Configuración inicial. Presionar la tecla "Meas" para seleccionar el tipo de analizador en "Impedance analyzer". Presionar la tecla "Chan 1" para activar el canal 1 de medición. Presionar la tecla "Sweep" para establecer el tipo de escala de barrido horizontal en frecuencia. Presionar la tecla "Start" para establecer la frecuencia de inicio de la prueba. Presionar la tecla "Stop" para establecer la frecuencia final para la prueba. Presionar la tecla "Source" para establecer el nivel de potencia que el equipo aplicará a la muestra. Presionar la tecla "Bw/Avg" para establecer el ancho de banda o resolución en frecuencia de la prueba. Presionar la tecla "Bw/Avg" para establecer el número de promedios que se realizarán para reportar una medición de impedancia.
3. Calibración. Presionar la tecla "Cal" para calibrar el equipo insertando secuencialmente los dispositivos de corto circuito, circuito abierto y carga de 50Ω .
4. Conexión de un accesorio de prueba. Montar el accesorio de prueba sobre el 43961A. Presionar el botón "Meas" para seleccionar el tipo de accesorio de prueba y compensar la longitud adicional que éste añade a la prueba. Colocar el dispositivo de corto circuito sobre el accesorio de prueba. Presionar la tecla "Cal" para calibrar en circuito cerrado. Remover el dispositivo de corto circuito y calibrar con circuito abierto.
5. Medición de impedancia. Suponiendo que la mayoría de las mediciones de impedancia se realizan sobre la magnitud en escala logarítmica en el canal 1, presionar la tecla "Meas" para seleccionar el tipo de medición en magnitud. Presionar la tecla "Format" para seleccionar el tipo de escala logarítmica. Conectar la muestra por analizar al accesorio de prueba. Presionar la tecla "Scale Ref" para seleccionar la función de auto escala vertical.
6. Conmutación del canal 1 al canal 2. Todas las especificaciones realizadas hasta este momento se asignan al canal 1. Para activar el canal 2, presionar la tecla "Chan 2" y la tecla "Bw/Avg" para establecer el número de promedios del canal 2.
7. Selección de los parámetros de medición para el canal 2. Asumiendo que para el canal 2 se desea desplegar la medición de fase en escala lineal, presionar la tecla "Meas" y seleccionar la medición de fase. Presionar la tecla "Format" para seleccionar la escala lineal.
8. Despliegue de los dos canales. Presionar la tecla "Display" para presentar las gráficas individuales de los canales 1 y 2 en una pantalla o la fusión de los dos canales en una sola gráfica de la pantalla.

Es importante mencionar que el proceso descrito aquí resulta ser demasiado tedioso y los resultados que se obtienen son escasos, es decir, solamente es posible obtener una medición sencilla de impedancia (magnitud y fase) en un rango de frecuencias. Por lo tanto es altamente recomendable automatizar este proceso en un software de computadora ya que en forma adicional, para la curva de magnetoimpedancia, se deberán realizar numerosas mediciones de impedancia para diferentes condiciones de campo magnético.

1.2.2 Procedimiento automatizado para analizar impedancias y curva de magnetoimpedancia

El procedimiento automatizado se gobierna desde un equipo controlador (computadora personal) al enviar comandos sobre un bus de interface de propósito general (GPIB por sus siglas en inglés) hacia el equipo periférico (analizador de impedancias 4395A). El analizador ejecuta las ordenes que le indica el comando recibido de la computadora y puede o no responder a este comando con parámetros de respuesta.

Para el procedimiento automatizado, se pueden organizar el procedimiento manual y la obtención de la curva de magnetoimpedancia en los siguientes cuatro sub-procesos principales:

1. Setup. En este proceso se programan los pasos 1 y 2 del proceso manual. Adicionalmente se establecen parámetros de operación complementarios. Los comandos son enviados en éste subproceso de manera secuencial y se describen en la tabla 1.

Comando GPIB	Descripción
PRES	Establece al 4395A con sus condiciones iniciales de fábrica.
ZA	Establece al 4395A en modo de analizador de impedancias.
*OPC?	Establece el bit de paridad para la recepción de datos.
CLES	Limpia los registros utilizados en el protocolo de comunicación GPIB.
*SRE 32	Establece el registro de eventos en la comunicación GPIB.
*ESE 36	Establece el registro de estado en la comunicación GPIB.
SWPT LOGF	Selecciona el tipo de barrido en frecuencia a logarítmico.
STAR	Establece el valor de la frecuencia inicial en el barrido horizontal.
STOP	Establece el valor de la frecuencia final en el barrido horizontal.
CHAN1	Activa el canal 1.
MEAS IMAG	Establece la medición de magnitud.
MEAS IRE	Establece la medición de resistencia.
CHAN2	Activa el canal 2.
MEAS IPH	Establece la medición de parte real.
MEAS IIM	Establece la medición de parte imaginaria.
DUAC ON	Selecciona el despliegue de ambos canales.
COUC ON	Acopla los parámetros del barrido horizontal a los canales de medición.
MKRCOUP ON	Establece el acoplamiento del marcador o cursor a los canales de medición
CHAN1	Activa el canal 1.
*OPC?	Establece el bit de paridad para la recepción de datos.

Tabla 1. Descripción de los comandos del subproceso Setup.

2. Calibración. En éste subproceso se implementan los pasos 3 y 4 del proceso manual. Los comandos son enviados en éste subproceso de manera secuencial y su ejecución depende si los accesorios que se mencionan están conectados o no. La descripción de los comandos se muestra en la tabla 2.

Comando GPIB	Descripción
CALK APC7	Selecciona el conjunto de calibración de 7mm.
BW 300	Selecciona el ancho de banda o resolución de la escala horizontal a 300kHz.
AVERFACT 8	Selecciona 8 promedios en el cálculo de la impedancia.
AVER ON	Activa la función de promedio.
CALI IMP	Con el 43961A en circuito abierto selecciona el modo de calibración a modo de analizador de impedancia.
CLASIMPA	Con el 43961A en circuito abierto selecciona la clase de calibración.
*OPC?	Con el 43961A en circuito abierto establece el bit de paridad para la recepción de datos.
CLASIMPB	Con el 43961A en corto circuito selecciona la clase de calibración.

*OPC?	Con el 43961A en corto circuito establece el bit de paridad para la recepción de datos.
CLASIMPC	Con el 43961A con carga de 50Ω selecciona la clase de calibración.
*OPC?	Con el 43961A con carga de 50Ω establece el bit de paridad para la recepción de datos.
*WAI	Con el 43961A con carga de 50Ω espera a que los comandos anteriores terminen de ejecutarse.
SAVIMP	Con el 43961A con carga de 50Ω calcula los coeficientes de error y los almacena.
*OPC?	Con el 43961A con carga de 50Ω establece el bit de paridad para la recepción de datos.
FIXT HP16191	Selecciona el accesorio de prueba 16191A.
COMP	Con el accesorio de prueba en circuito abierto selecciona el menú de compensación.
COMCA	Con el accesorio de prueba en circuito abierto mide los valores estándar de la compensación.
*OPC?	Con el accesorio de prueba en circuito abierto establece el bit de paridad para la recepción de datos.
COMCB	Con el accesorio de prueba en corto circuito mide los valores estándar de la compensación.
*OPC?	Con el accesorio de prueba en corto circuito establece el bit de paridad para la recepción de datos.
*WAI	Con el accesorio de prueba en corto circuito espera a que los comandos anteriores terminen de ejecutarse.
SAVCOM	Con el accesorio de prueba en corto circuito calcula la compensación del accesorio de prueba y lo almacena.
*OPC?	Con el accesorio de prueba en corto circuito establece el bit de paridad para la recepción de datos.

Tabla 2. Descripción de los comandos del subproceso Calibración.

3. Obtener espectro. En éste subproceso se implementan los pasos 5, 6, 7 y 8 del proceso manual. Los comandos son enviados en éste subproceso de manera secuencial. La descripción de los comandos se muestra en la tabla 3.

Comando GPIB	Descripción
MKR ON	Activa el marcador o cursor para obtener la medición en el despliegue.
CHAN1	Activa el canal 1.
*WAI	Espera a que los comandos anteriores terminen de ejecutarse.
SING	Realiza un barrido sencillo en frecuencia para obtener la medición de impedancia.
*WAI	Espera a que los comandos anteriores terminen de ejecutarse.
AUTO	Proporciona la medición del marcador o cursor en el despliegue.
CHAN2	Activa el canal 2.
*WAI	Espera a que los comandos anteriores terminen de ejecutarse.
SING	Realiza un barrido sencillo en frecuencia para obtener la medición de impedancia.
*WAI	Espera a que los comandos anteriores terminen de ejecutarse.
AUTO	Proporciona la medición del marcador o cursor en el despliegue.
CHAN1	Activa el canal 1.
FORM5	Especifica el formato MS-DOS para la transferencia de información en el bus GPIB.
POIN?	Pregunta por el número de puntos leídos en una medición.
OUTPDTRC?	Encuesta el resultado de la medición de impedancia.
CHAN2	Activa el canal 2.
FORM5	Especifica el formato MS-DOS para la transferencia de información en el bus GPIB.
POIN?	Pregunta por el número de puntos leídos en una medición.

OUTPDTRC?	Encuesta el resultado de la medición de impedancia.
OUTPSWPRM?	Encuesta el valor de la escala horizontal.

Tabla 3. Descripción de los comandos del subproceso Obtener espectro.

4. Magnetoimpedancia. En este subproceso se implementa de manera iterativa la obtención del espectro del punto anterior a una frecuencia fija desde un valor de campo magnético (o voltaje ya que M es directamente proporcional a V_p de la figura 1) inicial, alcanzando un valor de campo final y nuevamente de regreso al valor inicial de campo. La descripción de los comandos se muestra en la tabla 4.

Comando GPIB	Descripción
CHAN1	Activa el canal 1.
MKR ON	Activa el marcador o cursor para obtener la medición en el despliegue.
MKRPRM	Establece la marca o cursor de medición en el punto especificado en frecuencia.
SING	Para un voltaje inicial hasta un voltaje final, realiza un barrido sencillo en frecuencia para obtener la medición de impedancia.
*WAI	Para un voltaje inicial hasta un voltaje final, espera a que los comandos anteriores terminen de ejecutarse.
AUTO	Para un voltaje inicial hasta un voltaje final, proporciona la medición del marcador en el despliegue.
MKRVAL?	Para un voltaje inicial hasta un voltaje final, proporciona el valor de la impedancia medido en el valor del marcador de frecuencia.
SING	Para un voltaje inicial hasta un voltaje final, realiza un barrido sencillo en frecuencia para obtener la medición de impedancia.
*WAI	Para un voltaje inicial hasta un voltaje final, espera a que los comandos anteriores terminen de ejecutarse.
AUTO	Para un voltaje inicial hasta un voltaje final, proporciona la medición del marcador en el despliegue.
MKRVAL?	Para un voltaje inicial hasta un voltaje final, proporciona el valor de la impedancia medido en el valor del marcador de frecuencia.

Tabla 4. Descripción de los comandos del subproceso Magnetoimpedancia.

1.3 Fuente bipolar de potencia



Figura 4. Fuente bipolar de potencia.

La fuente bipolar de potencia de la figura 4 es un artefacto desarrollado previamente en el Laboratorio de Electrónica del CCADET. Sus principales características son las siguientes:

- Voltaje de salida, $\pm 40\text{V}$ de directa.
- Corriente de salida, $\pm 10\text{A}$ de directa.
- Panel de operación.
- Amplificación de señal analógica de baja potencia.

La última característica mencionada proporciona a la fuente bipolar la propiedad de ser gobernada por una señal de baja potencia que a su vez puede ser una señal especificada desde una computadora huésped. En este sentido, la señal de baja potencia es entrada a la fuente bipolar y su salida se utiliza para energizar las bobinas de Helmholtz que generan el campo magnético.

1.4 Generador de funciones

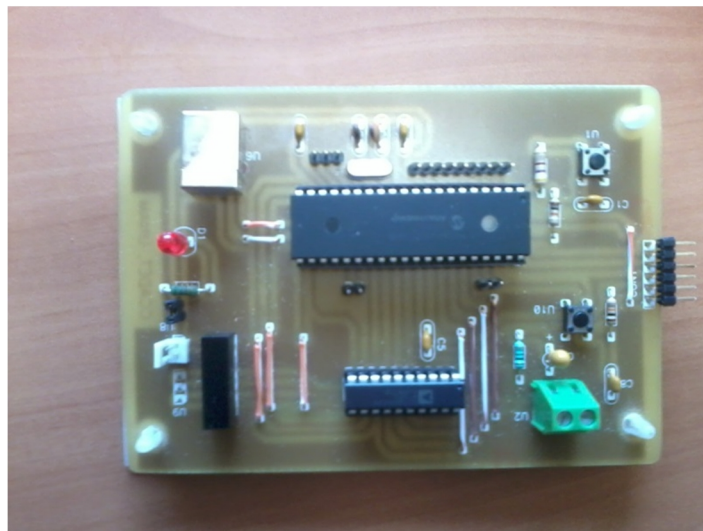


Figura 5. Generador de funciones.

El generador de funciones de la figura 5 es un dispositivo electrónico diseñado y construido anteriormente en el Laboratorio de Electrónica del CCADET y tiene las siguientes características.

- Operación remota mediante la interface USB con computadora personal.
- 12 bits de resolución.
- 255 muestras máximo por periodo de señal.
- $5.74\mu\text{s}$ de intervalo de muestreo mínimo.
- $\pm 10\text{V}$ de amplitud máxima en voltaje.
- Formas de onda preestablecidas desde el software de operación: Constante, senoide, rampa, cuadrada y arbitraria.

En el arreglo experimental de la figura 2, el generador se conecta a la computadora y el algoritmo en el software controla el voltaje del generador.

1.5 Bobinas de Helmholtz

Las bobinas de Helmholtz de la figura 6 también son un artefacto construido anteriormente en el Laboratorio de Materiales y Nanotecnología del CCADET UNAM.

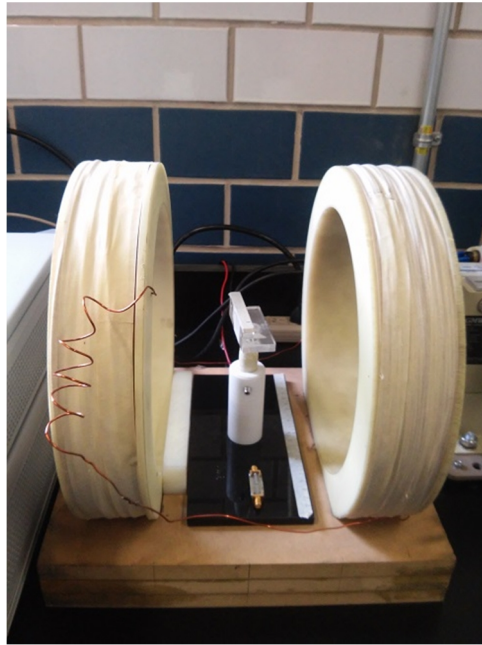


Figura 6. Bobinas de Helmholtz.

Las bobinas se utilizan para generar un campo magnético uniforme en su centro geométrico cuando son polarizadas con una fuente de voltaje de alta potencia. En el arreglo experimental de la figura 2, las bobinas son polarizadas por la fuente bipolar de potencia.

2 Descripción del software de operación

En el presente capítulo se describe el software de operación que automatiza la obtención de la curva de magnetoimpedancia descrita en la sección 1.2.2 utilizando el arreglo experimental de las figuras 1 y 2.

2.1 Procedimiento de instalación

El conjunto de programas que utiliza el software para la obtención de la curva de magnetoimpedancia se instala sobre una computadora personal con los siguientes requisitos y de acuerdo al siguiente procedimiento.

2.1.1 Requisitos mínimos

Los requisitos mínimos en la computadora huésped son:

- Procesador Centrino Duo.
- 1MB de RAM.
- 1MB de espacio en disco duro.
- 2 puertos USB 2.0.
- Windows XP Profesional de 32 bits.
- Despliegue gráfico de 1024X768.

Otros requisitos para completar el hardware de la figura 2 son:

- Tarjeta GPIB USB y software NI-488.2 [National Instruments 2015].
- Generador de funciones y software de operación [Castillo 2013].
- CD de instalación (Anexo al presente informe).
- Analizador de impedancia 4395A.
- Conjunto para prueba de impedancia 43961A y accesorios de corto circuito, circuito abierto y carga de 50Ω.
- Accesorio de prueba 16191A y dispositivo de corto circuito.
- Fuente bipolar de poder [Castillo 2013].
- Bobinas de Helmholtz.
- Muestra por analizar.

2.1.2 Instalación del software

La instalación del software se divide en los siguientes ámbitos:

Instalación de la tarjeta GPIB USB

Para esta instalación siga las recomendaciones de la empresa National instruments [National Instruments 2015].

Instalación del generador de funciones

Para esta instalación siga las instrucciones del informe técnico correspondiente [Castillo 2013].

Instalación del componente software

Para instalar el control ActiveX que proporciona las gráficas de la interface de usuario:

- Ingresar Windows con privilegios de administrador.
- Copiar el archivo ntgraph.ocx que se encuentra en la carpeta Programa\ControlActiveX del CD anexo al presente informe, al directorio c:\windows\system32 de la computadora anfitriona.

- Abrir una consola de Windows con privilegios de administrador y localizarse en el directorio de instalación mediante el comando “cd c:\windows\system32” y enter.
- Una vez localizado en el directorio de instalación teclear el siguiente comando en la misma consola de Windows “regsvr32 ntgraph.ocx” y enter.
- El sistema operativo deberá indicar la exitosa instalación del componente. De forma contraria, repetir el procedimiento asegurándose que se cuenta con privilegios de administrador y que no existan firewalls que bloquean el proceso.

Instalación del programa Puente

Para instalar el programa que obtiene la curva de magnetoimpedancia:

- Ingresar Windows con privilegios de administrador.
- Copiar todos los archivos que se encuentran en la carpeta Programa\Instalacion del CD anexo al presente informe, al directorio de preferencia en la computadora anfitriona, por ejemplo c:\Puente.
- Para comprobar la correcta instalación, configure el hardware como se muestra en la figura 2, ejecute el archivo Puente.exe y observe que en la pantalla aparecen las áreas destinadas a las gráficas y el identificador del analizador de impedancia como se muestra en la figura 7. Con esto se comprueba que el control ActiveX y la tarjeta GPIB USB se instalaron correctamente.

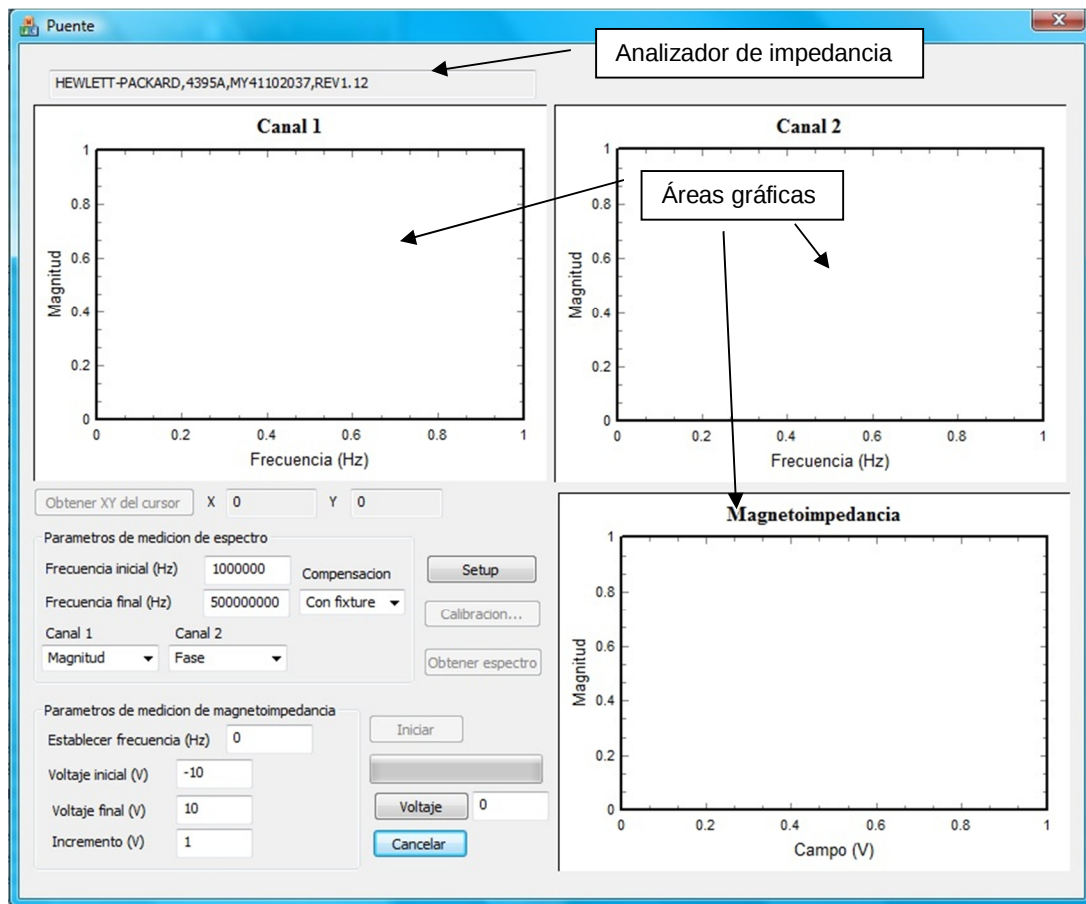


Figura 7. Pantalla de inicio del programa Puente.

- Finalmente, previo a la correcta ejecución del programa Puente que se muestra en la figura 7, pudieran aparecer algunas ventanas que indican configuraciones erróneas, las cuales se describirán a continuación.

2.2 Descripción del software en el ámbito del operador

En esta sección se describe el software para la obtención de la curva de magnetointerferencia, llamado Puente, especificado en la sección 1.2.2 y las posibles causas que pueden impedir su buen funcionamiento.

2.2.1 Consideraciones previas

Existen tres situaciones que impiden la ejecución correcta del software Puente.exe:

1. El control ActiveX no se ha instalado correctamente. Bajo esta condición, al iniciar el programa Puente.exe aparecerá la pantalla de la figura 8 y no será posible ingresar a la pantalla principal. Para remediar el error, repita el procedimiento de instalación del componente software descrito en la sección 2.1.2.

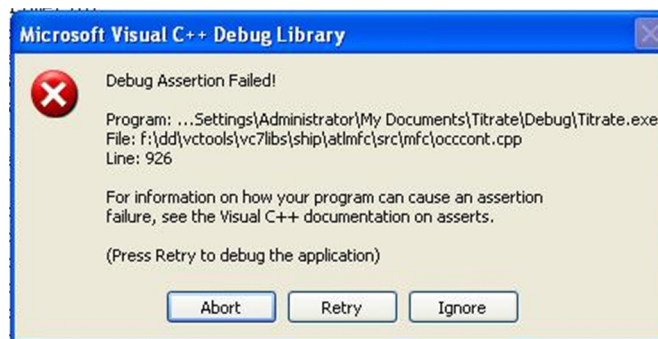


Figura 8. Instalación incorrecta del componente software.

2. La tarjeta GPIB USB no se ha instalado correctamente o el analizador de impedancia no está conectado. Bajo esta condición, al iniciar el programa Puente.exe aparecerá la pantalla de la figura 9. No obstante, al presionar el botón "OK" será posible ingresar a la pantalla principal del programa Puente pero el indicador del analizador de impedancia será deshabilitado. Para remediar el error, asegúrese que el software de operación de la tarjeta, llamado "NI-488.2" y el dispositivo GPIB USB se encuentran instalados correctamente según el software NI Max [National Instruments 2000].

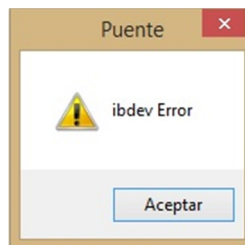


Figura 9. Instalación incorrecta de la tarjeta GPIB USB.

3. El generador de funciones presenta problemas. Bajo esta condición, al iniciar el programa Puente.exe aparecerá la pantalla de la figura 10. Para remediar el error, repita el procedimiento de instalación del generador de funciones como se describe en [Castillo 2013].

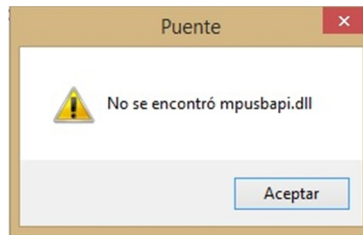


Figura 10. Instalación o configuración incorrecta del generador de funciones.

2.2.2 Descripción de la pantalla principal

La figura 11 muestra la pantalla principal del programa para la obtención de la curva de magnetoimpedancia utilizando el esquema hardware planteado en la sección 1.1 y de acuerdo al procedimiento automatizado descrito en la sección 1.2.2.

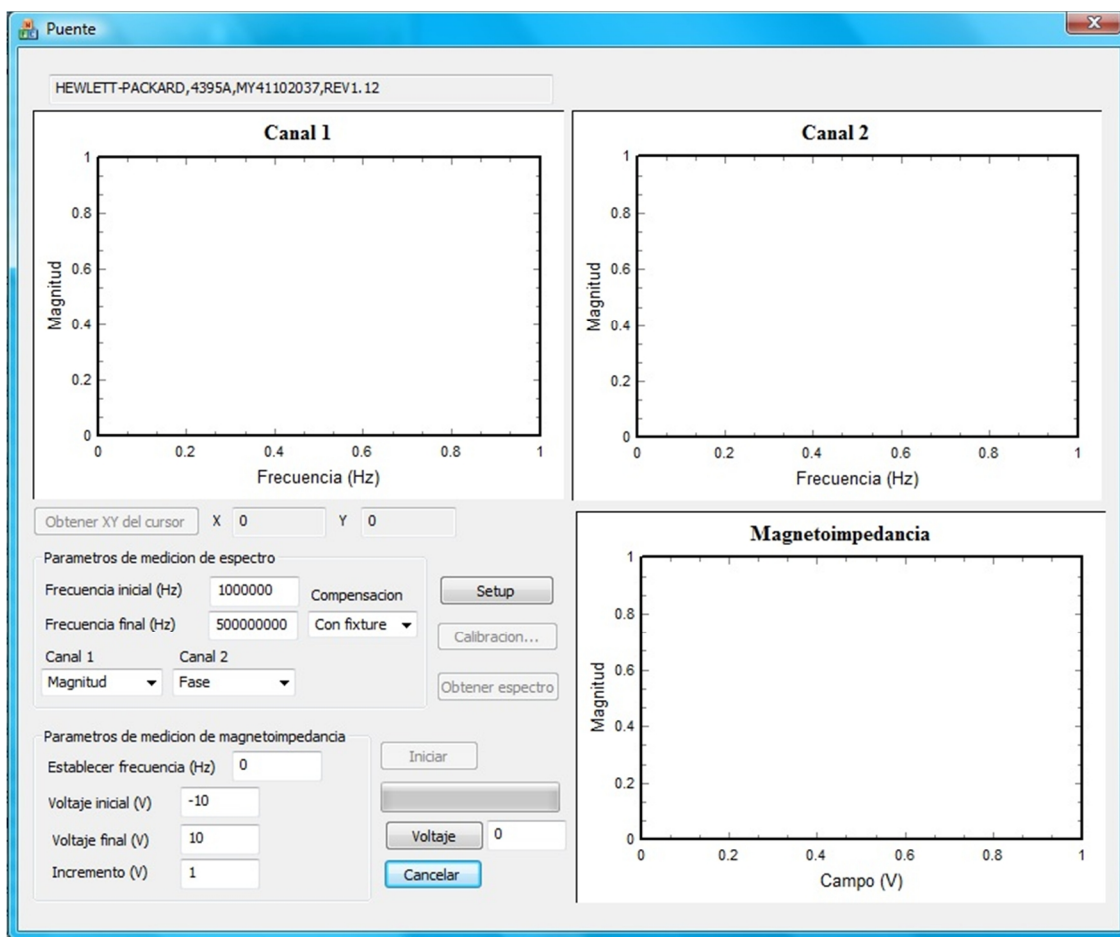


Figura 11. Pantalla principal del programa Puente.

La pantalla de la figura 11 está dividida en las secciones que se describen a continuación.

Grupo de controles “Parámetros de medición de espectro”. En esta sección de la pantalla se ingresan los siguientes parámetros para los procesos “Setup”, “Calibración” y “Obtener espectro” descritos en la sección 1.2.2:

- Frecuencia inicial. La frecuencia inicial del barrido horizontal.
- Frecuencia final. La frecuencia final del barrido horizontal.
- Canal 1. Parámetro de medición a desplegar en el canal 1, “Magnitud” o “Resistencia”.
- Canal 2. Parámetro de medición a desplegar en el canal 2, “Fase” o “Reactancia”.
- Compensación. Se indica si se realizará la compensación para el accesorio de prueba, “Con fixture” o “Sin fixture”.

Grupo de controles “Parámetros de medición de magnetoimpedancia”. En esta sección se especifican los siguientes parámetros para desarrollar el proceso de obtención de la curva de magnetoimpedancia:

- Establecer frecuencia. La frecuencia de operación del proceso de magnetoimpedancia. Se puede ingresar manualmente o al presionar sobre la gráfica del canal 1 con el botón izquierdo del ratón.
- Voltaje inicial. El voltaje inicial o valor del campo magnético inicial para la curva de magnetoimpedancia.
- Voltaje final. El voltaje final o valor del campo magnético final para la curva de magnetoimpedancia.
- Incremento. La resolución del voltaje o incremento de la escala horizontal para la curva de magnetoimpedancia.

Gráficas “Canal 1”, “Canal 2” y “Magnetoimpedancia”. “Canal 1” es el área de despliegue gráfico para las mediciones de impedancia, magnitud y resistencia contra frecuencia. “Canal 2” es el área de despliegue gráfico para las mediciones de impedancia, fase o reactancia contra frecuencia. “Magnetoimpedancia” es el área de despliegue gráfico de magnitud contra voltaje de campo para una frecuencia de operación.

Botón “Setup”. Al presionar este botón, se seleccionan los “Parámetros de medición de espectro” y se realiza la configuración inicial del analizador de espectro como se describió en 1.2.2. Este botón estará habilitado al inicio del programa y posteriormente, al presionarlo, se deshabilitará ya que el proceso de setup solamente se realiza una vez.

Botón “Calibración...”. Al presionar este botón, se seleccionan los “Parámetros de medición de espectro” y se realiza la calibración del analizador de espectro como se describió en 1.2.2. Durante el proceso de calibración se detendrá momentáneamente la ejecución y se solicitarán al usuario que se realicen ciertas operaciones como: conectar el conjunto de prueba 43961A, conectar el circuito abierto del 43961A, conectar el corto circuito del 43961A, conectar la carga de 50Ω del 43961A, conectar el accesorio de prueba 16191A, conectar el circuito abierto del 16191A, conectar el corto circuito del 16191A y conectar la muestra para obtener el espectro. La figura 12 muestra un ejemplo de la pantalla emergente que detiene momentáneamente la ejecución del programa y solicita al operador que se realice alguna de las instrucciones mencionadas. Este botón estará deshabilitado al inicio del programa y posteriormente, al presionar el botón “Setup”, se habilitará ya que el proceso de calibración sólo se puede llevar a cabo después del proceso de setup.

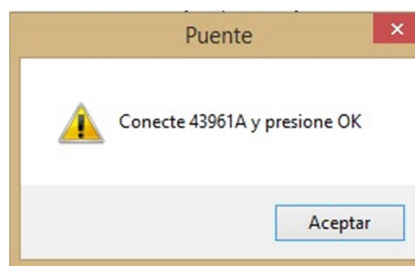


Figura 12. Pantalla emergente solicitando interacción del usuario.

Botón “Obtener espectro”. Al presionar este botón, se seleccionan los “Parámetros de medición de espectro” y se obtiene el espectro de magnitud, resistencia, fase o reactancia contra frecuencia como se describió en 1.2.2. Al iniciar el proceso se solicita un nombre de archivo para almacenar la medición del canal 1, canal 2 y frecuencia, como se muestra en la figura 13. Al finalizar el proceso se actualizan los despliegues gráficos “Canal 1” y “Canal 2”. Este botón estará deshabilitado al inicio del programa y posteriormente, al presionar el botón “Calibración...”, se habilitará ya que el proceso de obtención del espectro sólo se puede llevar a cabo después del proceso de calibración.

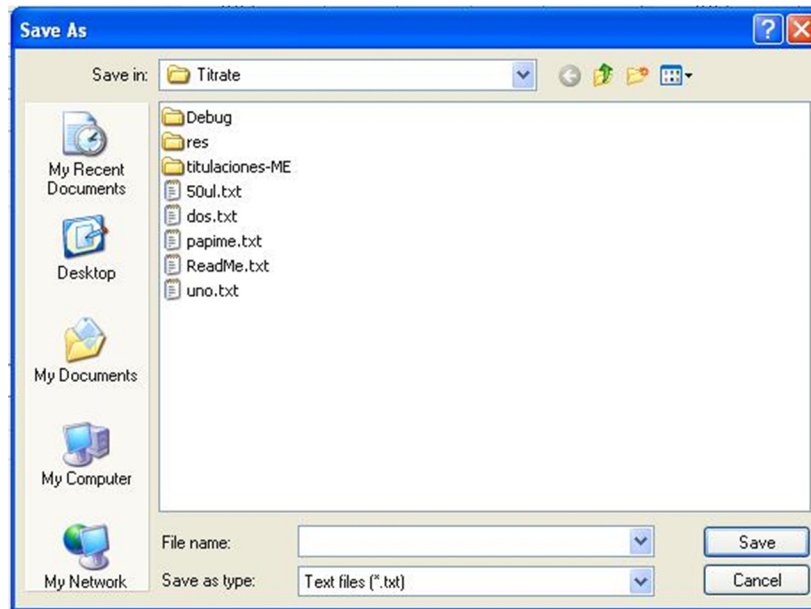


Figura 13. Caja de diálogo para ingresar el nombre del archivo de texto para la medición de impedancia.

Botón “Obtener XY del cursor”. Este botón normalmente se presiona después de obtener el espectro y después de presionar con el botón izquierdo del ratón sobre la gráfica del canal 1. De esta manera, el usuario, al analizar los resultados de la medición en el canal 1, podrá seleccionar la frecuencia de operación para la obtención de la curva de magnetoimpedancia. Este botón estará deshabilitado al inicio del programa y posteriormente, al presionar el botón “Obtener espectro”, se habilitará ya que el proceso de obtención de las coordenadas del cursor sólo se puede llevar a cabo después del proceso de obtención del espectro.

Botón “Iniciar”. Al presionar este botón se seleccionan los parámetros de medición de magnetoimpedancia para obtener la curva correspondiente. Al iniciar el proceso se solicita un nombre de archivo para almacenar la curva de campo contra amplitud, como se muestra en la figura 13. Durante el proceso se actualiza la barra de progreso indicando el avance y al finalizar se actualiza el despliegue gráfico de “Magnetoimpedancia”. Este botón estará deshabilitado al inicio del programa y posteriormente, al presionar el botón “Obtener XY del espectro”, se habilitará ya que el proceso de obtención de la curva de magnetoimpedancia sólo se puede llevar a cabo después del proceso de obtención de las coordenadas del cursor.

Botón “Voltaje”. Este botón se utiliza para generar un voltaje constante y a su vez una magnitud de campo constante en las bobinas de Helmholtz con fines de depuración.

2.3 Descripción del software en el ámbito del programador

El software para la obtención de la curva de magnetoimpedancia, llamado Puente, es un proyecto para Visual Studio 2008. Se construyó sobre la base de la MFC [Kruglinski et al, 1988] en una caja de diálogo

utilizando lenguaje de programación C++. La figura 14 muestra la vista de clases del proyecto de programación Puente.

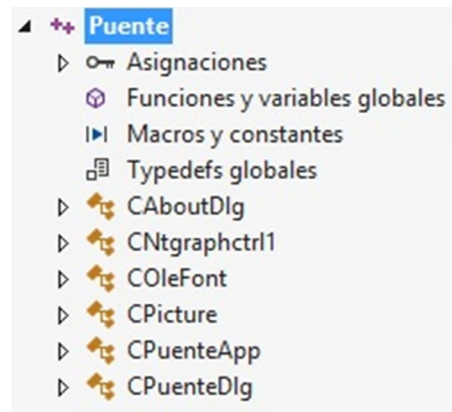


Figura 14. Vista de clases del proyecto Puente.

Algunas de las clases que conforman el proyecto Puente son creadas de diferentes formas:

- Las creadas automáticamente por el ambiente de desarrollo cuando se crea un nuevo proyecto: CAboutDlg, CPuenteApp y CPuenteDlg.
- Las creadas cuando se inserta el control ActiveX ntgraph.ocx en el editor de recursos: CNTgraphctrl1, CPicture y CFont.

El proyecto completo se encuentra en el CD anexo al presente informe en el directorio CodigoFuente/PuenteV2. A continuación, una descripción detallada de las clases.

2.3.1 Clase CAboutDlg

La clase CAboutDlg implementa las funciones que se muestran en la figura 15 y se describen a continuación.



Figura 15. Clase CAboutDlg.

CAboutDlg(); Es el constructor estándar de la clase. No contiene código alguno ya que la clase se utiliza en la aplicación solamente con fines informativos.

virtual void DoDataExchange(CDataExchange* pDX); Establece la compatibilidad para el intercambio de variables entre diálogos mediante DDX/DDV. Hereda la funcionalidad de su clase antecesora CDialog.

2.3.2 Clases insertadas por el control ActiveX

Para utilizar los recursos del despliegue gráfico, se utiliza un componente software, también conocido como control ActiveX.

En particular el control ntgraph.ocx facilita la graficación de datos bidimensionales. Se inserta en el editor de recursos cuando se crea la aplicación y a su vez crea las clases CNTgraphctrl1, COleFont, CPicture que permiten acceder a las opciones de personalización y despliegue de datos. El código fuente de este

control no fue afectado por la presente aplicación y se puede consultar la referencia [Code Project, 2003] para mayor información.

2.3.3 Clase CPuenteApp

La clase CPuenteApp implementa los métodos que se muestran en la figura 16 y se describen a continuación.

```
CPuenteApp()
InitInstance()
```

Figura 16. Clase CPuenteApp.

CPuenteApp(); Es el constructor estándar de la clase. No contiene código alguno.

virtual BOOL InitInstance(); Establece la inicialización estándar de la caja de diálogo principal de la aplicación “Puente” de la figura 11. Maneja el evento que se ejecuta al presionar el botón “Cerrar” finalizando la aplicación.

2.3.4 Clase CPuenteDlg

La clase CPuenteDlg soporta la mayor parte del algoritmo de medición y control. Implementa los métodos que se muestran en la figura 17 y se describen a continuación.

```
Constante(double Xamplitud)
CPuenteDlg(CWnd * pParent = NULL)
CursorPositionNtgraphctrl1(double X, double Y)
DoDataExchange(CDataExchange * pDX)
EscribeGPIB(char comando[20])
LeeGPIB(void)
OnBnCalibracion()
OnBnIniciar()
OnBnObtenerEspectro()
OnBnSetup()
OnBnVoltaje()
OnBnXYCursor()
OnClose()
OnInitDialog()
OnPaint()
OnQueryDragIcon()
OnSysCommand(UINT nID, LPARAM lParam)
PICConfiguraCDA(BYTE Nmuestra, BYTE TmuestraLSB, BYTE TmuestraMSB)
PICTabla(BYTE indice, BYTE LSB, BYTE MSB)
retardoms(int tiempoms)
USBClosePipes(void)
USBOpenPipes(void)
USBReceivePacket(BYTE * ReceiveData, DWORD * ReceiveLength)
USBSendPacket(byte * SendData, DWORD SendLength)
```

Figura 17. Clase CPuenteDlg.

void Constante(double Xamplitud); Formatea las variables necesarias para crear una forma de onda constante en el generador de funciones a partir del voltaje deseado en Xamplitud.

CPuenteDlg(CWnd* pParent = NULL); Es el constructor estándar de la clase. Inicia los valores por omisión que se desplegarán en la pantalla principal y variables globales.

void CursorPositionNtgraphctrl1(double X, double Y); Intercepta el mensaje que se genera en el área gráfica del canal 1 para actualizar los valores X y Y de la posición del cursor.

virtual void DoDataExchange(CDataExchange* pDX); Establece la compatibilidad para el intercambio de variables entre diálogos mediante DDX/DDV. Hereda la funcionalidad de su clase antecesora CDialog.

void EscribeGPIB(char comando[20]); Escribe la cadena comando[20] en la interface GPIB mediante la función específica NI-488.2. En síntesis, envía comandos al analizador de impedancia.

CString LeeGPIB(void); Regresa la cadena resultado de la lectura sobre la interface GPIB mediante la función específica NI-488.2. En síntesis, lee datos del analizador de impedancia.

afx_msg void OnBnCalibracion(); Atiende el evento por presionar el botón “Calibración...”. Envía los comandos GPIB descritos en la tabla 2 para implementar la forma automatizada de calibración.

afx_msg void OnBnIniciar(); Atiende el evento por presionar el botón “Iniciar”. Envía los comandos GPIB descritos en la tabla 4 para implementar la forma automatizada en la obtención de la curva de magnetoimpedancia. Actualiza el despliegue gráfico “Magnetoimpedancia” y almacena los datos en archivo.

afx_msg void OnBnObtenerEspectro(); Atiende el evento por presionar el botón “Obtener espectro”. Envía los comandos GPIB descritos en la tabla 3 para implementar la forma automatizada de medición de impedancia. Almacena los resultados de la medición en archivo y actualiza los despliegues gráficos “Canal 1” y “Canal 2”.

afx_msg void OnBnSetup(); Atiende el evento por presionar el botón “Setup”. Envía los comandos GPIB descritos en la tabla 1 para implementar la forma automatizada del proceso de inicialización o setup.

afx_msg void OnBnVoltaje(); Atiende el evento por presionar el botón “Voltaje”. Envía el valor especificado en la caja de diálogo a la función Constante.

afx_msg void OnBnXYCursor(); Atiende el evento por presionar el botón “Obtener XY del cursor”. Obtiene las coordenadas del cursor del despliegue gráfico “Canal 1” y envía los comandos GPIB al analizador de impedancias para establecer la frecuencia de operación en la prueba de magnetoimpedancia.

afx_msg void OnClose(); Atiende el evento por presionar el botón “Cancelar”. Envía el valor de 0 V a la función Constante.

virtual BOOL OnInitDialog(); Este evento se ejecuta una sola vez al inicio de la aplicación. Establece las condiciones iniciales de la caja de diálogo. Inicia los despliegues gráficos y botones de control. Inicia la interface GPIB. Carga en memoria la librería DLL para establecer comunicación USB con el generador de funciones.

afx_msg void OnPaint(); Establece el contexto de dispositivo para dibujar sobre la aplicación. Insertado por omisión por el ambiente de desarrollo.

afx_msg HCURSOR OnQueryDragIcon(); El sistema llama a esta función para obtener el cursor que se muestra mientras el usuario arrastra la ventana minimizada.

afx_msg void OnSysCommand(UINT nID, LPARAM lParam); Atiende el evento que genera la caja de diálogo "Acerca de..."

void PICConfiguraCDA(BYTE Nmuestra, BYTE TmuestraLSB, BYTE TmuestraMSB); Forma un buffer de 4 bytes conteniendo el código de entrada para el comando que le indica al microcontrolador del generador de funciones que configure el convertidor digital a analógico, el número muestras a generar y el intervalo de muestreo. El buffer es enviado al llamar al método USBSendPacket().

void PICTabla(BYTE indice, BYTE LSB, BYTE MSB); Forma un buffer de 4 bytes conteniendo el código de entrada para el comando que le indica al microcontrolador del generador de funciones que almacene la muestra, el índice de la muestra y el valor de la muestra. El buffer es enviado al llamar al método USBSendPacket().

void retardoms(int tiempoms); Método para generar retardos de tiempoms.

void USBClosePipes(void); Cierra los tubos de comunicación USB con el microcontrolador del generador de funciones.

void USBOpenPipes(void); Abre los tubos de comunicación USB con el microcontrolador del generador de funciones.

void USBReceivePacket(BYTE* ReceiveData, DWORD* ReceiveLength); Llama a la función USBOpenPipes. Obtiene información del tubo de comunicación y llama a la función USBClosePipes

void USBSendPacket(byte* SendData, DWORD SendLength); Llama a la función USBOpenPipes. Escribe información en el tubo de comunicación y llama a la función USBClosePipes.

2.4 Procedimiento típico para operar el sistema

1. Configurar el arreglo experimental como se muestra en la figura 2. Sobre esta configuración, realizar las conexiones eléctricas de la figura 18. El par de cables para la salida analógica del generador de funciones puede ser cualquier conductor de cobre. El par de cables que conecta la salida de la fuente bipolar a las bobinas de Helmholtz debe ser de un calibre que soporte gran cantidad de corriente, aproximadamente 10A.

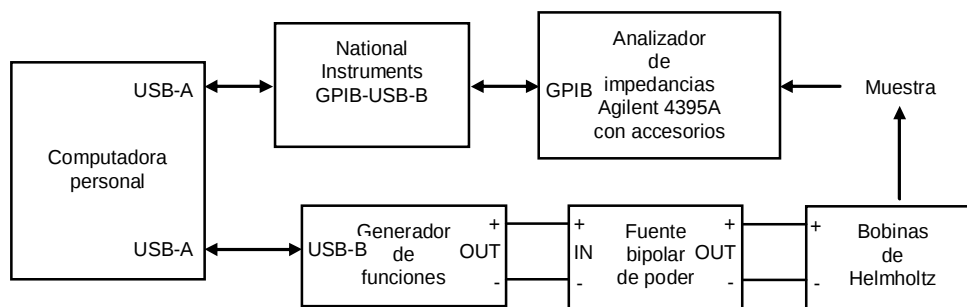


Figura 18. Conexiones eléctricas.

2. Preparar la muestra a medir y los accesorios necesarios del analizador de impedancias.
3. Encender, en orden secuencial, la fuente bipolar, el analizador de impedancias y finalmente la computadora. Esperar algunos minutos a que la computadora y el analizador arranquen y completen su ciclo inicial.
4. Ejecutar el programa Puente y verificar que no existan las tres situaciones que impiden la ejecución correcta del software descritas en la sección 2.2.1.

5. Establecer los parámetros de medición de espectro y presionar el botón "Setup". Esperar a que se complete el proceso y se active el botón "Calibración..."
6. Presionar el botón "Calibración..." y seguir cada una de las instrucciones de las pantallas emergentes. Esperar a que finalice el proceso y se active el botón "Obtener espectro".
7. Presionar el botón "Obtener espectro" y asignar un nombre de archivo para almacenar los resultados de la medición de impedancia. Esperar a que se active el botón "Obtener XY del cursor" y se complete la gráfica del "Canal 1" y "Canal 2".
8. Sobre la gráfica del canal 1, presionar el botón derecho del ratón en los valores de frecuencia o magnitud a los cuales se desea obtener la curva de magnetoimpedancia. Observar que los valores X y Y de la pantalla se actualizan y que sobre la gráfica del canal 1 aparece un cursor vertical.
9. Presionar el botón "Obtener XY del cursor" para establecer la frecuencia de operación a la cual se ejecutará el proceso de magnetoimpedancia. Observar que la caja de texto "Establecer frecuencia" se actualiza y el botón "Iniciar" se activa. Esta es la frecuencia a la cual se realizará el proceso de magnetoimpedancia.
10. Establecer los parámetros de medición de magnetoimpedancia, es decir, el voltaje o campo magnético inicial, el voltaje o campo magnético final y el incremento o resolución en el voltaje o campo generado. Recordar que el voltaje en el generador de funciones es proporcional al campo magnético en las bobinas de Helmholtz.
11. Presionar el botón "Iniciar" para obtener la curva de magnetoimpedancia y establecer un nombre de archivo para las mediciones. Durante el proceso se actualizan la barra de desplazamiento y el despliegue gráfico "Magnetoimpedancia".
12. Esperar a que la barra de desplazamiento se llene completamente y el botón "Iniciar" vuelva estar activo. Estas condiciones indican el fin de la prueba.
13. Apagar los equipos del arreglo experimental y si es necesario desconectar.

3 Resultados y discusión

El resultado principal es la implementación del programa para la obtención de la curva de magnetoimpedancia. Para verificar su desempeño, se realizaron dos experimentos que demuestran la consistencia de los datos obtenidos.

3.1 Resultados

Se desarrolló el programa que se muestra en la figura 19.

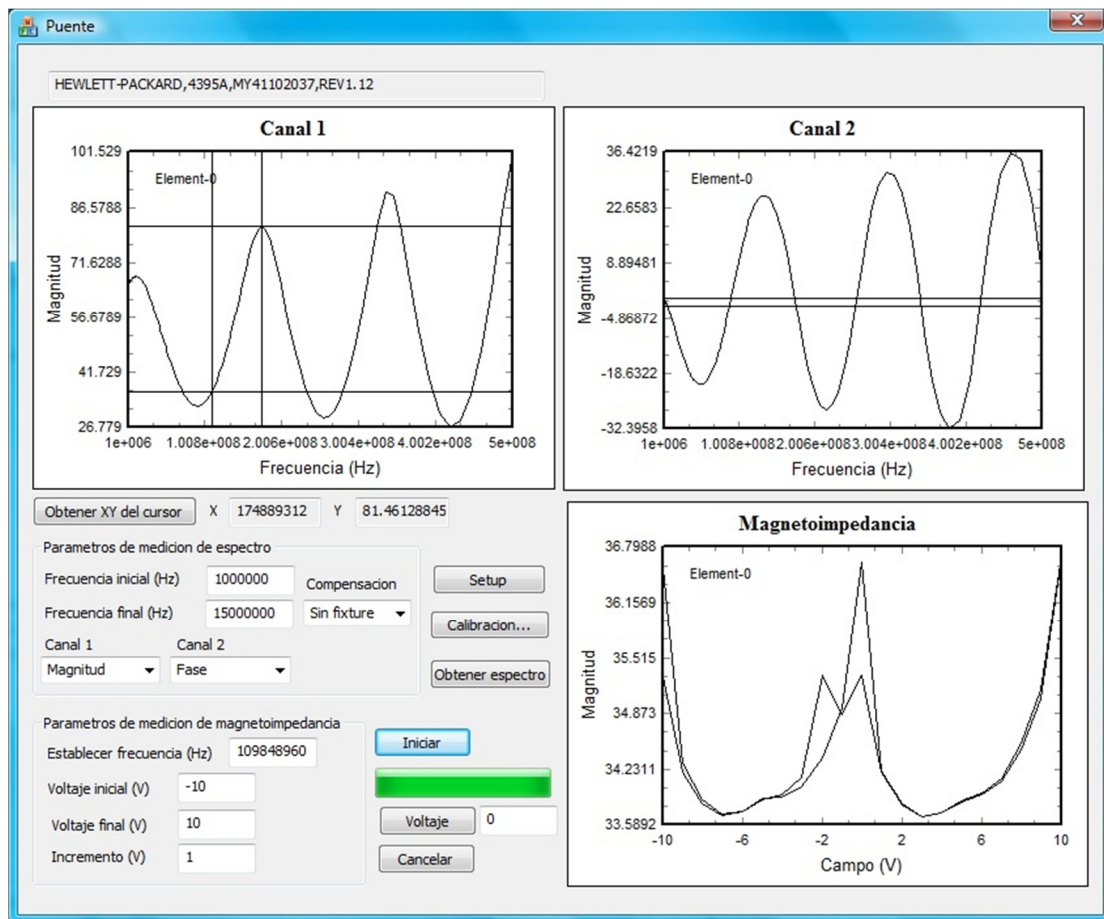


Figura 19. Pantalla del programa para la obtención de la curva de magnetoimpedancia.

El programa en conjunto con el arreglo experimental de la figura 2 se utiliza para medir impedancia y para obtener la curva de magnetoimpedancia como dos procesos que pudieran ser independientes pero que comúnmente, para obtener la magnetoimpedancia de un material, primero se debe conocer su impedancia en un rango de frecuencias.

3.1.1 Medición de impedancia

Se midió la impedancia de una muestra de material usando el arreglo de la figura 2 y el programa Puentes para un rango de frecuencia entre 1MHz y 500MHz. Se utilizó un arreglo de prueba o test fixture para montar la muestra y se realizaron los procesos de setup, calibración y obtención del espectro. En el canal 1 se eligió desplegar la magnitud y en el canal 2 la fase. La medición desplegada por la pantalla del programa se muestra en la figura 20. La figura 21 muestra los datos de la medición graficados en Excel.

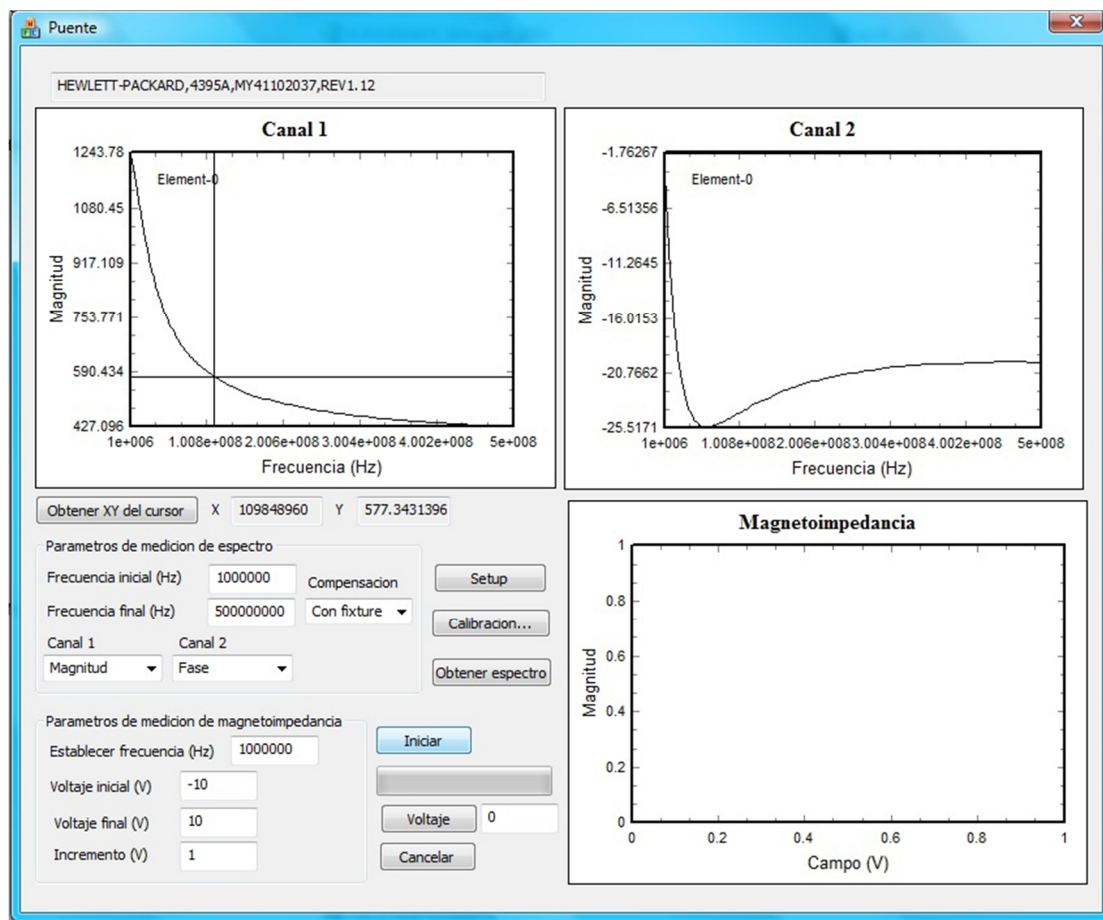


Figura 20. Pantalla del programa para la medición de impedancia.

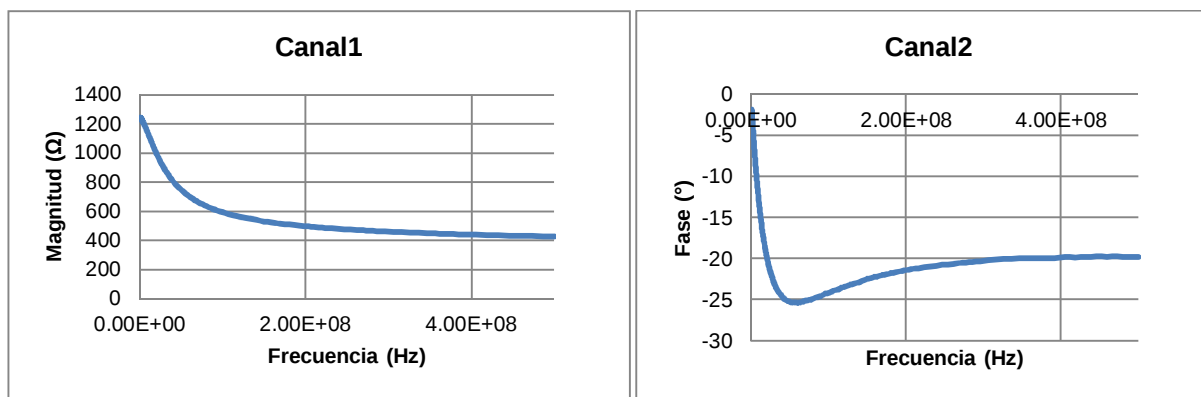


Figura 21. Medición de impedancia en Excel.

3.1.2 Obtención de la curva de magnetoimpedancia

Una vez obtenida la impedancia del material, se elige como frecuencia de operación un valor aproximado a 110MHz. Se establece un barrido completo en el campo magnético con $\pm 10V$ de excursión analógica y resolución de 0.25V. La medición desplegada por la pantalla del programa se muestra en la figura 22. La figura 23 muestra los datos de la medición graficados en Excel.

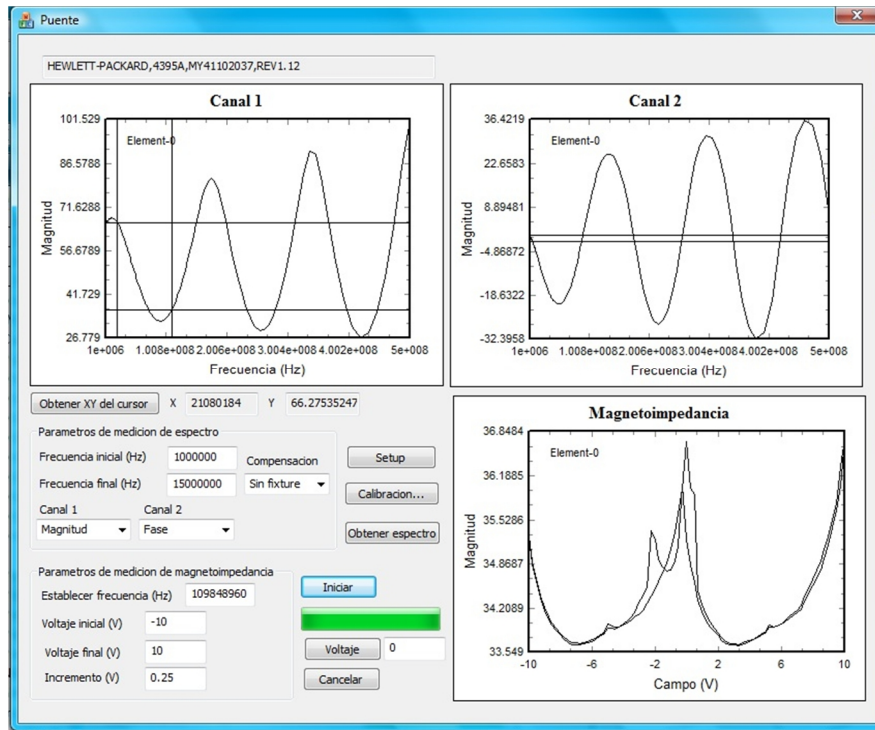


Figura 22. Pantalla del programa para la curva de magnetoimpedancia.

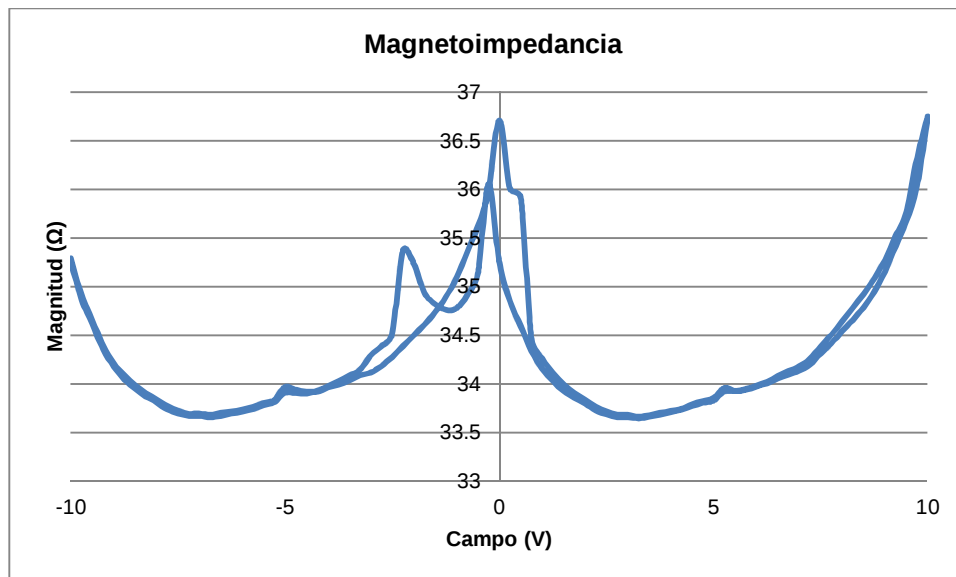


Figura 23. Curva de magnetoimpedancia en Excel.

3.2 Discusión

En la obtención de la curva de magnetoimpedancia se realiza un barrido en campo que inicia en -10V, se incrementa hasta llegar a +10V y finalmente decrece hasta -10V. La curva mostrada en la figura 23 para este proceso presenta un fenómeno parecido a la histéresis, ya que ambas curvas, creciente y decreciente, no empatan por completo. El fenómeno se acentúa en campos cercanos a 0V. La causa de este fenómeno se podría deber a las propiedades intrínsecas del material. Otra causa podría ser un fenómeno de histéresis en el generador de funciones o fuente de poder bipolar. Para investigar el

problema con detalle haría falta una caracterización completa de del arreglo hardware, generador de funciones, fuente bipolar y bobinas de Helmholtz, de manera que se obtenga una curva de voltaje enviado por la computadora contra campo magnético generado en las bobinas. Este experimento no es trivial ya que requiere de un instrumento de medición de campo magnético de alta resolución y un arreglo mecánico para posicionar el sensor magnético con gran precisión y estabilidad en el interior de las bobinas.

Conclusiones

Se presentó un sistema hardware y software que automatiza los procesos de medición de impedancias y obtención de la curva de magnetoimpedancia. La automatización permite el análisis de un gran volumen de muestras, minimiza la intervención por parte del operador, disminuye el tiempo de procesamiento y genera archivos de mediciones que pueden procesarse en software de terceros.

Se realizaron dos experimentos de medición utilizando el esquema hardware propuesto y el software desarrollado. Los resultados obtenidos verifican la consistencia de las mediciones y comprueban la simplificación de los procedimientos, evitando de esta manera, el desgaste excesivo del analizador de impedancias.

Se utilizaron equipos desarrollados anteriormente en el CCADET UNAM lo cual demuestra la utilidad de estos desarrollos y la creación de infraestructura propia.

Referencias

Agilent (2002) *Agilent 4395A Network/Spectrum/Impedance Analyzer Operation Manual*. Agilent, USA, 569 pp.

Casañas B. S. (2012) **Instrumentación y control de la técnica de magnetoimpedancia para materiales ferromagnéticos suaves**, Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México.

Castillo H. J., Valera O. B. y Montiel S. M. H. (2013) *Fuente de poder bipolar de potencia y generador de señales*, CCADET, México, 55 pp.

Code Project (2003), *2D Graph ActiveX Control*, [En línea], obtenida de <http://www.codeproject.com/Articles/3214/D-Graph-ActiveX-Control>. [Accedida el 25/08/16].

Kruglinski D. J., Shepherd G. y Wingo S. (1988) *Programming Microsoft Visual C++*. Microsoft Press, USA, 1153 pp.

National Instruments (2000) *Using Measurement & Automation Explorer™ (MAX) with VXI*, National Instruments, USA, 23 pp.

National Instruments (2015) *INSTALLATION GUIDE AND SPECIFICATIONS GPIB Hardware*, National Instruments, USA, 46 pp.

Phan M. H. y Peng H. X. (2008) Giant magnetoimpedance materials: Fundamentals and applications. **Progress in Materials Science**, 53 (2), Febrero, 323–420.