



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
DEPARTAMENTO DE CONTROL AUTOMÁTICO

Trabajo de Diploma

**Tesis en opción al título de Ingeniero en
Automática**

**Diseño de una interfaz para la realización de prácticas
de laboratorios virtuales de mediciones magnéticas en
la Facultad de Ingeniería Eléctrica**

Autora: Yanet Pastor Mustelier

Tutores: MSc. Osbeida López Almarales

MSc. Julio Fong Barrio

Colaborador: MSc. Frank Grau Mercochine

Santiago de Cuba

Junio del 2016

“Año 58 de la Revolución”

Pensamiento

Pensamiento

*Esforzaos y cobrad ánimo;
no temáis, ni tengáis miedo de ellos,
porque Jehová tu Dios es el que va contigo,
no te dejará, ni te desamparará.*

Deuteronomio 31:6

Agradecimientos

Agradecimientos

A Dios, por darme la fuerza para seguir adelante, por su amor, su cuidado, su misericordia, por estar conmigo en todo momento y guiarme a cada instante durante la realización de este trabajo y de forma general, en mi vida y por proveer todo lo necesario. Gracias Padre por pelear mis batallas, bendito seas. Te amo Señor.

A mis padres, Ernesto y Nuria por amarme, cuidarme y protegerme, por brindarme su apoyo en cada una de las decisiones que he debido tomar, por animarme y aconsejarme en todo momento. Gracias porque sin ustedes no hubiera existido, los amo.

A mi hermana Yuliet, porque a pesar de la distancia que nos separa, siempre me ha apoyado y ayudado en todo lo que ha podido. Gracias por amarme y hacerme sentir lo que dices soy para ti, “la niña de tus ojos”. Te amo.

A Mariana, por su ayuda en todo momento y por estar dispuesta a ayudarme cuando la he necesitado. Gracias por alivianar mis cargas.

A mi hermana Lisbeth (yiyi) y familia Díaz – Jiménez, por amarme, por orar sin desmayar en todo tiempo, para que llegara a la meta; por esperar lo mejor de mí a pesar de las circunstancias, por hacer suya mi preocupación e incluso llorar conmigo; por permitirme formar parte de su hermosa familia. Gracias por tus consejos y tu paciencia.

A mis amigas, Rocío, Yanela, Dianelis, Masusi, por sus valiosos consejos que me impulsaron a seguir el camino y me ayudaron a levantarme durante toda la carrera y en varias etapas de mi vida; por escucharme y sacarme la sonrisa. Gracias por todo, las quiero muchísimo.

A mi amigo Jorge Ahmed, porque a pesar del poco tiempo de nuestra amistad me ha ayudado en todo lo que ha podido.

A mis tutores Osbeida López Almarales y Julio Fong Barrio, por su gran ayuda y paciencia para conmigo todo este tiempo, por su esfuerzo y dedicación; porque cuando parecía imposible que este momento llegara y estaba en mis peores momentos no me abandonaron. Doy gracias a Dios por ustedes. Muchas gracias por todo, Dios los bendiga mucho.

Al profesor Frank Grau, por toda la ayuda prestada, por su atención y explicación en todo momento.

A mis hermanos en Cristo, que han estado orando por mi todo este tiempo, especialmente a mi hermana de la fe y amiga Yeticet, por sus sabios consejos. Gracias por preocuparse, muchas bendiciones.

Muchas son las personas que han contribuido de una forma u otra a la realización de este trabajo: A todos, Muchas Gracias.

Resumen

RESUMEN

En este trabajo se presenta el diseño de una interfaz para prácticas de laboratorios virtuales de mediciones magnéticas en la Facultad de Ingeniería Eléctrica.

Previamente, se presentan conceptos generales relacionados con los sistemas de mediciones magnéticas, así como algunos métodos convencionales para realizar dichas mediciones. Se caracterizaron desde el punto de vista gnoseológico, histórico y actual los laboratorios virtuales; de igual forma se hace un breve estudio de la instrumentación a emplear y se trata el tema de la adquisición de datos brevemente.

Luego se muestra la propuesta del sistema para la medición de campo magnético, así como la interfaz diseñada empleando el software profesional **MATLAB[®] 7.10** para realizar las mediciones, se selecciona el sensor, se diseña el acondicionador de señales y finalmente se comprueban las mediciones para diferentes puntos de operación.

Abstract

ABSTRACT

This work present the design of an interface to perform virtual laboratory practice of magnetics measures at the Faculty of Electric Engineering. Previously are performed general concepts related with magnetic measures systems, as well as some conventional methods for achieve such measures. It was characterized from the standpoint of epistemological, historical the virtual laboratories; at the same way it is made a brave study of the instrumentation to use and we deal with the topic of data acquisition shortly.

Then it shows the proposal of the system for the magnetic field measuring such as the interface design using the professional software **MATLAB[®] 7.10** to make the measures, it is selected a sensor, designed the conditioner of signals and finally they are proven the measures for the different operation points.

Índice

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I. GENERALIDADES DE LOS SISTEMAS DE MEDICIONES MAGNÉTICAS	4
INTRODUCCIÓN.....	4
1.1. Antecedentes de los campos magnéticos	4
1.1.1. Fundamentos relacionados con los sistemas de mediciones magnéticas.....	6
1.1.2. Unidades de medida de los campos magnéticos.....	8
1.1.3. Propiedades de los materiales ferromagnéticos	11
1.1.4. Determinación de las características de los materiales magnéticos.....	13
1.2. Métodos convencionales de mediciones magnéticas.....	17
1.3. Aplicaciones de los sistemas magnéticos	23
1.4.1. Caracterización histórica de los laboratorios virtuales a nivel mundial y su actualidad	26
1.4.2. Caracterización histórica de los Laboratorios Virtuales en Cuba y su actualidad	27
1.5. Instrumentación empleada en los sistemas de mediciones magnéticas	29
1.6. Características fundamentales de los sistemas de adquisición de datos.....	32
1.6.1. Elementos de adquisición datos	33
1.6.2. Ventajas de los sistemas de adquisición de datos	35
1.7. Caracterización de la tarjeta de adquisición de datos <i>DAQBoard/1000</i>	36
CONCLUSIONES PARCIALES I	38
CAPÍTULO II. INTERFAZ GRÁFICA PARA UN SISTEMA DE MEDICIÓN DE CAMPOS MAGNÉTICOS	39
INTRODUCCIÓN.....	39
2.1. Propuesta del sistema de medición de campo magnético.....	39
2.1.1. Diseño del acondicionador de señal para sensor de Efecto Hall de salida lineal UGN3503	42
2.2. Software empleado.....	50

2.3. Diseño de la Interfaz Gráfica de usuario.....	50
2.4. Desarrollo de las mediciones.....	54
CONCLUSIONES PARCIALES II	59
CONCLUSIONES GENERALES.....	60
RECOMENDACIONES	61
BIBLIOGRAFÍA.....	62
ANEXOS	

Introducción

INTRODUCCIÓN

El desarrollo y puesta en práctica de nuevas tecnologías, es producto en gran medida del avance de la física, particularmente en el desarrollo de la microelectrónica y de otras áreas de alta tecnología, que utilizan los principios del electromagnetismo en el diseño de equipos médicos, industriales, domésticos, sistemas de mediciones magnéticas que favorecen el trabajo humano con más eficiencia.

El magnetismo es un fenómeno conocido desde la antigüedad, pero no fue bien comprendido hasta su unificación con la teoría de la electricidad a mediados del siglo XIX, gracias sobre todo a los trabajos de James Clerk Maxwell, físico escocés conocido principalmente por haber desarrollado la teoría electromagnética clásica [12, 13].

Luego de diversos estudios realizados por científicos como Hans Christian Oersted, físico y químico danés, quedó demostrada la relación intrínseca entre el campo magnético y el campo eléctrico plasmada en las ecuaciones de Maxwell, de ahí, una de la importancia del estudio del campo magnético. Una forma sencilla de comprobar la presencia de un campo magnético, y medirlo, se basa en el método de Efecto Hall [24].

La ciencia del magnetismo se ha vuelto central en nuestra tecnología y los avances alcanzados han permitido el uso de campos magnéticos en diferentes áreas, por ejemplo, en la salud, en la agricultura y la ganadería, se han utilizado para ionizar el agua con la que se riegan los cultivos y en la industria en el tratamiento magnético del agua a través de los magnetizadores.

En la actualidad, diferentes universidades y centros de investigación, requieren de tecnología y laboratorios que puedan apoyar el proceso de aprendizaje sustentados en los principios físicos que tiene la ciencia del magnetismo. Los cuales dado su continua utilización con fines educativos y experimentales, demandan constantes actualizaciones y reparaciones.

Los laboratorios virtuales tienen múltiples ventajas, como es, el entendimiento de conceptos, la no existencia de restricciones de tiempo ni lugar, constituyen un medio interactivo que estimula el aprendizaje, poseen bajo costo para su implementación, el estudiante se prepara para explotar de forma óptima los sensibles y costosos instrumentos de laboratorio, como los de medición.

El estudio y medición de magnitudes magnéticas resulta de gran interés para la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Oriente, para realizar prácticas de laboratorios que permitan ver el comportamiento de dichas magnitudes. Se considera que por la no disponibilidad de una instalación con la instrumentación necesaria para implementar un sistema de adquisición de datos y medir la magnitud física Inducción Magnética o instrumento virtual que permita realizar mediciones de campo magnético y por las ventajas que poseen los laboratorios virtuales, sería de gran utilidad contar con prácticas de laboratorio virtuales que permitan a los estudiantes corroborar los conocimientos teóricos adquiridos relacionados con esta área de la ciencia y realizar futuras investigaciones.

Por estas razones, el trabajo actual plantea como **problema de la investigación** la no existencia de medios para la medición de magnitudes magnéticas en la Facultad de Ingeniería Eléctrica, siendo el **objeto de la investigación** los sistemas de medición de campos magnéticos. Por lo que se ha tomado como **objetivo de la investigación** diseñar una interfaz para la realización de prácticas de laboratorios virtuales de mediciones magnéticas en la Facultad de Ingeniería Eléctrica. Debido a esto, se define como **campo de acción**, las prácticas de laboratorios virtuales de mediciones magnéticas, utilizando el transductor UGN3503 de Efecto Hall, y la interfaz de la computadora con la tarjeta **DAQBoard/1000** para la adquisición de datos. Esto conduce a plantear como **hipótesis**, que si se diseña una interfaz para prácticas de laboratorios virtuales de mediciones magnéticas en la Facultad de Ingeniería Eléctrica, se contaría con dichas prácticas de laboratorio para la obtención de la magnitud física Inducción Magnética, elevando el grado de motivación y desempeño de los estudiantes y profesores, desde el punto de vista experimental.

Para dar cumplimiento al objetivo se han asumido las siguientes **tareas de la investigación**:

1. Caracterizar gnoseológicamente, históricamente y en la actualidad, los sistemas de medición de campo magnético.
2. Caracterizar desde el punto de vista gnoseológico, histórico y actual los laboratorios virtuales educativos.
3. Caracterizar los sensores de Efecto Hall para las mediciones de campo magnético.

4. Validar los resultados de las mediciones mediante simulación con el software Proteus V8.
5. Diseñar y caracterizar los experimentos para diferentes puntos de operación.
6. Diseñar la interfaz mediante la comunicación de la tarjeta a la PC y el uso del transductor UGN3503 de Efecto Hall para la adquisición de los datos.

Técnicas y métodos empleados en la investigación

1. Técnicas empíricas.
2. Análisis documentales.
3. Observación.
4. Método histórico-lógico.
5. Método de análisis-síntesis.

Significación práctica de la investigación:

La interfaz diseñada permitirá la realización de prácticas de laboratorios virtuales de mediciones magnéticas en la Facultad de Ingeniería Eléctrica, elevando la preparación y rapidez de aprendizaje de los estudiantes, además de permitir la realización de diversos experimentos con fines docentes e investigativos.

Estructura del informe del trabajo:

El informe elaborado posee una Introducción, dos capítulos, conclusiones, recomendaciones, bibliografía y anexos.

En el primer capítulo: se plantean aspectos generales relacionados con los sistemas de mediciones magnéticas, así como algunos métodos convencionales para realizar dichas mediciones. Se caracterizan los laboratorios virtuales; además se realiza un breve estudio de la instrumentación a emplear, se aborda el tema de la adquisición de datos de manera breve como parte del sistema.

En el segundo capítulo: se presenta la propuesta para la medición de campo magnético, así como la interfaz diseñada para realizar las mediciones, se selecciona el sensor, se diseña el acondicionador a utilizar en el sistema de medición y luego se realizan las mediciones correspondientes.

Capítulo 1

CAPÍTULO I. GENERALIDADES DE LOS SISTEMAS DE MEDICIONES MAGNÉTICAS

INTRODUCCIÓN

La ciencia del magnetismo se ha vuelto indispensable en nuestra sociedad, debido a la amplia gama de aplicaciones que tienen los campos magnéticos, los cuales se hacen cada vez más intensos y efectivos en diversas aplicaciones medioambientales, de salud e industriales.

En este capítulo se plantean aspectos teóricos fundamentales, definiciones, y aplicaciones relacionadas con los sistemas de mediciones magnéticas para los laboratorios virtuales, los cuales se caracterizan gnoseológicamente y en la actualidad. Se expone la instrumentación empleada en dichas mediciones. Se caracteriza el sistema de adquisición de los datos a emplear para obtener las mediciones, abordando sus principales características.

1.1. Antecedentes de los campos magnéticos

El origen del magnetismo es muy antiguo, se remonta a más de 3500 años, en los países de Egipto, China y la India. En la edad del hierro, se descubrió que una piedra especial, la magnetita o imán natural, atraía las limaduras de hierro e incluso se adhería a los objetos de este metal [4].

La ciencia del magnetismo nació de la observación de que ciertas "piedras" (mineral magnetita (Fe_3O_4) o "piedra imán") atraían pedazos de hierro, este fenómeno se conoce desde la antigüedad; la palabra magnetismo viene de la región de Magnesia en el Asia Menor, que es uno de los lugares en donde se encontraban esas piedras [20].

Aunque estos efectos se conocían desde tiempos antiguos, muy poco se conocía sobre su origen y menos aún, de su conexión con los efectos eléctricos. Para el año 1820, los científicos consideraban que el magnetismo y la electricidad eran dos fenómenos separados que no guardaban relación alguna, sin embargo, las

investigaciones aportadas por los descubrimientos de Oersted, demostraron que las corrientes eléctricas producían efectos magnéticos, mientras que los trabajos de Henry y Faraday demostraron que se podían producir corrientes eléctricas mediante determinados efectos magnéticos.

Uno de los beneficios prácticos de estos descubrimientos, es el electroimán, el cual fue inventado independientemente, por Joseph Henry (científico norteamericano), y William Sturgeon, (físico inglés), alrededor del año 1825, hoy es considerado uno de los grandes inventos de los tiempos modernos [8].

La relación entre los fenómenos eléctricos y magnéticos que se desprenden de estos descubrimientos fueron agrupados en una teoría unificada, rigurosa y coherente, por el científico escocés James Maxwell quien al publicar su obra en 1865, creó una verdadera revolución en el ámbito científico de la época, poniendo de relieve la posibilidad de existencia de las ondas electromagnéticas [8].

El primer electroimán que se exhibió en el mundo por William Sturgeon, fue el 23 de mayo de 1825 en la Sociedad Británica de Oficios, era una barra recubierta de hierro de 30 cm de largo y 1.3 cm de diámetro, doblada en forma de herradura y cubierta de una capa de alambre de cobre.

Un electroimán es un imán cuyo campo magnético es producido por el paso de corriente eléctrica por un sistema de bobinas provistas de un núcleo de hierro. Se compone de un material ferromagnético denominado núcleo, alrededor del cual se ubica un cable conductor de forma espiral llamado solenoide. Su ventaja es proporcionar un campo magnético intenso y de larga duración, además al tener dominio de la corriente eléctrica aplicada, es posible adaptar el campo producido de acuerdo a las necesidades de los experimentos especificados en un punto [17].

En las mediciones de campos magnéticos se utiliza como unidad de medida el tesla, esta unidad en el Sistema Internacional (SI) es nombrada así en honor a Nikola Tesla.

En las unidades del SI cuyo nombre proviene del nombre propio de una persona, la primera letra del símbolo se escribe con mayúscula (T), en tanto que su nombre siempre empieza con una letra minúscula (tesla), salvo en el caso de que inicie una frase o un título.

A partir de estos antecedentes históricos se construyó uno de los electroimanes más grandes para un dispositivo atractivo de metales, por medio de un martillo de hierro (este martillo es la bola de hierro llamada de esta forma que tenían los electroimanes al ser colgados por grandes grúas). En este caso el electroimán tiene grandes ventajas, puesto que al poco tiempo se fabricaron electroimanes más grandes, aún capaces de levantar desde 1.2 t hasta 50 t (toneladas), creciendo así la potencia de los electroimanes.

Estos electroimanes se utilizan también en el transporte, así, para que las ruedas de las vagonetas se adhieran mejor a los rieles y aumente el roce, los ingenieros, todavía en 1910, montaban las ruedas por medio de electroimanes, utilizando este, se logró aumentar el coeficiente de rozamiento y, por consiguiente, triplicar el peso de la carga transportada. Experimentos análogos se realizaron en amplia escala en los ferrocarriles de la URSS en 1960 [15].

Los electroimanes aparecieron en gran número en laboratorios físicos, salones aristocráticos y consultorios médicos. Empezaron a utilizarlos incluso, en fábricas de confección en las máquinas, en el calzado magnético de los cosmonautas, para estudiar sustancias colocadas en campos intensos, entre otros [16].

Sobrevino la nueva era de incremento de la potencia de los imanes, pero no aumentando sus dimensiones, sino mediante el perfeccionamiento de su forma e interés de continuar en las investigaciones contra la saturación de los electroimanes. No se puede decir que esa lucha de los físicos contra el hierro saturable fuese muy exitosa, para lograr cada vez aumentar corriente sin que la inducción del campo magnético disminuya notablemente, para ello se requiere de un respaldo electrónico, consumo energético y tecnológico que es costoso en la actualidad.

1.1.1. Fundamentos relacionados con los sistemas de mediciones magnéticas

El conocimiento del magnetismo al ser integrado a la tecnología se aplica en beneficio del hombre, de ahí la necesidad de su estudio; siendo el magnetismo la parte de la Física que estudia los fenómenos magnéticos para determinar sus causas y establecer las leyes que lo rigen, y se pone de manifiesto a través de fuerzas de

acción a distancia llamadas fuerzas magnéticas. Estas fuerzas son interacciones entre imanes, y de una forma más general, pueden considerarse como interacciones entre partículas cargadas en movimiento.

El hecho de que las fuerzas magnéticas sean fuerzas de acción a distancia, permite recurrir a la idea física de campo para describir la influencia de un imán o de un conjunto de imanes sobre el espacio que los rodea.

Por tanto, se puede definir campo magnético como el medio que permite que las cargas eléctricas interactúen magnéticamente sin estar en contacto físico. Las cargas eléctricas sufren fuerzas magnéticas no sólo provenientes de otras cargas en movimiento, sino también de campos magnéticos estáticos, y variables. Para encontrar la magnitud y dirección del campo magnético en cualquier punto del espacio se necesita una carga eléctrica de prueba q . Se dispara la carga en la región del espacio donde se desea medir el campo magnético, con una velocidad V , cuya magnitud y dirección se debe conocer, y se observa cualquier cambio en su dirección original de movimiento.

En cada caso se mide la fuerza sobre la carga. Si se repite este experimento un número suficiente de veces manteniendo la magnitud de la velocidad V , constante pero cambiando su dirección se puede descubrir que la magnitud de la fuerza F , cambiará desde cero hasta un valor máximo F_{max} . La magnitud del campo magnético B , en esa región del espacio será:

$$B = F_{max}/qV \quad (1.1)$$

Cuando la fuerza resulta ser cero, los vectores de campo magnético y velocidad serán paralelos.

Cuando la fuerza es máxima, estas direcciones serán perpendiculares [4,8].

Las características hasta aquí descritas se pueden comprender a través de una ecuación matemática que existe entre las variables F , q , V y B , la cual se expresa como:

$$F = qV \times B \quad (1.2)$$

Los campos magnéticos pueden ser producidos por diferentes fuentes como por ejemplo los imanes, siendo los campos producidos por éstos considerables, pero para ciertas aplicaciones resultan todavía muy débiles. Para conseguir campos más intensos se utilizan bobinas fabricadas con conductores eléctricos, que al ser recorridos por una corriente eléctrica desarrollan campos magnéticos cuya intensidad depende fundamentalmente de la intensidad de la corriente y del número de espiras de la bobina [4,8].

1.1.2. Unidades de medida de los campos magnéticos

Al igual que para definir el comportamiento de un circuito eléctrico se utilizan las magnitudes eléctricas, para definir los campos electromagnéticos se utilizan las magnitudes magnéticas, entre las que se encuentran [19]:

1) Flujo magnético (Φ).

El campo magnético se representa a través de las líneas de fuerza. A la cantidad de estas líneas se le denomina flujo magnético. Se representa por la letra griega Φ ; una de sus unidades es:

- **El weber (Wb)** en el sistema internacional.

2) Inducción magnética (B).

La inducción magnética se define como, la cantidad de líneas de fuerza que atraviesan perpendicularmente la unidad de superficie. Se representa por las unidades siguientes:

- **El tesla (T)** en el sistema internacional.
- **El gauss (G)** en el sistema internacional.

La relación que existe entre ambas unidades es **$1 \text{ T} = 10^4 \text{ G}$** .

Se dice que existe una inducción de un tesla cuando el flujo de un weber atraviesa perpendicularmente una superficie de un metro cuadrado.

3) Fuerza magnetomotriz (\mathcal{F}).

Se puede decir que es la capacidad que posee la bobina de generar líneas de fuerza en un circuito magnético. La fuerza magnetomotriz aumenta con la intensidad de la corriente que fluye por la bobina y con el número de espiras de la misma [19].

$$\mathcal{F} = N \cdot I \tag{1.3}$$

Siendo:

\mathcal{F} = Fuerza magnetomotriz en ampere - vuelta (Av)

N = Número de espiras

I = Intensidad de corriente (A)

4) Intensidad de campo (H).

Indica lo intenso que es el campo magnético. La intensidad de campo en una bobina depende de la fuerza magnetomotriz (**N·I**). Ahora bien, cuanto más larga sea la bobina, más se dispersan las líneas de campo, dando como resultado una intensidad de campo más débil; por lo que se puede decir que, para una fuerza magnetomotriz constante, la intensidad de campo (**H**) es inversamente proporcional a la longitud media de las líneas de campo, tal como se expresa en la siguiente ecuación:

$$H = \frac{N \cdot I}{L} \tag{1.4}$$

Siendo:

H = Intensidad del campo en amperio-vuelta/metro (Av/m)

N = Número de vueltas de la bobina

I = Intensidad de la corriente (A)

L = Longitud de la bobina (m)

5) Permeabilidad magnética (μ).

Se puede comprobar experimentalmente cómo, al introducir en el núcleo de una bobina una barra de hierro, se aprecia un notable aumento de las propiedades magnéticas de dicha bobina. Por esta razón, siempre que se desee producir campos magnéticos intensos se utilizarán núcleos de hierro, como es el caso de los electroimanes [19]. Cuando se introduce en el núcleo de una bobina una sustancia ferromagnética, se aprecia un aumento de líneas de fuerza en el campo magnético.

Si se llama B_0 a la inducción magnética que produce el electroimán con un núcleo de aire, y \mathbf{B} a la inducción magnética conseguida al introducir una sustancia ferromagnética, se tiene que:

$$B = \mu_r \cdot B_0 \quad (1.5)$$

Siendo μ_r el poder que posee la sustancia ferromagnética de multiplicar las líneas de campo. A este parámetro se le conoce por el nombre de permeabilidad. En este caso, se trata de la **permeabilidad relativa** con respecto al aire o al vacío.

Este fenómeno se puede explicar valiéndose de la teoría molecular de los imanes: la bobina con núcleo de aire produce un número determinado de líneas de fuerza.

Al introducir un trozo de hierro, éste se ve sometido a la acción de estas líneas de fuerza y sus moléculas magnéticas tienden a orientarse. El núcleo de hierro ahora es un imán temporal que refuerza la acción del campo magnético original.

En la práctica es más usual utilizar el concepto de **permeabilidad absoluta** (μ). Ésta nos relaciona la intensidad de campo que produce la bobina (\mathbf{H}) con el nivel de inducción magnética alcanzado al introducir una sustancia ferromagnética en el núcleo.

$$\mu = \frac{B}{H} \quad (1.6)$$

Lo que es lo mismo: $B=\mu \cdot H$, donde se puede apreciar el poder multiplicador de la permeabilidad. Las unidades en el S.I. se dan en Henrios /metro (H/m).

Cada sustancia magnética tiene su propio coeficiente de permeabilidad. Cuanto mayor es este coeficiente, mejores propiedades magnéticas poseerán estas sustancias. Como ya estudiaremos a continuación, la permeabilidad de los materiales no es constante, y depende sobre todo de los niveles de inducción a que se sometan los mismos.

La permeabilidad del aire o el vacío en el S.I. es $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$

Con esta expresión se relaciona la permeabilidad absoluta con la relativa:

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0} \quad (1.6)$$

El fundamento de la medición de las magnitudes magnéticas, es la investigación experimental de las propiedades magnéticas de los materiales y piezas ferromagnéticas, lo cual es importante para el diseño de diferentes máquinas y mecanismos.

1.1.3. Propiedades de los materiales ferromagnéticos

Los materiales ferromagnéticos son atraídos fuertemente en presencia de un imán. La permeabilidad relativa de dichos materiales es cientos, y aún miles de veces mayor que la unidad [22]. Estos tipos de materiales pueden presentar magnetización incluso en ausencia de campo magnético externo.

Atendiendo a algunas de sus propiedades los materiales ferromagnéticos se clasifican en:

1. Materiales magnéticamente blandos

Los materiales magnéticamente blandos son fácilmente imanables y desimanables, también presentan curvas de histéresis de apariencia estrecha con bajos campos coercitivos y alta saturación, teniendo altas permeabilidades magnéticas. Este hecho se debe a la presencia de pocas imperfecciones y defectos que constituyen obstáculos al movimiento de paredes de los dominios magnéticos o al giro de la imanación dentro de un dominio, Figura 1.1 [3].

Un valor típico de la fuerza coercitiva en estos materiales es de 10 A/m, el sentido de la magnetización se invierte fácilmente al aplicar campos de muy pequeña intensidad. El campo de saturación o de magnetización está determinado solamente por la composición del material, ejemplo de ello son las ferritas.

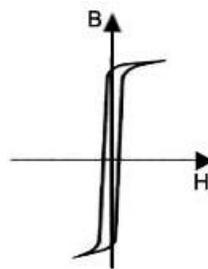


Figura 1.1. Ciclo de histéresis de un material magnéticamente blando.

Un valor bajo de coercitividad corresponde al movimiento fácil de las paredes de dominios en respuesta a los cambios de dirección del campo. Los defectos estructurales tales como la presencia de partículas de una fase no magnética o bien de poros en el material magnético, tienden a restringir el movimiento de las paredes de dominios y por tanto a aumentar la coercitividad, por consiguiente un material magnético blando debe de estar libre de defectos estructurales [2].

En el proceso de imanación-desimanación del material magnético tienen lugar pérdidas energéticas básicamente debidas a dos fenómenos:

- **Las pérdidas por histéresis:** se deben a la disipación de energía requerida para desplazar las paredes de los dominios magnéticos durante la imanación y desimanación del material. Estas pérdidas aumentan por la presencia de impurezas, imperfecciones, dislocaciones, entre otros, que actúan como barreras que impiden el desplazamiento de las paredes de dominios durante el ciclo de imanación, incrementando las pérdidas de energía de histéresis. El área encerrada por la curva de histéresis es una medida de la energía perdida debida a la histéresis magnética [3].
- **Las pérdidas por corrientes parásitas:** se deben a corrientes inducidas por variaciones en el flujo magnético, y se pueden reducir aumentando la resistividad del material. Esto se obtiene, por ejemplo, añadiendo impurezas sustitucionales, utilizando una estructura laminar o de hojas y aplicando una capa aislante entre una hoja y la siguiente [3].

2. Materiales magnéticamente duros

Se caracterizan por una alta fuerza coercitiva **H_c** y una alta inducción magnética remanente **B_r**; de este modo, los ciclos de histéresis de estos materiales son anchos y altos, como se muestra en la Figura 1.2.

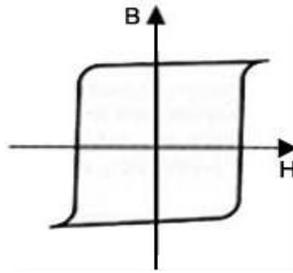


Figura 1.2. Ciclo de histéresis de un material magnéticamente duro.

Estos materiales se imanar en un campo magnético lo suficientemente fuerte como para orientar sus dominios magnéticos en la dirección del campo aplicado. Una parte de la energía aplicada del campo se convierte en energía potencial que se almacena en el imán permanente producido. Un imán permanente, se encuentra en un estado de energía relativamente alto, comparado con un imán que no está imanado. Los materiales magnéticos duros son difíciles de desimantar, una vez imanados debido básicamente a sus altas constantes de anisotropía cristalina y a defectos que imposibilitan el movimiento de las paredes de dominio [2].

En la actualidad los materiales ferromagnéticos se emplean en los más disímiles equipos, de ahí que el estudio de los métodos para determinar sus características principales tiene una gran importancia [9].

1.1.4. Determinación de las características de los materiales magnéticos

La característica de los materiales magnéticos depende en gran medida de la historia del material y de las condiciones de magnetización, por eso la forma de su determinación depende del uso futuro del material [9].

Dentro de estas características se encuentra la curva de magnetización y la histéresis magnética.

1. Curva de magnetización

Cuando se somete una sustancia a la acción de un campo magnético creciente H , la inducción magnética que aparece en la misma, también aumenta en una relación determinada. Por lo general, esta relación ($B-H$) no es constante, por lo que es de

gran utilidad conocer la curva de magnetización, que representa el valor de la inducción en función de la intensidad de campo en cada material [19].

En la curva que se muestra en la Figura 1.3, se representa la relación **B-H** de un hierro dulce. En ella se puede apreciar que para valores de intensidad de campo de hasta 2000 Av/m (tramo a-b), la inducción magnética crece proporcionalmente hasta 0,2 T. A partir de este punto aparece un punto de inflexión en la curva, por tanto, a aumentos de la intensidad de campo le corresponden aumentos pequeñísimos de inducción magnética. A partir de ese punto se dice que el hierro ha alcanzado la **saturación magnética**.

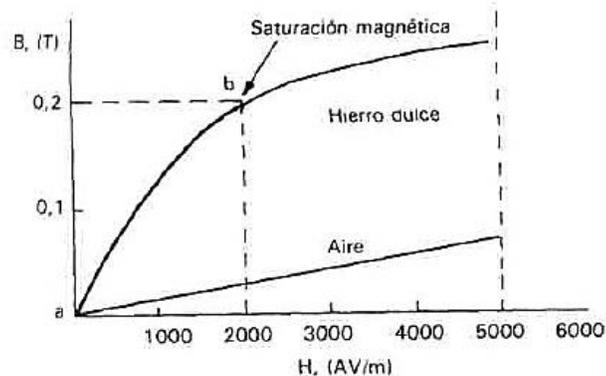


Figura 1.3. Curva de magnetización.

Para explicar el fenómeno de la saturación magnética se puede recurrir a la **teoría molecular de los imanes**: cuando se introduce en una bobina un núcleo de una sustancia ferro-magnética y se hace circular una corriente eléctrica por dicha bobina, aparece un campo magnético en su interior, de intensidad **H**, que orienta un cierto grado las moléculas magnéticas de dicha sustancia; lo que refuerza el campo con una inducción **B**. Un aumento de la intensidad de la corriente trae como consecuencia un aumento de **H**; lo que orienta un poco más las moléculas magnéticas, lo cual se ve reflejado en un nuevo aumento de la inducción. Si se sigue aumentando la intensidad de la corriente, y con ella **H**, llega un momento en que las moléculas magnéticas están ya totalmente orientadas, y por mucho que se aumente la intensidad del campo, éste ya no se ve reforzado. En ese momento se alcanza la saturación magnética.

En la Figura 1.3 también se incluye la curva de magnetización del aire, donde se observa un crecimiento pequeño pero constante de la inducción magnética alcanzada respecto a la intensidad de campo de la bobina.

2. Histéresis magnética

El estudio de la histéresis tiene una gran importancia en los materiales magnéticos, ya que este fenómeno produce pérdidas en los núcleos de los electroimanes cuando son sometidos a la acción de campos magnéticos alternos. Estas pérdidas se transforman en calor y reducen el rendimiento de los dispositivos con circuitos magnéticos, como transformadores, motores y generadores.

La histéresis es el fenómeno de inercia por el cual un material ofrece resistencia a un cambio, ya que tiene tendencia a conservar sus propiedades. Esta resistencia se manifiesta haciendo que el proceso de variación sea distinto en un sentido contrario.

Las pérdidas por histéresis representan una pérdida de energía que se manifiesta en forma de calor en los núcleos magnéticos. El calor así generado reduce el rendimiento de los dispositivos con circuitos magnéticos, como transformadores, motores, generadores, entre otros [8].

Después de someter a una sustancia ferromagnética a la acción de un campo magnético, cuando este desaparece la sustancia manifiesta todavía un cierto nivel de inducción magnética, llamada magnetismo remanente.

En la Figura 1.4 se muestra la curva de magnetización, que es en sí la relación entre la intensidad de campo magnético y la densidad de flujo. La región lineal se encuentra entre 0 y B_s (densidad de flujo magnético de saturación).

Más allá de B_s el material magnético comienza a saturarse (región de saturación), y la razón de incremento de permeabilidad puede ser mucho menor que la permeabilidad en la región lineal. Esta región de transición entre la región lineal y saturación se le conoce como "rodilla" de la curva.

La inducción magnética \mathbf{B} y la intensidad del campo magnético \mathbf{H} no son proporcionales en el caso de los materiales ferromagnéticos. Si el material está inicialmente no magnetizado, entonces \mathbf{B} varía en función de \mathbf{H} .

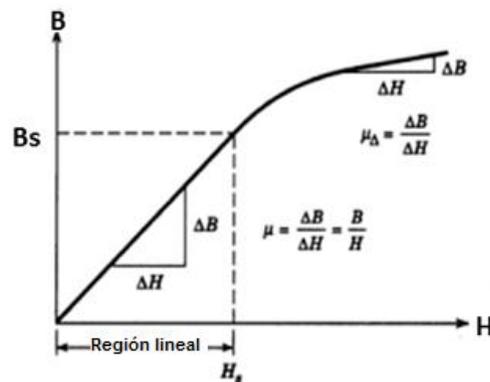


Figura 1.4. Región lineal **B** frente a **H**.

A partir de la saturación, a medida que el campo H se reduce debido a la inversión de su dirección, la curva no sigue el camino original, sino que se produce un efecto de histéresis en el cual el campo B va retrasado con respecto al campo aplicado H , Figura 1.5, o sea disminuye más lentamente. Cuando el campo H es cero, existe un campo residual B que se denomina remanencia o densidad de flujo remanente B_r , y es uno de los parámetros que caracteriza el electroimán, aquí el material permanece magnetizado en ausencia de un campo externo H . Esta inducción magnética es motivada por la imanación remanente que permanece en el material al eliminar el campo y asociada al movimiento irreversible de paredes al quedar éstas imperfecciones que impiden el retorno a su posición original.

Para reducir a cero el campo B dentro de la muestra se debe aplicar un campo H de magnitud igual a $-H_c$ en sentido opuesto a la del campo original, H_c se denomina coercitividad, o bien, algunas veces, fuerza coercitiva. Al continuar aplicando el campo en la dirección contraria, finalmente se alcanza la saturación en la dirección opuesta. Una segunda inversión del campo hasta el punto de la saturación inicial, completa el ciclo de histéresis simétrico y también produce una remanencia negativa ($-B_r$) y una coercitividad positiva (H_c).

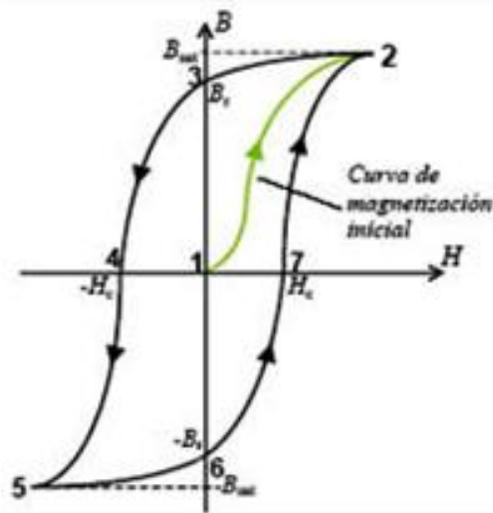


Figura 1.5. Ciclo de histéresis completo para un material ferromagnético.

El área dentro de la curva representa la energía magnética perdida por unidad de volumen de material por ciclo de magnetización y desmagnetización, esta energía se manifiesta como calor dentro del material y es capaz de elevar la temperatura del mismo.

El ciclo de histéresis magnético, está estrechamente ligado a la estructura de dominios presente en el material, parámetros tales como la imanación remanente o el campo coercitivo dependen, no solo del material, sino también de su microestructura, tamaño de grano y presencia de defectos, además de su relación con los dominios magnéticos.

1.2. Métodos convencionales de mediciones magnéticas

Las mediciones de magnitudes magnéticas tienen una gran utilización práctica en la determinación experimental de los defectos mecánicos de las distintas piezas y también en la exploración magnética de yacimientos útiles por medio de la medición del campo magnético de la tierra. Sin embargo, la utilización de las mediciones magnéticas tiene un número específico de aplicaciones de las cuales las más importantes son: flujo magnético, la intensidad de campo magnético y de la fuerza magnetomotriz, la permeabilidad magnética y las pérdidas por histéresis y corrientes parásitas [11].

➤ **Medición de un flujo magnético constante**

La medición de un flujo magnético constante, se efectúa con el método de inducción, o por medio de la extracción de una bobina exploradora desde el campo o por la introducción de ella en el campo, o (para la bobina móvil) con la conexión y desconexión de la corriente que crea el flujo que se mide. Gracias a esto se cambia el número de concatenaciones y en ella se induce una fem que presenta una función del flujo que se mide.

➤ **Medición de un flujo constante por medio del galvanómetro balístico**

Se tiene que es necesario medir el flujo magnético Φ . Para esto se utiliza la bobina exploradora 1, en cuyo circuito está conectado el galvanómetro balístico G que se muestra en la Figura 1.6. Puesto que la constante del galvanómetro balístico depende de las resistencias del circuito del último, para la graduación del galvanómetro se conecta una bobina patrón de inductancia mutua M .

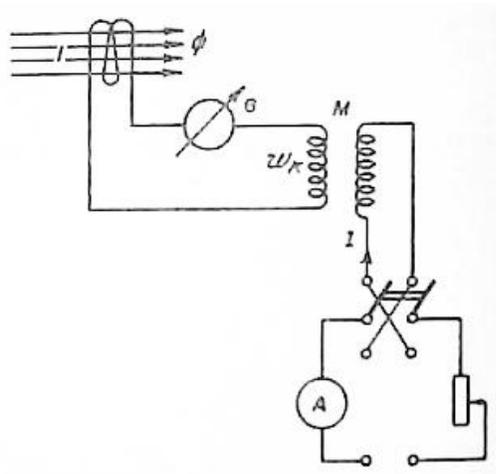


Figura 1.6. Conexión del galvanómetro balístico.

En la bobina se induce una fuerza electromagnética (fem) igual a:

$$e = -w \frac{d\Phi}{dt} \tag{1.8}$$

Donde w es el número de espiras de la bobina de medida.

Esta fem se equilibra con la caída de la tensión $i \cdot r$ y la fem $L = \frac{di}{dt}$;

$$-w \frac{d\Phi}{dt} = i \cdot r + L \frac{di}{dt} \quad (1.9)$$

Donde r y L son la resistencia e inductancia de todo el circuito de la bobina respectivamente; i es el valor instantáneo de la corriente.

Integrando esta expresión en los límites desde el comienzo de la medición del flujo hasta el final de esta medición (o sea, por el intervalo de tiempo, durante el cual se efectúa la extracción de la bobina), se tiene:

$$-w \int_0^t d\Phi = r \int_0^t i dt + L \int_0^t di \quad (1.10)$$

Puesto que al comienzo y al final del intervalo de tiempo observado, la corriente i es igual a cero, la última integral de la derecha es igual a cero. La integral izquierda de la ecuación expresa la magnitud del flujo, es decir;

$$\int_0^t d\Phi = \Delta\Phi = \Phi \quad (1.11)$$

Puesto que $\int_0^t i dt = Q$ (cantidad de electricidad) entonces:

$$-w\varphi = rC_Q\alpha_m \quad (1.12)$$

Siendo C_Q la constante balística y α_m la primera desviación (balística).

Puesto que la dirección de la desviación no es de interés se tiene:

$$w\varphi = C_\Phi\alpha_m \quad (1.13)$$

Donde $C_\Phi = C_Q r$ representa la constante del galvanómetro en unidades del flujo magnético para la unidad de desviación.

Para la determinación de C se usa la bobina patrón. Al invertir la dirección de la corriente en la bobina primaria de inductancia mutua, la variación de concatenaciones será igual a:

$$w_K \Delta \Phi_M = 2IM \quad (1.14)$$

La carga eléctrica que pasa a través de la bobina del galvanómetro, ocasiona una desviación α_{m1} de la parte móvil, al mismo tiempo.

$$2IM = C_\Phi \alpha_{m1} \quad (1.15)$$

Donde se obtiene:

$$C_\Phi = C_{Qr} = \frac{2IM}{\alpha_{m1}} \quad (1.16)$$

➤ **Medición de un flujo constante con un flujómetro.**

El flujómetro es un mecanismo magnetoeléctrico de medida sin momento antagonista. La suspensión de la bobina móvil **A** (Figura 1.7) está hecha de lámina metálica fina. Al flujómetro se conecta una bobina exploradora **B**. Al variar el flujo, la parte móvil del flujómetro se desvía un ángulo que es proporcional a la variación del flujo concatenado, o sea, proporcional a $\Delta \Phi \omega_K$, donde ω_K es el número de espiras de la bobina [11].

La bobina exploradora y la del flujómetro representan un circuito cerrado. Como se sabe el flujo magnético asociado a un circuito cerrado, tiende a mantenerse constante. Si durante la medición del flujo Φ se cambia el flujo de la bobina en la magnitud $\omega_K \Delta \Phi$, el flujo que concatena con la bobina del flujómetro, tiende a variar su magnitud para compensar la variación del flujo en la bobina exploradora.

Esta compensación se manifiesta en el giro de la bobina en un ángulo α mediante el cual el flujo concatenado cambia en la misma magnitud, o sea, que:

$$w_K \Delta \Phi = w_\Phi s B \alpha \quad (1.17)$$

Donde la primera parte de la ecuación corresponde a la variación del flujo concatenado por la bobina del flujómetro. Siendo w_Φ el número de espiras, s la superficie de la bobina y B la densidad de flujo en el entrehierro.

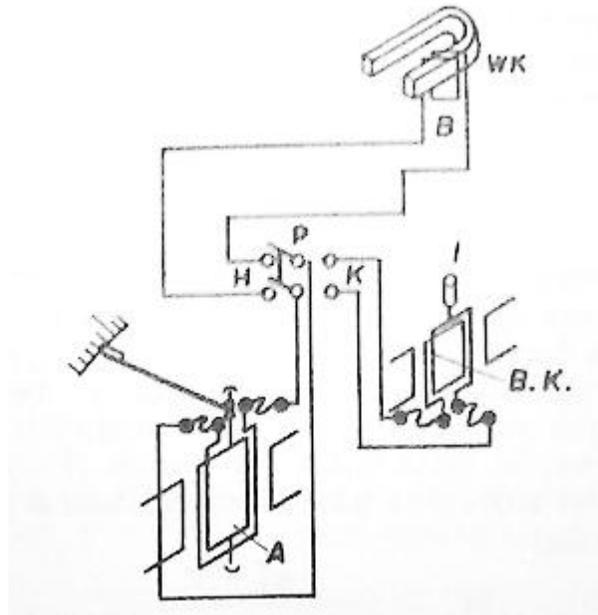


Figura 1.7. Esquema del flujómetro.

En la última expresión es necesario que:

$$\alpha = \frac{w_K}{w_\Phi s B} \Delta\Phi = \frac{1}{C_\Phi} w_K \Delta\Phi \quad (1.18)$$

Donde $C_\Phi = w_\Phi s B$ es la constante del flujómetro.

Hasta ahora, se ha supuesto que durante el desplazamiento de la bobina no realiza ningún trabajo, o sea, que el momento antagonista es igual a cero, la fricción no existe y las resistencias del circuito eléctrico también son iguales a cero. El error debido a las suposiciones señaladas, es pequeño, si la resistencia de la bobina exploradora es menor de 10Ω a 20Ω .

La constante del flujómetro no depende de la velocidad de variación del flujo concatenado, o sea, no depende, por ejemplo, de la velocidad de la bobina del flujómetro. Para un flujo magnético constante la aguja ocupa una posición indiferente, puesto que el momento antagonista es igual a cero.

Para utilizar toda la escala, el instrumento se provee de un corrector, que permite colocar la aguja en cero. El corrector **BK** es un mecanismo magnetoeléctrico de medida auxiliar, cuya bobina pasa el conmutador **II** en la posición **K** se conecta con la bobina del flujómetro. La bobina **BK** se puede girar con ayuda de la manivela 1 en la tapa.

Girando la bobina **BK** en el campo del imán permanente cambia el flujo, asociado con el circuito de los dos instrumentos de manera que al final de cada medición se puede llevar a cero la aguja del flujómetro.

➤ **Medición de la intensidad del campo magnético**

La determinación de la intensidad del campo magnético es posible midiendo la corriente **I** que crea este campo;

$$H = \frac{wI}{l} \quad (1.19)$$

Sin embargo, esta fórmula puede ser utilizada solamente para determinadas formas de bobina, como por ejemplo, un solenoide de longitud muchas veces mayor que su diámetro. Si esta condición no es observada, la intensidad del campo **H** en el centro del solenoide puede ser calculada por la fórmula:

$$H' = \frac{wI}{\sqrt{d^2 + l^2}} \quad (1.20)$$

En aquellos casos, en que el cálculo del valor **H** según la fórmula mostrada no garantiza la precisión necesaria, se acude a la medición de la intensidad del campo [11].

Para realizar las mediciones magnéticas a través de los diferentes métodos convencionales, se emplean distintos tipos de sensores magnéticos entre los que se encuentran; las bobinas que interactúan con un campo magnético, las sondas magnéticas y los sensores magnetorresistivos.

A continuación se mencionan otras mediciones de magnitudes magnéticas:

- Medición de la intensidad del campo magnético y de la fuerza magnetomotriz.
- Medición de la intensidad de campo por medio de una bobina calibrada.
- Medición de la intensidad de campo por medio de sondas magnéticas.
- Medición de la fuerza magnetomotriz (fmm) por medio de un potenciómetro (cinturón magnético).
- Medición de la curva de magnetización y del ciclo de histerésico en corriente directa.

1.3. Aplicaciones de los sistemas magnéticos

Una de las primeras aplicaciones del magnetismo se basó en el surgimiento de la brújula, la cual ejerció gran influencia sobre la navegación y los descubrimientos geográficos. En el Anexo 1 se pueden observar algunas imágenes que ilustran las aplicaciones que a continuación se mencionan.

- **Bandas magnéticas.** Se pueden encontrar bandas magnéticas en todas las tarjetas de crédito, boletos de estacionamiento. También se utilizan bandas magnéticas en sistemas de control de asistencia en las empresas y en muchas otras aplicaciones donde se requiere un buen grado de seguridad y rapidez en la captura de datos.
- **Levitación.** La levitación consiste en mantener un objeto suspendido en el aire sin ningún tipo de contacto mecánico. En el caso de la levitación magnética, la fuerza que permite esta suspensión es la fuerza electromagnética. Esta fuerza electromagnética es generada por un electroimán que mediante atracción permite mantener en suspensión un objeto ferromagnético. Una aplicación muy importante es en el transporte masivo de trenes, es rápido y económico [18].
- **Aplicaciones médicas.** El empleo de campos magnéticos está dirigido a desarrollar métodos y equipos para el tratamiento de enfermedades, ampliar e investigar las posibilidades de diagnóstico mediante los sistemas de Imagen de Resonancia Magnética (IRM) y también estudiar la influencia de los campos magnéticos en las funciones vitales del cuerpo humano.
- **Los motores eléctricos.** La bobina que recubre al núcleo, hace que éste gire sobre su eje. Sólo basta un arreglo adecuado de la bobina y el voltaje suficiente para darle mayor potencia al motor. Crear el campo magnético de las máquinas eléctricas, donde todas las máquinas eléctricas actuales se excitan mediante electroimanes que emplean bobinados de cobre. En estos aparatos, se aprovecha la alta permeabilidad magnética del hierro o de las aleaciones de hierro con que se fabrican sus circuitos magnéticos; tanto de motores como de generadores.

1.4. Caracterización gnoseológica de los laboratorios virtuales educativos

Debido al desarrollo de nuevas tecnologías, nuevos software de programación, nuevos componentes electrónicos y nuevos servicios de telecomunicaciones, es posible desarrollar herramientas didácticas que soporten el proceso de enseñanza-aprendizaje en el entorno educativo, pues se requiere material educativo que centre la atención de los estudiantes y los estimule al aprendizaje, a través de escenarios interactivos y amenos.

Uno de esos escenarios son los laboratorios virtuales, cuyo objetivo principal es introducir a los estudiantes en la experimentación, resolución de problemas, deducción de resultados e interpretación científica a través de sistemas con componentes que conforman un laboratorio virtual visualizado en la pantalla de un computador [5].

Se define laboratorio virtual como un sistema informático que pretende simular el ambiente de un laboratorio real, y que mediante simulaciones interactivas permite desarrollar las prácticas de laboratorio [1].

Un laboratorio virtual es la representación de un lugar dotado de los medios necesarios para realizar investigaciones, experimentos y trabajos de carácter científico o técnico, producido por un sistema informático, que da la sensación de su existencia real [10]. Es diferente de un laboratorio real o de un laboratorio tradicional, sin embargo, no se considera que el laboratorio virtual vaya a suplantar a los laboratorios reales o competir con ellos, puede dedicarse prácticamente a todas las esferas de la actividad intelectual humana.

Entre las características que debe tener un laboratorio virtual educativo se encuentran:

- Una interfaz de usuario intuitiva y fácil de utilizar.
- La instrumentación simulada interactiva debe poseer una funcionalidad similar al de los instrumentos reales.
- Debe relacionar los conceptos prácticos con los teóricos mediante un conjunto de prácticas adecuadamente diseñadas.

- Debe ocupar poca memoria para que se puede integrar en cualquier tipo de aplicación informática.
- Ser fácilmente ampliable.

Estos laboratorios enfatizan técnicas de experimentación práctica y aplicaciones destinadas a realizar un seguimiento continuo de las actividades de los estudiantes [5].

En la tabla 1.1 se resumen las principales ventajas y desventajas de los laboratorios virtuales y de los laboratorios reales.

Tabla 1.1. Principales ventajas de los laboratorios virtuales y de los laboratorios reales.

Tipos de laboratorios	Ventajas	Desventajas
Real	<ul style="list-style-type: none">- Datos reales.- Interacción con equipo real.- Trabajo en colaboración.- Interacción con el supervisor.	<ul style="list-style-type: none">- Restricciones de tiempo y lugar.- Requiere la programación de horarios estrictos.- Es caro.- Requiere supervisión.
Virtual	<ul style="list-style-type: none">- Bueno para el entendimiento de conceptos.- No hay restricciones de tiempo ni lugar.- Es un medio interactivo.- Es de bajo costo.	<ul style="list-style-type: none">- Los datos son idealizados.- Falta de colaboración.- No hay interacción con equipo real.

1.4.1. Caracterización histórica de los laboratorios virtuales a nivel mundial y su actualidad

En la industria, los laboratorios virtuales son utilizados desde hace más de treinta años para la planificación y experimentación de procesos. En el medio académico, surge a raíz de la necesidad de crear sistemas de apoyo al estudiante para sus prácticas de laboratorio, con el objetivo de optimizar el tiempo que éste emplea en la realización de dichas prácticas y la demanda de recursos de infraestructura.

El concepto de laboratorio virtual se ha ido extendiendo a lo largo de los últimos años. En el año 1984 aparece el concepto de: “**Instrumento virtual**”, como instrumento cuyas características vienen definidas por la programación. Este concepto y su aplicación en distintas áreas de laboratorio son el primer paso hacia los laboratorios virtuales. Durante los años posteriores se fueron lanzando distintas propuestas para laboratorios virtuales, entre ellas, la de la Universidad de Bucknell en Estados Unidos, sobre un laboratorio de control de sistemas. Los laboratorios virtuales se fueron desarrollando a lo largo de los años hasta convertirse en un sistema de procesamiento digital de señales y conexión a Internet [10].

En el año 1992 aparece una de las primeras referencias a laboratorios en los que intervienen operadores a distancia bajo el apelativo de “Laboratorio distribuido”. En este caso, el equipo a controlar era un microscopio electrónico de alto voltaje. En este mismo año, también se realizó otro prototipo de laboratorio virtual denominado MWS (*Microscopist’s Workstation*), que evolucionó al actual sistema conocido como CMDA (*Collaboratory for Microscopio Digital Anatomy*).

Ya en 1994 se presenta un estudio realizado por la Universidad de Vanderbilt en Estados Unidos, en el que se desarrolla un laboratorio virtual basado en simulación como apoyo a las prácticas de laboratorios tradicionales y que concluyó con la necesidad de esta herramienta para aprender las habilidades básicas y el manejo de los equipos, lo cual optimizaba tanto el tiempo de los alumnos como el del personal de laboratorio [10].

A partir del año 2000 se fueron sucediendo artículos referentes al tema en conferencias y revistas. En dichas publicaciones se describen distintos laboratorios virtuales, se detallan métodos para su desarrollo y se comentan posibles soluciones que mejoren o aumenten su rendimiento [10].

La idea de utilizar la simulación como paso previo al uso de los instrumentos permitirá que se reduzca el tiempo necesario de uso del instrumento real, y por tanto, del recurso más costoso.

Actualidad de los laboratorios virtuales a nivel mundial.

En la actualidad los laboratorios juegan un papel significativo dentro del proceso de enseñanza-aprendizaje en la educación superior, al constituir un espacio en el que los estudiantes pueden aplicar y comprobar los conocimientos teóricos previamente aprendidos [5].

Las simulaciones que se realizan actualmente en los laboratorios virtuales permiten diseñar y manipular, aunque sea de forma virtual, una gran variedad de procesos físicos y técnicos. Además, constituyen una herramienta fundamental para diseñar y analizar sistemas demasiado extensos, caros o peligrosos como para que puedan ser implementados por los estudiantes.

Sin embargo, aunque existen algunos desarrollos actuales de este tipo de herramientas, se continúa necesitando de desarrollos innovadores y entornos amigables donde la comunicación y la información juegan un papel importante [5].

1.4.2. Caracterización histórica de los Laboratorios Virtuales en Cuba y su actualidad

Experiencias de universidades del país en la simulación de prácticas:

En el ISPJAE:

En el año 1991, fue realizada una experiencia en los laboratorios docentes de Física General donde se incorporó la computación para la automatización y la utilización como procesador de los datos experimentales en 8 prácticas de laboratorios. Esto fue llevado a cabo durante 4 cursos académicos con muy buenos resultados.

Se publicó un trabajo sobre simulación de experimentos desarrollados para la enseñanza y aprendizaje de Física en las carreras de Ingeniería. En 1995 ya se contaba con la segunda versión del tutorial. Además, se han desarrollado tutoriales en temáticas sobre Teoría de polarización de la luz y cinemática [6].

En la Universidad de La Habana:

Desde 1987 la Facultad de Física introdujo la computación en los laboratorios. A partir de la existencia de los tableros Toshiba se automatizaron las prácticas de los laboratorios de electrónica y se hicieron programas para procesar automáticamente los datos en el laboratorio de óptica y mecánica.

Posteriormente con los equipos XT se incorporó las posibilidades técnicas que ellos ofrecían en el laboratorio de óptica y se comenzó la simulación de procesos físicos en las asignaturas de Física Estadística y Electrónica [6].

En el Instituto Superior de Ciencias y Tecnología Nucleares:

Desde el año 1995 se comenzaron a desarrollar laboratorios virtuales en diferentes temáticas de la disciplina de Física, utilizando el lenguaje de programación Visual Basic. Se desarrolló el paquete de programas VisualLab, que consta con 4 grupos de prácticas de Termodinámica 1 (8 prácticas), Mecánica (9 prácticas), Mecánica de los fluidos (4 prácticas) y Resistencia de los materiales (4 prácticas).

Se han desarrollado instrumentos virtuales para su uso en asignaturas de la especialidad pero que pueden ser empleados en el desarrollo de nuevos laboratorios (termopares, flujómetros, registradores de campos magnéticos y medidores de presión como manómetros, barómetros y vacuómetros, así como paneles de mediciones virtuales para instalaciones experimentales [6].

En la Universidad de Oriente:

Se han desarrollado varios trabajos de diplomas en temáticas afines a la asignatura Física y en otras facultades para diferentes asignaturas, en la actividad de diseño, elaboración y explotación de los mismos. La actividad central de estos diseños en el caso de Física se centró fundamentalmente en la labor práctica-investigativa, donde el tema principal abordado es el de la interacción de la radiación ionizante con la sustancia, su forma de medición, control y uso de la misma.

Se destaca dentro de este período el uso de la simulación con el objetivo de analizar la eficiencia de detectores de radiación, aspecto de singular importancia en las buenas prácticas de física de la protección radiológica.

En la Facultad de Ciencias Naturales existe un grupo de profesores dirigidos por el Dr. Luis Bello, que ha realizado importantes trabajos relacionados específicamente con los laboratorios de Química [6].

Actualidad de los Laboratorios Virtuales en Cuba.

En Cuba en estos momentos los laboratorios virtuales se han convertido en una herramienta importante para el aprendizaje en centros de educación superior, por lo que el Ministerio de Educación Superior (MES) le presta especial atención a éstos y trata por todos los medios de fomentar su desarrollo, crear medios didácticos que ayuden a mejorar el proceso formativo de los estudiantes, principalmente laboratorios virtuales que permitan la realización de prácticas de laboratorio.

1.5. Instrumentación empleada en los sistemas de mediciones magnéticas

En la actualidad la instrumentación empleada en los sistemas de mediciones magnéticas se ha caracterizado por un incremento continuo en cuanto a flexibilidad y escalabilidad de equipos e instrumentos de medición, así como de las interfaces que permitan ingresar datos en la computadora para su posterior análisis y procesamiento.

A continuación se realiza un breve análisis de los instrumentos empleados en los sistemas de mediciones magnéticas:

➤ **Sensores magnéticos**

El efecto Hall fue descubierto en 1879 por Edwin Herbert Hall. Básicamente, Hall descubrió que cuando un conductor, por el que circula una corriente eléctrica, se sitúa en un campo magnético, se genera una tensión perpendicular a ambos [7].

La Figura 1.8 muestra una fina lámina de material metálico o semiconductor (elemento Hall) de espesor d a través de la cual circula una corriente eléctrica I .

En ausencia de campo magnético, la distribución de la corriente es uniforme y no se tiene una diferencia de potencial en los terminales de salida.

En cambio, cuando se encuentra presente un campo magnético de densidad \mathbf{B} , los electrones se ven sometidos a una fuerza de Lorentz resultando una diferencia de potencial en la salida (tensión Hall, V_H), cuyo valor es directamente proporcional a la corriente eléctrica y al campo magnético e inversamente proporcional al espesor de la lámina, la tensión está determinada por la expresión:

$$V_H = R_H I \frac{B}{d} \quad (1.21)$$

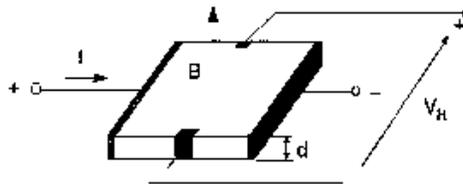


Figura 1.8. Principio básico del Efecto Hall.

Donde R_H es la constante de Hall dada por:

$$R_H = -\frac{1}{ne} \text{ (semiconductor tipo n);} \quad (1.22)$$

$$R_H = +\frac{1}{pe} \text{ (semiconductor tipo p);} \quad (1.23)$$

Siendo n la densidad de electrones, p la densidad de huecos de la carga del electrón.

Lógicamente si se invierte el sentido del campo magnético o el de la corriente, cambia la polaridad de V_H . Si en la ecuación (1.21) la corriente es constante la tensión Hall será proporcional a la densidad del campo [7].

Existen diferentes tipos de sensores magnéticos que se utilizan en las mediciones magnéticas, entre ellos se encuentran los magnetorresistivos, las bobinas y los sensores de Efecto Hall siendo los de interés para este trabajo.

Si por un sensor Hall circula corriente y se lo coloca en un campo magnético, aparece un voltaje proporcional al producto entre la corriente y la intensidad de la componente normal del campo magnético respecto del sensor. Si se conoce el valor de la corriente, se puede calcular la intensidad del campo magnético.

Los sensores Hall son fabricados a partir de pequeñas y delgadas hojas de material semiconductor con una baja densidad de cargas portadoras, de manera que se pueda conseguir una alta velocidad de electrones. La tensión de salida del sensor es proporcional al producto de la corriente y de la fuerza del campo magnético. Como el valor de la corriente es conocido, la fuerza del campo magnético puede ser determinada con el valor de la tensión.

El sensor de Efecto Hall se utiliza para detectar movimientos, posición o cambio en un material tanto magnético como ferromagnético, cuando existe un campo magnético aplicado. En la Figura 1.9 se muestra un esquema básico del sensor de Efecto Hall [22]. Sobre un material tipo cerámico se pone una capa de un semiconductor a la cual se le fijan los contactos metálicos. En el centro de esta capa se forma un área denominada Área activa, estas áreas son muy pequeñas, están en el orden de 0.13 mm de diámetro y 0.25 mm de espesor

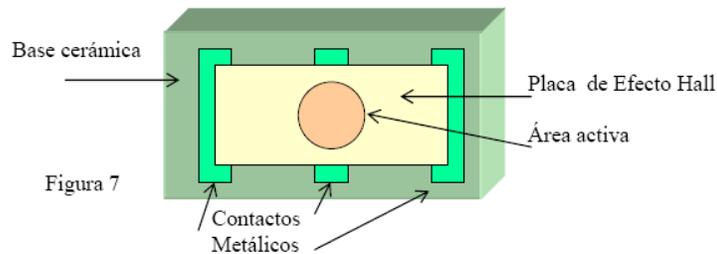


Figura 1.9. Esquema básico de un sensor de Efecto Hall.

En el caso de este trabajo, para realizar las mediciones magnéticas se pretende emplear un sensor de Efecto Hall de salida lineal, debido a su fácil manipulación, son de pequeño tamaño y son de bajo costo. Esos sensores pueden ser usados como medidores de campo magnético o gaussímetros, además, en la detección de movimiento.

1.6. Características fundamentales de los sistemas de adquisición de datos

Los sistemas de mediciones magnéticas se basan en el uso de aparatos o dichos instrumentos de medición, los cuales incluyen el uso de sensores o transductores para adquirir la variable física y convertirla a señales eléctricas que el usuario pueda interpretar para su posterior registro o procesamiento; para lo cual se utilizan las tarjetas de adquisición de datos.

Las señales deben ser acondicionadas mediante dispositivos que pueden estar basados en el uso de amplificadores operacionales; constituyendo todos los componentes anteriormente mencionados parte de un sistema de adquisición de datos.

La adquisición de datos se define como la toma de mediciones de parámetros físicos reales de variables como voltaje, corriente, temperatura, campo magnético, flujo, nivel, entre otras, mediante un instrumento que permita recopilar muestras, almacenar y procesar la información, y tiene su desarrollo en la electrónica y en la computación en hardware y software. En hardware se incorpora la captación, el acondicionamiento de la señal e interface de comunicación con la computadora. En el software se incorpora la programación de la interface desde la tarjeta de adquisición y la computadora, el procesamiento y el despliegue de información, además de la coordinación del sistema [21].

Entonces la adquisición de datos se conforma por un sistema que permite realizar la medición de un fenómeno mediante una tarjeta que toma lecturas y las comunica a la computadora donde se procesa, almacena y muestra la información.

El proceso a seguir con las señales desde la adquisición de estas, por medio del sensor adecuado, hasta la digitalización consta de cuatro etapas:

1. La interpretación del fenómeno físico.

En esta parte se hace uso de un sensor que transforma un parámetro del mundo exterior (campo magnético, temperatura, presión, sonido) en parámetros eléctricos ya sea corriente o voltaje.

2. Acondicionamiento de señal.

Ya que normalmente las señales que envía el sensor son muy pequeñas o no están dentro de los parámetros para que el instrumento pueda interpretarlo, en esta etapa se ajusta la señal, amplificándola o reduciéndola, para que pueda ser interpretada correctamente.

3. Interface de comunicación tarjeta-computadora.

La interface se utiliza para transportar la información de la medición de manera digital a la computadora. Existen diferentes maneras de realizar la comunicación entre dispositivos electrónicos y la computadora, tales como puerto paralelo, puerto serial, PCI, ETHERNET, USB, cada uno tiene diferentes ventajas por las cuales es utilizado.

4. Procesamiento de la información.

Una vez que fue transportada la información a la computadora, se procesa estadísticamente, se almacena y se muestra de manera gráfica para su interpretación.

1.6.1. Elementos de adquisición datos

El proceso de la adquisición de datos tiene al menos cinco etapas. Cada una de estas etapas implica una interrelación con las demás, es decir cada una debe de estar acoplada con la etapa anterior y la posterior [21].

El esquema comienza con el sensor que convierte la señal física a medir en una señal eléctrica, continúa el acondicionamiento donde se adecua la señal para que pueda ser procesada por la tarjeta de adquisición. El siguiente bloque es el de la Tarjeta de Adquisición de Datos (TAD), esta se encarga de transformar la señal analógica en digital y transmitirla a la PC, donde mediante programas de control se configura el tiempo de muestreo, se despliegan las mediciones y además se almacena la información. En la Figura 1.10 se muestra un esquema en bloques de un sistema de adquisición de datos con los bloques básicos.

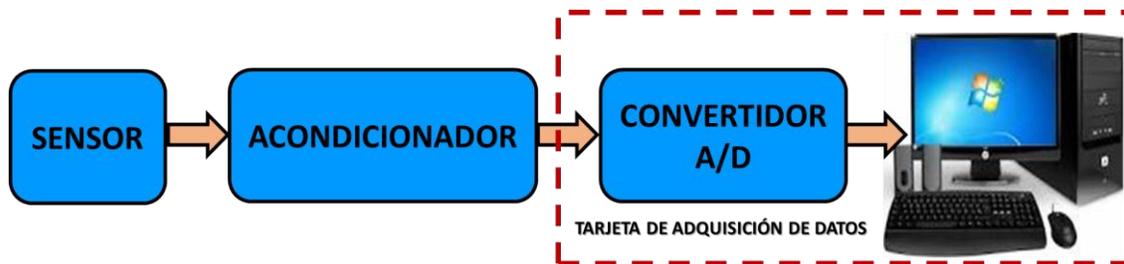


Figura 1.10. Esquema del sistema de adquisición de datos.

A continuación se analizan los elementos fundamentales de la adquisición de datos:

1. Sensor

Una parte fundamental en todo sistema de adquisición de datos es el elemento encargado de percibir la magnitud a medir. Este dispositivo es capaz de transformar una magnitud física a una magnitud eléctrica. Los sensores informan de su entorno y además esa información es cuantificable, es decir, medible por algún instrumento. Generalmente se usan para medir una magnitud física que se necesita evaluar para realizar con ello otras tareas [21].

2. Acondicionamiento de la señal

El objetivo del acondicionador de señal es generar, a partir de lo obtenido por los sensores, una señal que sea aceptable por las tarjetas de adquisición de datos. Las tarjetas de adquisición de datos pueden admitir niveles de tensión que se encuentran, por ejemplo, entre márgenes determinados como los siguientes: -10 V a 10 V, 0 V a 10 V, 0 V a 5 V.

Las funciones principales que realiza el acondicionador de señal son las siguientes:

- Transformación.
- Amplificación.
- Conversión por medio de optoacopladores.
- Filtrado.
- Excitación.
- Linealización.

3. Tarjeta de adquisición de datos

En un sistema de adquisición de datos otro de los elementos son las tarjetas de adquisición de los datos, las cuales se encargan de:

- Las conversiones de señales de analógica a digital (ADC).
- La comunicación con el ordenador.

Como características más relevantes de una tarjeta de adquisición de datos están:

- Números de canales analógicos.
- Velocidad de muestreo.
- Resolución.
- Rango de entrada.
- Capacidad de temporización.
- Forma de comunicarse con el computador.

4. Computadora de procesamiento

Actualmente la computadora tiene integrada nuevas familias de procesadores, que alcanzan velocidades de ejecución que se precisan para realizar la adquisición de datos en una tarea específica. Tienen interfaces básicas y opcionales elegidas por el usuario, resulta tener carácter general y se particulariza a cada caso concreto mediante el adecuado periférico.

1.6.2. Ventajas de los sistemas de adquisición de datos

Los sistemas de adquisición de datos ofrecen muchas ventajas entre las que se encuentran:

- Flexibilidad de procesamiento.
- Posibilidad de realizar las tareas en tiempo real o en análisis posteriores (a fin de analizar los posibles errores).
- Gran capacidad de almacenamiento.
- Rápido acceso a la información y toma de decisión.
- Se adquieren gran cantidad de datos para poder analizar.

- Posibilidad de emular una gran cantidad de dispositivos de medición y activar varios instrumentos al mismo tiempo.
- Facilidad de automatización.
- Se utiliza en la industria, la investigación científica, el control de máquinas y de producción, la detección de fallas y el control de calidad entre otras aplicaciones.

1.7. Caracterización de la tarjeta de adquisición de datos *DAQBoard/1000*

Esta tarjeta (ver Figura 1.11) es de tipo plug-and-play, de alta velocidad, multifunción, para computadoras con conexión PCI.

La tarjeta *DaqBoard/1000* complementa todas las señales de entrada y salida con un cable y un Slot PCI. Un conector de 68 pines SCSI III proporciona el acceso para todas las señales de entrada y salida y es dividido en tres funciones de manera lógica:

- 16 entradas analógicas simples o 8 entradas analógicas diferenciales con, rangos bipolares (de ± 10 V a ± 156 mV escala completa).
- 24 líneas de E/S digital para todo uso.
- 4 entradas de contador, 2 temporizadores de salidas y 2 salidas analógicas.



Figura 1.11. Tarjeta DAQBoard/1000

Esta tarjeta permite la programación de los intervalos de muestreo entre $5 \mu\text{s}$ o $10 \mu\text{s}$ por cada canal. Este modo permite que los canales que se actualizan lentamente pero con un grado de exactitud superior, sean muestreados en un intervalo más largo, mientras que, para los que lo hacen más rápidamente, se use un intervalo más corto [14].

Las tarjetas DaqBoard/1000 son solamente bipolares con ganancias 1, 2, 4, 8, 16, 32 y 64, permite el escaneo sincrónico y la adquisición de datos analógicos, digitales y de contador con una tasa de escaneo de hasta 200 kHz. Además tiene implementados un convertidor analógico-digital de 16-bits a 200 kHz, calibración digital, BUS máster de DMA (Acceso Directo a Memoria) y dos convertidores digitales-analógicos de 16-bit a 100 kHz.

Los dos canales de salida de 16 bit poseen un rango de salida que va desde -10 hasta 10 V. Usando el BUS máster de DMA, cada convertidor analógico digital puede generar un señal en forma de onda. El BUS máster permite datos analógicos y digitales de entrada tipo contador y de salida a través de la PC y la tarjeta sin consumo de tiempo del CPU. La tarjeta DaqBoard/1000 soporta modos de disparo que incluyen:

- Disparo digital o por patrón: Estas tarjetas tienen distintas líneas de disparo digital, permitiendo disparos por niveles TTL y latencias menores a 5 μ s. El disparo puede ser programado por niveles lógicos o por borde de disparo (*edge triggering*).
- Disparo basado en software: La PC detecta el evento de disparo proveniente de las lecturas analógicas, digitales o señales de conteo. La tarjeta es compatibles con 6 modos de pre y post-disparo.

Además del software incluido, el *Daqview*®, la tarjeta puede ser controlada mediante programas realizados por el usuario, haciendo uso de la Interface de Programas de Aplicación, (API) de *Windows*. Soporta múltiples lenguajes de programación incluyendo C/C++, *Visual Basic*, *MATLAB*, entre otros.

El conector terminal TB-100, que se muestra en la Figura 1.12, se usa como interface de comunicación de las señales externas producto de las mediciones con la tarjeta DaqBoard/1000, así como de las salidas analógicas o digitales que ofrece la tarjeta con el exterior. El TB-100 se acopla al conector SCSI III de 68 pines de la tarjeta, por medio de un cable p/nCA-G56.

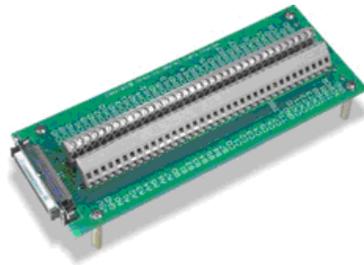


Figura 1.12. Conector terminal TB-100

CONCLUSIONES PARCIALES I

1. Se abordaron los aspectos teóricos acerca de los sistemas de mediciones magnéticas y sus características, donde la histéresis representa la energía magnética perdida por unidad de volumen de material por ciclo de magnetización y desmagnetización, se manifiesta como calor dentro del material elevando la temperatura, por lo que es conveniente utilizar materiales magnéticamente blandos en su construcción.
2. Los laboratorios virtuales educativos, sirven como herramienta interactiva para mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje en la educación superior, al constituir un espacio en el que los estudiantes pueden aplicar y comprobar los conocimientos teóricos previamente aprendidos.
3. Los sistemas de adquisición de datos permiten tener un rápido acceso a la información y adquirir una gran cantidad de datos para analizar, además, se utilizan en la industria, la investigación científica, el control de máquinas y de producción, la detección de fallas y el control de calidad.

Capítulo 2

CAPÍTULO II. INTERFAZ GRÁFICA PARA UN SISTEMA DE MEDICIÓN DE CAMPOS MAGNÉTICOS

INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se realiza una caracterización general del sistema de mediciones magnéticas propuesto. Se diseña el acondicionador de señales del sensor, además se presenta la interfaz de usuario diseñada empleando el software profesional **MATLAB® 7.10** para adquirir las mediciones. Se realizan las mediciones correspondientes para diferentes puntos de operación de campos magnéticos.

2.1. Propuesta del sistema de medición de campo magnético

Con el objetivo de dar solución al problema planteado, se diseña una interfaz de usuario para realizar prácticas de laboratorios virtuales de mediciones magnéticas, a partir de la cual se obtienen las mediciones realizadas. La estructura del sistema de medición de campo magnético propuesto se muestra en la Figura 2.1, el cual está compuesto por los siguientes elementos:

- Sensor de Efecto Hall **UGN3503**.
- Acondicionador de señal (Amplificador de instrumentación).
- Tarjeta de adquisición de datos **DAQBoard/1000**.
- Computadora.

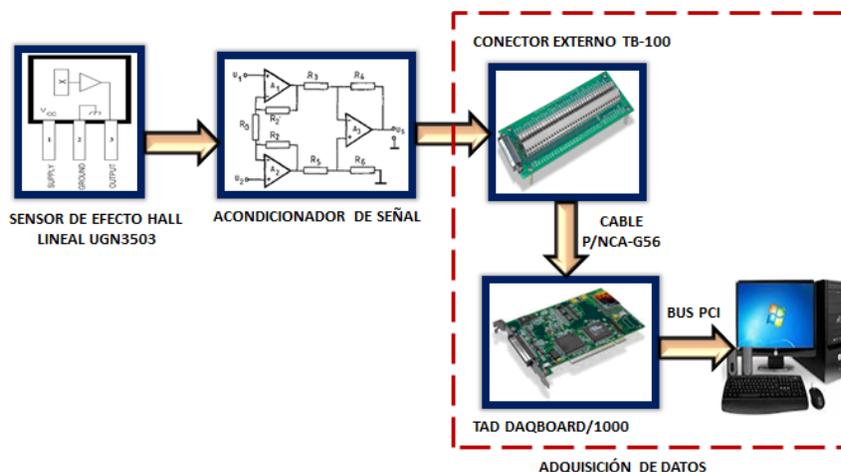


Figura 2.1. Sistema propuesto para la medición de campo magnético.

Para realizar esta propuesta del sistema de medición de campo magnético se escoge el sensor de Efecto Hall, debido a que es muy estable térmicamente y de bajo costo. La selección del mismo se basa en lo siguiente:

- **Selección del tipo de sensor de Efecto Hall**

Atendiendo al tipo de salida, este tipo de sensor se divide en dos grupos:

- 1) Sensor Hall de salida lineal
- 2) Sensor Hall de salida digital(interruptores Hall)

Dentro de estos grupos se escoge el sensor de Efecto Hall UGN3503 de respuesta de voltaje lineal para campos magnéticos $B < 900$ G (Anexo 2), de la firma *Allegro Microsystems Inc.*, pues se requiere que la salida sea proporcional a la señal que se desea medir, además es de bajo costo.

De acuerdo a la información que provee el fabricante, un sensor de este tipo tiene una sensibilidad de 1.30 mV/G cuando se alimenta con una tensión continua de $V_{CC} = 5$ V y opera a la temperatura de 25 °C. El sensor posee una cara rotulada especialmente, que es la superficie que debe ubicarse perpendicularmente a la dirección del campo magnético que quiere medirse. Un dato a tener en cuenta es que cuando el campo magnético es nulo no lo es el voltaje de salida. El valor nominal del voltaje a campo nulo es la mitad de V_{CC} .

En la Figura 2.2, se observa la estructura simplificada de un sensor Hall de salida lineal (Anexo 2). Debido a que la tensión Hall es muy pequeña (aproximadamente 30 μ V/G), es necesaria una etapa de amplificación, esto se hace a través de un amplificador diferencial. Posee además una compensación en temperatura y un regulador de voltaje. La salida posee un transistor en emisor abierto para realizar la interfaz con cualquier dispositivo [23].

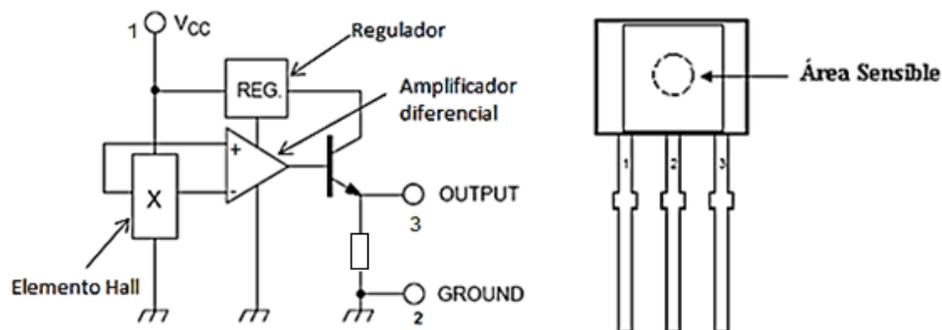


Figura 2.2. Sensor de efecto Hall con salida lineal.

Según la polaridad del campo magnético que se le aplique al sensor, la tensión de salida será positiva o negativa, lo cual nos indicaría que necesitaríamos fuentes positivas y negativas. Pero el amplificador diferencial incorpora una tensión de polarización, de modo que con un campo magnético nulo tengamos en la salida una tensión positiva. Esta tensión es la que se conoce como *null offset quiescent output voltage* [23].

En la Figura 2.3 se observa la característica de transferencia de un sensor Hall lineal. Se puede ver en dicha gráfica el null offset y la sensibilidad (en mV/G).

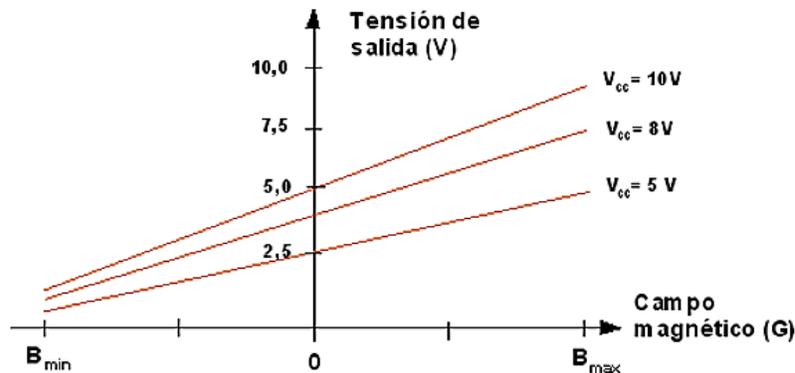


Figura 2.3. Característica de transferencia del sensor Hall lineal.

En la Tabla 2.1 se muestran las especificaciones técnicas del sensor de efecto Hall lineal UGN3503, a tener en cuenta para el desarrollo de la propuesta.

Tabla 2.1. Especificaciones técnicas del sensor.

Características eléctricas $T_A = +25^\circ\text{C}$ y $V_{CC} = 5\text{V}$					
Características	Símbolo	Min.	Típico	Máx.	Unidades
Tensión de alimentación	V_{CC}	4.5	-	6.0	V
Corriente de alimentación	I_{CC}	-	9.0	14	mA
Tensión de salida (con $B=0$)	V_{OUT}	2.25	2.5	2.75	V
Sensibilidad	ΔV_{OUT}	0.75	1.3	1.72	mV/G
Ancho de banda (-3dB)	BW	-	23	-	KHz
Resistencia de salida	R_{OUT}	-	50	-	Ω
Histéresis	B_{hys}	30	52	-	G

Este sensor, como la mayoría de este tipo de sensores, aporta un offset ($V_{CC}/2$) que se debe eliminar para efectuar las mediciones. Para acondicionar este tipo de sensor se emplean los amplificadores de instrumentación, la mejor elección para adaptar un sensor cuyo campo de medición es muy pequeño [23].

La tensión de salida del sensor Hall requiere de un acondicionamiento, lo cual consiste básicamente en una etapa de amplificación diferencial.

2.1.1. Diseño del acondicionador de señal para sensor de Efecto Hall de salida lineal UGN3503

El sensor de Efecto Hall UGN3503 trabaja hasta los 3.67 V de tensión a la salida, es por ello que se puede usar la tarjeta de adquisición *DAQBoard/1000*, la cual trabaja en un rango de tensión de los ± 9 V. Se debe tener en cuenta que en el desarrollo del software no es necesario utilizar el acondicionador de señales, simplemente se añade la ganancia necesaria, el mismo debe usarse en la implementación del hardware, empleando los componentes necesarios.

El diseño del acondicionador de señal se realiza partiendo del diseño del amplificador de instrumentación con componentes discretos.

Teniendo en cuenta las características de transferencia mostrada en la Figura 2.3, el sensor presenta una tensión de offset de 2.5 V. Se necesita que para un valor de 0 G, el sensor indique 0V a la salida, por tanto, se deben realizar ajustes, primeramente el cero y luego ajustar la ganancia de forma que la salida (la pendiente) sea la deseada, para ello se le debe restar 2.5 V, utilizando un amplificador de instrumentación. Se quiere llevar la pendiente de 1.3 mV/G hasta 10 mV/G, o sea, desplazarla (ver Figura 2.4), realizando los ajustes correspondientes.

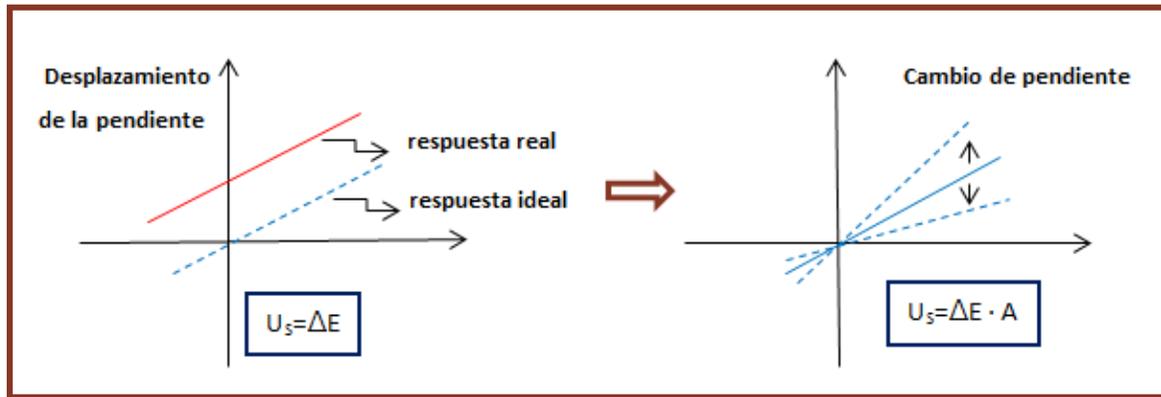


Figura 2.4. Cambio de la pendiente de salida.

Para realizar este procedimiento se debe utilizar un divisor de tensión conectado a la entrada negativa del amplificador de instrumentación que presente el mismo offset del sensor. Se deben calcular los valores de las resistencias del divisor, lo cual quedaría de la siguiente manera:

$$R_1 + R_v' = \frac{U_{T0}}{I} \tag{2.1}$$

Sustituyendo los valores se obtiene:

$$R_1 + R_v' = \frac{2.5}{1 \cdot 10^{-3}} = 2500 \Omega \tag{2.2}$$

Siendo $R_1 = 2300 \Omega$ entonces:

$$R_v = R_v' + R_v'' = 400 \Omega \tag{2.3}$$

$$R_1 + R_v + R_2 = \frac{E}{I} = 12000 \Omega \tag{2.4}$$

Para determinar la ganancia **A** del amplificador se tienen en cuenta la tensión de salida del sensor U_T y la tensión de salida del amplificador U_S , teniendo en cuenta la ecuación de la pendiente de salida del sensor mostrada en la siguiente ecuación:

$$U_T = 2.5 + 1.3 \cdot 10^{-3} \cdot B \tag{2.5}$$

Sustituyendo el campo $B = 900 \text{ G}$ quedaría $U_T = 3.67 \text{ V}$, entonces:

$$U_S = (U_T - 2.5 \text{ V})A \quad (2.6)$$

Se requiere que para un campo de 900 G se obtenga una tensión $U_S = 9 \text{ V}$ a la salida del amplificador, por tanto, despejando se obtiene:

$$A = \frac{U_S}{1.17} = 7.69 \approx 7.7 \quad (2.7)$$

Luego de conocer la ganancia que debe tener el amplificador de instrumentación a emplear, se procede a realizar su diseño.

➤ **Diseño del amplificador de instrumentación**

Teniendo en cuenta que el amplificador de instrumentación es un circuito con entrada diferencial cuya función principal es amplificar con precisión las señales de muy bajo nivel aplicadas a su entrada, eliminando además, las posibles señales de interferencia y de ruido que lleguen en modo común; se deben tener en cuenta las siguientes características:

- Ganancia diferencial en lazo cerrado estable, que pueda ajustarse externamente sin modificar sensiblemente sus características de entrada.
- Rechazo al modo común (CMR) alto, tanto en continua como a las frecuencias a las que pueda aparecer ruido en modo común a la entrada.
- Impedancia de entrada elevada.
- Tensión y corriente de offset bajas y con pocas derivas.
- Impedancia de salida baja.
- Tensiones de entrada en modo común altas.

En la Figura 2.5 se muestra el esquema correspondiente al Amplificador de Instrumentación de configuración básica compuesto por tres amplificadores operacionales, a partir del cual se realizará el diseño, determinando el valor de cada uno de sus componentes discretos.

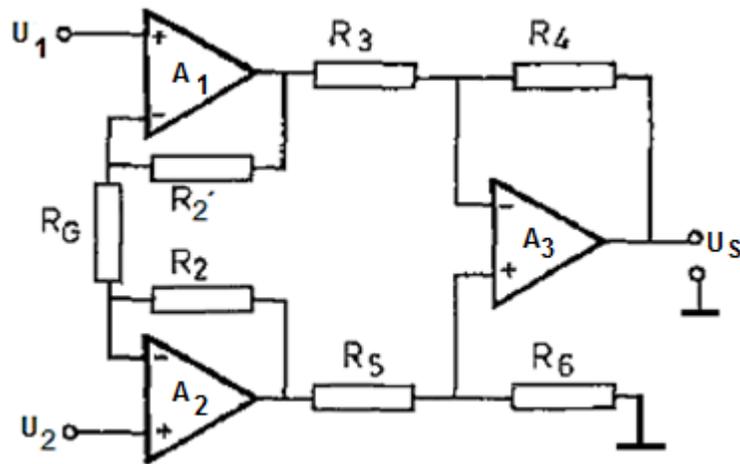


Figura 2.5. Esquema del amplificador de Instrumentación.

La tensión de salida del amplificador de instrumentación se calcula por la siguiente ecuación:

$$U_S = \left(1 + \frac{2R_2}{R_G}\right) \frac{R_4}{R_3} (U_2 - U_1) \quad (2.8)$$

Donde la ganancia A es:

$$A = \left(1 + \frac{2R_2}{R_G}\right) \frac{R_4}{R_3} \quad (2.9)$$

Siendo $\frac{R_4}{R_3} = 1$ entonces $R_4 = 10 \text{ k}\Omega$ y $R_3 = 10 \text{ k}\Omega$

Fijando $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$, $R_5 = R_6 = 10 \text{ k}\Omega$ luego:

$$\frac{2R_2}{R_G} + 1 = 7.7 \quad (2.10)$$

Despejando y sustituyendo R_2 se obtiene:

$$R_G = \frac{2R_2}{6.7} = 2985 \approx 3 \text{ k}\Omega \quad (2.11)$$

- Análisis de la resistencia variable R_G

Para una variación del 20 % sería:

$$R_G' = 0.9 R_G = 2.7 \text{ k}\Omega \quad (2.12)$$

$$R_G'' = 0.2R_G = 0.6 \text{ k}\Omega \quad (2.13)$$

Por tanto varía en un 10 % por encima y un 10 % por debajo. Con esta resistencia se puede variar la ganancia de amplificador.

- **Selección de componente**

Se escoge el Amplificador Operacional LM324, el mismo se muestra en el Anexo 3. Este circuito consiste en cuatro amplificadores (ganancias altas) distribuidos de manera independiente, los cuales operan a partir de un único suministro de tensión, para un amplio rango de +3 V a +30 V, y pueden trabajar dentro del rango de temperatura de los 0 °C a los +70 °C.

En la Figura 2.6 se muestra el acondicionador de señales diseñado simulado en el software Proteus 8, mediante el cual se comprobó su correcto funcionamiento, eliminando tensión de offset de 2.5 V.

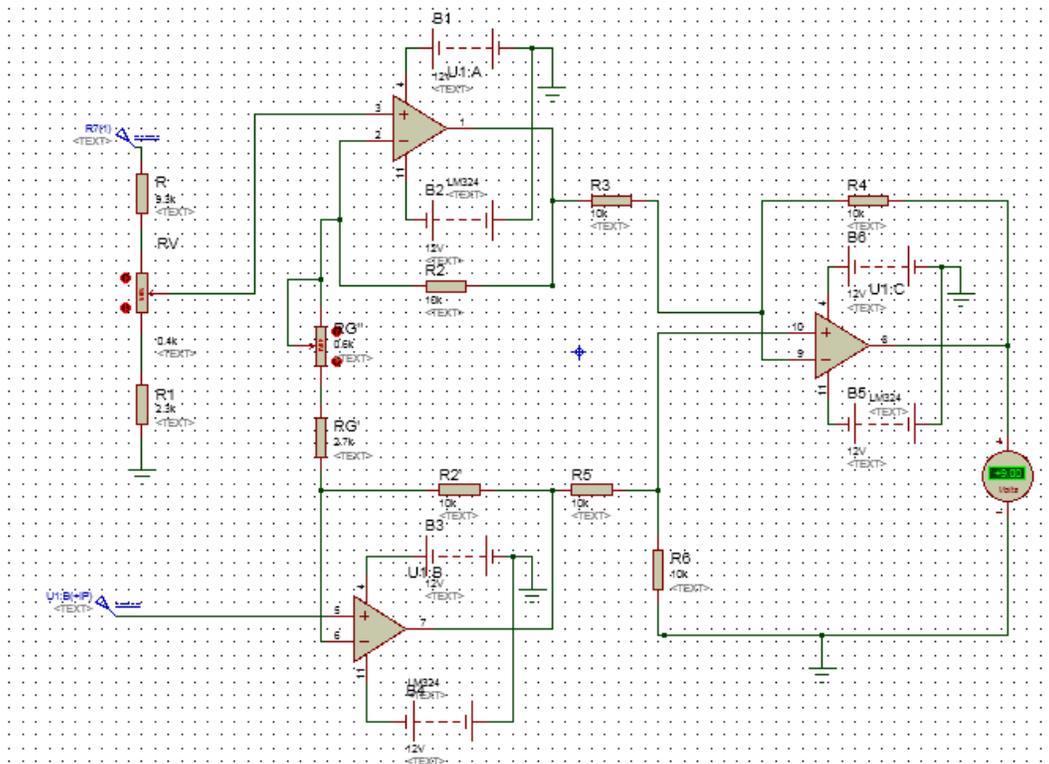


Figura 2.6. Circuito acondicionador del sensor UGN3503.

➤ **Ejemplo de cálculo de errores en Amplificadores de instrumentación.**

Para realizar los cálculo de errores se utiliza un Amplificador de Instrumentación (AI) Industrial, partiendo de valores calculados anteriormente. Se escoge el INA118PB debido a sus aplicaciones en adquisición de datos, además es de buena exactitud y de pequeño tamaño (ver Anexo 4). En la Figura 2.7 se muestra este amplificador.



Figura 2.7. Amplificador de instrumentación **INA118 PB**.

Teniendo en cuenta la ganancia requerida $A = G = 7.7$, la resistencia R_G sería:

$$G = 1 + \frac{50 \text{ k}\Omega}{R_G} \quad (2.14)$$

$$R_G = \frac{50 \text{ k}\Omega}{G - 1} = 7.46 \text{ k}\Omega \quad (2.15)$$

• **Cálculo de errores en el amplificador**

Para realizar el cálculo de errores se necesitan los siguientes parámetros:

K_r = **CMRR**; Relación de Rechazo a Modo Común

K_{rdrift}; Deriva de Rechazo a Modo Común

V_{OSI}; Offset referido a la entrada

V_{OSO}; Offset referido a la salida

dV_{OSI}, **dV_{OSO}**; Derivas de entrada y salida

I_{offset}; Corriente de entrada

dI_{offset}; Deriva de la corriente de entrada

δ_G; Error debido a la ganancia

U_d; Tensión de entrada o diferencial

$U_{S\text{offsetRTI}}$; Tensión de offset referido a la entrada

En la hoja de datos del AI **INA118 PB**, mostrado en el Anexo 4 aparecen los datos correspondientes para el cálculo de los errores del amplificador. A continuación se realiza el cálculo de algunos.

- **Error debido a la tensión de desplazamiento**

Teniendo en cuenta que:

$$U_d = \frac{U_S}{G} = \frac{9\text{ V}}{7.7} = 1.17 \quad (2.16)$$

Se obtiene:

$$\delta_{ed} = \frac{U_{S\text{offsetRTI}}}{U_d} \cdot 100\% \quad (2.17)$$

$$\delta_{ed} = \frac{16.5 \cdot 10^{-6}}{1.17\text{ V}} \cdot 100\% = 14 \cdot 10^{-4}\% \quad (2.18)$$

- **Error debido a la tensión de modo común**

Este amplificador no trabaja para condiciones de ganancia $G=7.7$ según sus especificaciones eléctricas, por tanto se escoge la ganancia más cercana la cual es $G=10$, a partir de ahí se obtienen los valores a emplear. El error debido a la tensión de modo común se calcula de la siguiente manera:

$$\delta_{SM} = \frac{1}{M} \cdot 100\% \quad (2.19)$$

Donde M se utiliza para convertir de dB a unidades y se calcula de la siguiente forma:

$$M = 10^{Kr/20} = 10^{110/20} = 10^{5.5} \quad (2.20)$$

Luego:

$$\delta_{SM} = \frac{1}{10^{5.5}} \cdot 100\% = 10^{-3.5}\% \quad (2.21)$$

- **Error debido a la corriente de entrada**

Para el cálculo de este error se tiene en cuenta la resistencia interna del sensor conectado al amplificador $R_{int} = 50\Omega$ y $I_{offset} = 1nA$, entonces quedaría:

$$\delta_{\Delta i} = \frac{R_{int} \cdot I_{offset}}{U_d} \cdot 100\% = \frac{50\Omega \cdot 1 \cdot 10^{-9}}{1.17V} \cdot 100\% = 42.7 \cdot 10^{-7}\% \quad (2.22)$$

- **Error de ganancia**

Para una ganancia $A = 10$ se obtiene $\delta_G = \pm 0.02\%$.

- **Error debido a las resistencias**

El error debido a la tolerancia de las resistencias para un valor $\delta_R = 1\%$ para cada una, se calcula de la siguiente manera:

$$\delta_R = \sqrt{\delta_{R_2}^2 + \delta_{R_2'}^2 + \delta_{R_3}^2 + \delta_{R_5}^2 + \delta_{R_6}^2 + \delta_{R_G}^2} \approx 2.6\% \quad (2.23)$$

- **Error total máximo posible**

En el cálculo de este error se desprecian los errores $\delta_{ed}, \delta_{SM}, \delta_{\Delta i}$, anteriormente calculados excepto el error de ganancia y el error debido a las resistencias debido bajo el criterio de ser la cuarta o la quinta parte del error mayor δ_R , de esta forma se obtiene:

$$\delta_{Total} = \delta_G + \delta_R \quad (2.24)$$

Sustituyendo se obtiene que $\delta_{Total} = 2.62\%$.

Los errores existentes se reducen mediante ajuste, o sea, poniendo el máximo de tensión a la entrada se varía la resistencia R_G , por lo cual varía la ganancia. Se recomienda variar la resistencia en un 5% por encima y un 5% por debajo.

- **Derivas**

Tanto las características de transferencia de una etapa de acondicionamiento de señal como algunas de sus fuentes de error vienen influidas por factores ambientales, y en concreto por la temperatura, el tiempo y la tensión de alimentación. Para calcular el efecto de las derivas en los errores, hay que tener en cuenta que las derivas debidas a cada valor distinto son independientes entre sí, no obstante se puede evitar que aparezcan

dichas derivas si se trabaja a una temperatura cercana a la de calibración y en el tiempo que pone el fabricante.

2.2. Software empleado

Para realizar el diseño de la interfaz se seleccionó el software profesional **MATLAB® 7.10** debido a sus potencialidades, además de ser un software que es asequible para los estudiantes y permite realizar las mediciones de una manera más rápida. Igualmente la tarjeta incorpora los drivers necesarios para ser controlada y programada por este software en particular.

La configuración y adquisición con la tarjeta de adquisición de datos a partir del software MATLAB se realiza siguiendo una serie de comandos simples, ya que la misma incorpora los controladores y las herramientas para el soporte de MATLAB.

2.3. Diseño de la Interfaz Gráfica de usuario

Independientemente de que la tarjeta de adquisición de datos **DAQBoard/1000**, tenga incluido el software **Daqview®**, se diseñó un software en **MATLAB® 7.10** que permite trabajar con dicha tarjeta, para ello se elaboró un programa en un fichero al cual se le llamó **startai.m**, mostrado en el Anexo 5, donde se realizó la configuración de la adquisición.

En la tabla 2.2 se muestran las propiedades utilizadas para configurar la tarjeta con MATLAB.

Tabla 2.2. Parámetros de la adquisición y descripción.

Propiedades	Descripción de las propiedades
InputType	Especifica la configuración de la entrada, puede ser diferencial o simple.
Samples	Especifica el rango de la muestra.
Triggers	Especifica el tipo de evento de trigger empleado.
Channels	Especifica los canales empelados.
DataFormat	Especifica el formato de los datos.

Time	Especifica el rango de tiempo.
OutputFormat	Especifica el formato de salida de los datos.

La tarjeta está configurada en entrada simple por defecto, por tanto no fue necesario especificar. Se trabajó con entrada analógica se definió la frecuencia de muestreo, el evento de disparo y el canal con el cual trabajar.

Es importante destacar, que la configuración se realizó específicamente para las características técnicas del sensor a emplear, o sea, el sensor de efecto Hall lineal UGN3503.

La interfaz se diseña en el **GUIDE**, *toolbox* (juego de herramientas) diseñado para crear fácil y rápidamente interfaces gráficas entre el usuario y MATLAB. Tiene las características básicas de todos los programas visuales como Visual Basic o C++.

Se puede acceder al GUIDE de dos formas:

1. Teclear en la ventana de comando: >>GUIDE
2. Haciendo clic en el ícono mostrado en Figura 2.8.

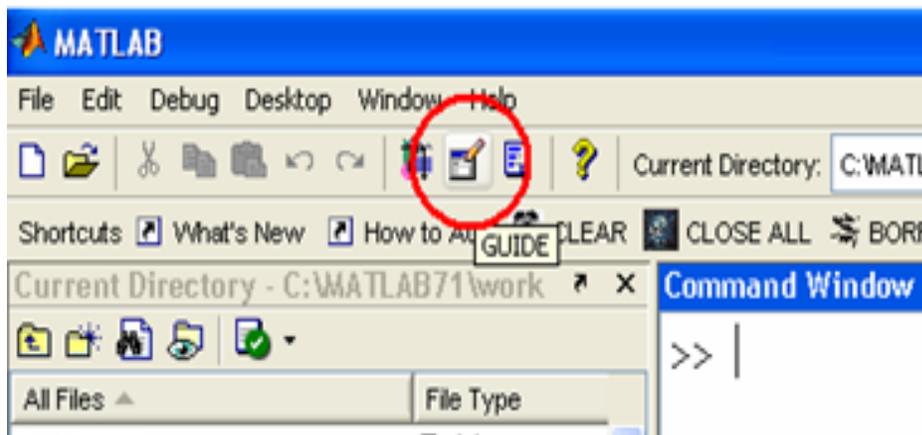


Figura 2.8. Acceso al GUIDE de MATLAB.

Luego se presenta el cuadro de diálogo mostrado en la Figura 2.9, donde aparecen las siguientes opciones:

a) Blank GUI (Default): La opción de interfaz gráfica de usuario en blanco (viene predeterminada), presenta un formulario nuevo, en el cual se puede diseñar nuestro programa.

b) GUI with Uicontrols: Esta opción presenta un ejemplo en el cual se calcula la masa, dada la densidad y el volumen, en alguno de los dos sistemas de unidades. **c) GUI with Axes and Menu:** Esta opción es otro ejemplo el cual contiene el menú File con las opciones Open, Print y Close. En el formulario tiene un *Popup menu*, un *push button* y un objeto Axes, se puede ejecutar el programa eligiendo alguna de las seis opciones que se encuentran en el menú despegable y haciendo clic en el botón de comando.

c) Modal Question Dialog: Con esta opción se muestra en la pantalla un cuadro de diálogo común, el cual consta de una pequeña imagen, una etiqueta y dos botones Yes y No, dependiendo del botón que se presione, el GUI retorna el texto seleccionado (la cadena de caracteres 'Yes' o 'No').

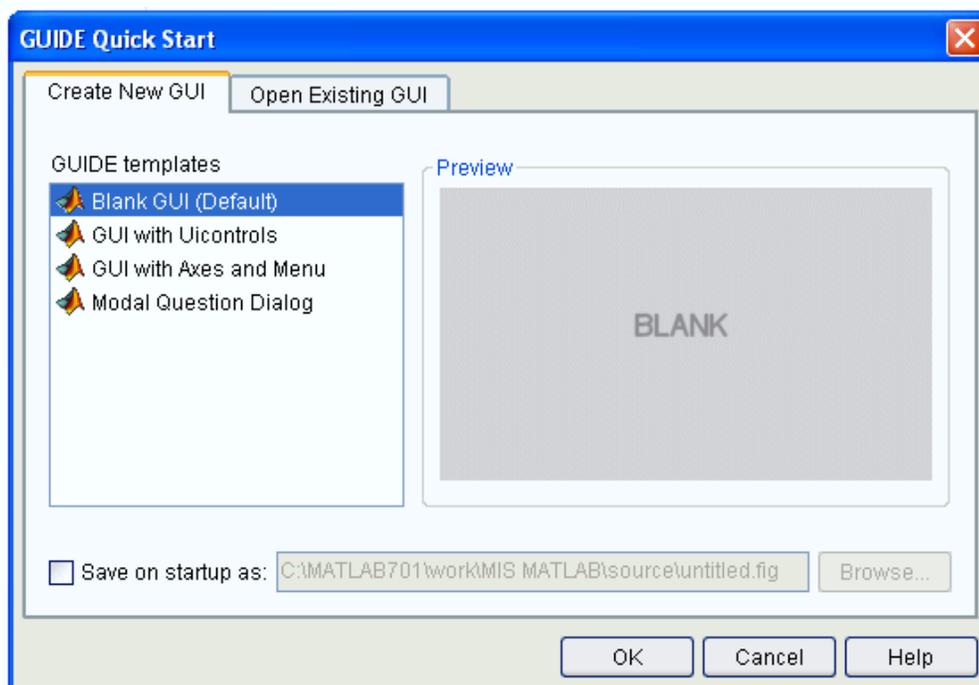


Figura 2.9. Ventana de inicio de **GUIDE**.

Se eligió la primera opción y luego aparece la ventana de diseño mostrada en la Figura 2.10.

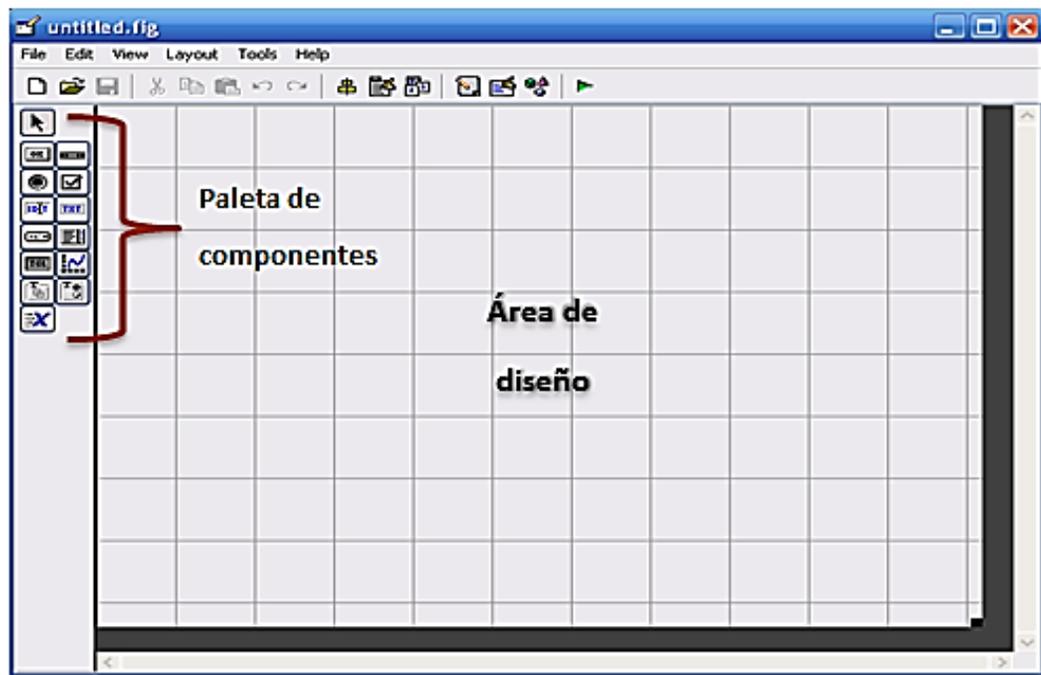


Figura 2.10. Entorno de diseño de GUIDE.

Una aplicación GUIDE consta de dos archivos: que tienen dos tipos de extensiones los ficheros que se generan los **.m** y **.fig**, el fichero **.m** es el ejecutable y el **.fig** la parte gráfica. Para el diseño de la interfaz de usuario se elaboró un programa (gauss.m mostrado en Anexo 6), donde se editaron y configuraron todos los componentes. El nombre de la interfaz es Gaussímetro, como se puede observar en la Figura 2.11. En el entorno de diseño se insertaron los componentes a utilizar, configurados en el fichero anteriormente mencionado.



Figura 2.11. Interfaz Gráfica.

Para ejecutar la interfaz gráfica, simplemente se debe ejecutar en la ventana de comandos **>> gauss**

Dicha interfaz permite adquirir los datos provenientes de mediciones realizadas para una frecuencia de muestreo y número de muestras definidos por el usuario. Además, se obtienen algunos resultados que caracterizan la función de campo magnético, en este caso, el valor efectivo, el valor medio, máximo y mínimo de la señal.

2.4. Desarrollo de las mediciones

Antes de efectuar las mediciones de interés, se realizaron mediciones de prueba utilizando la interfaz gráfica del **Daqview** (Anexo 7). Luego de probar el funcionamiento de la tarjeta se realizaron las mediciones para diferentes puntos de operación, para ello se utilizaron los siguientes dispositivos:

- Generador de funciones (1 Hz-10 MHz).
- Tarjeta DAQBoard/1000 (conector TB-100).

- Computadora.

Medición sin acondicionador

Primeramente se efectuó la medición para la señal sin acondicionador, se midió a través del canal 0 (ACH0) de la tarjeta, modo simple. Se generó una señal de corriente alterna (CA) empleando el generador de funciones que genera señales con diferentes formas de onda, con forma de onda sinusoidal, una frecuencia de 60 Hz y Voltaje pico a pico (Vpp) de 2.5 V.

En la interfaz se definió una frecuencia de muestreo de 1000 y un número de muestra de 83. La señal adquirida sin acondicionador presenta la siguiente ecuación donde el campo es función de la tensión adquirida:

$$y = m \cdot x + n \tag{2.25}$$

$$G = \frac{1000}{1.3} \cdot v - \frac{2.5 \cdot 1000}{1.3} \tag{2.26}$$

En la Figura 2.12 se muestra el resultado gráfico de la adquisición, correspondiente a los características de transferencia de sensor, se puede observar como para una tensión de 3.8 V el campo es de 1000 G (valor normalizado).

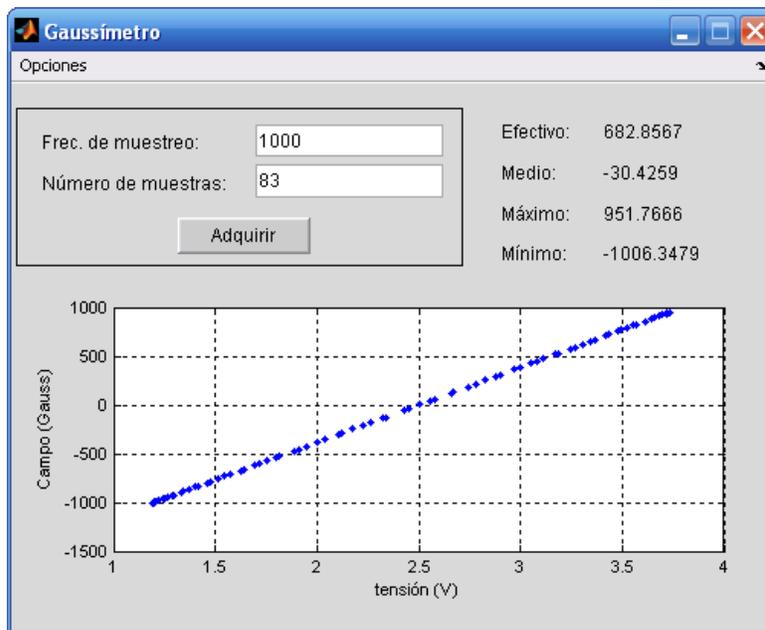


Figura 2.12. Resultado gráfico sin acondicionador (Campo vs Tensión).

El menú **Opciones**, mostrado en la Figura 2.13, está constituido por tres submenús:

- Graficar en ventana nueva: Permite graficar en ventana nueva los datos obtenidos de la medición en un documento con la extensión .txt (bloc de notas).
- Guardar: Permite guardar los datos obtenidos de la medición a un fichero de datos.
- Salir: Permite al usuario abandonar el programa.

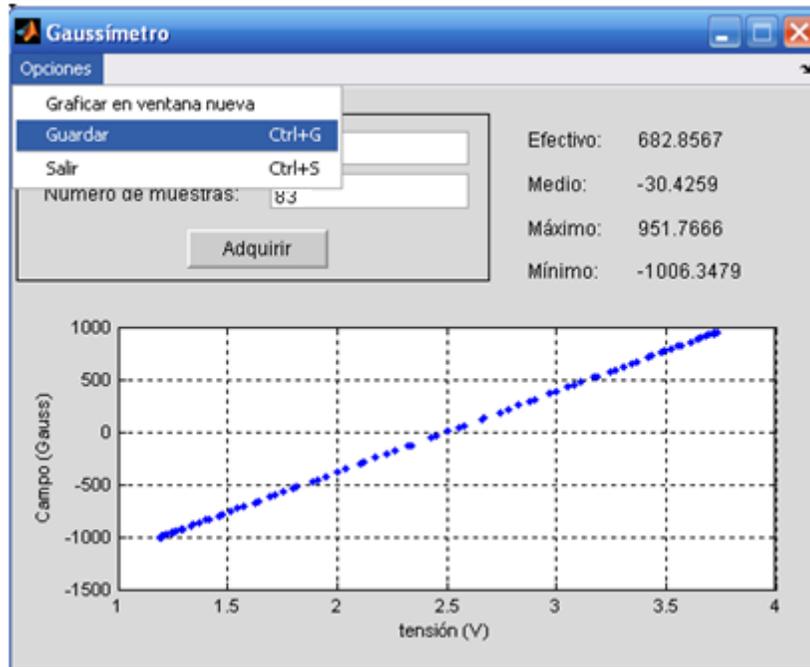


Figura 2.13. Vista del menú de opciones de la aplicación.

Tanto el campo como la tensión tienen un comportamiento en el tiempo, por esta razón se creó un programa (graf_apart.m) mostrado en Anexo 8 que permite graficar en una ventana nueva el campo respecto al tiempo y la tensión respecto al tiempo (ver Figura 2.14).

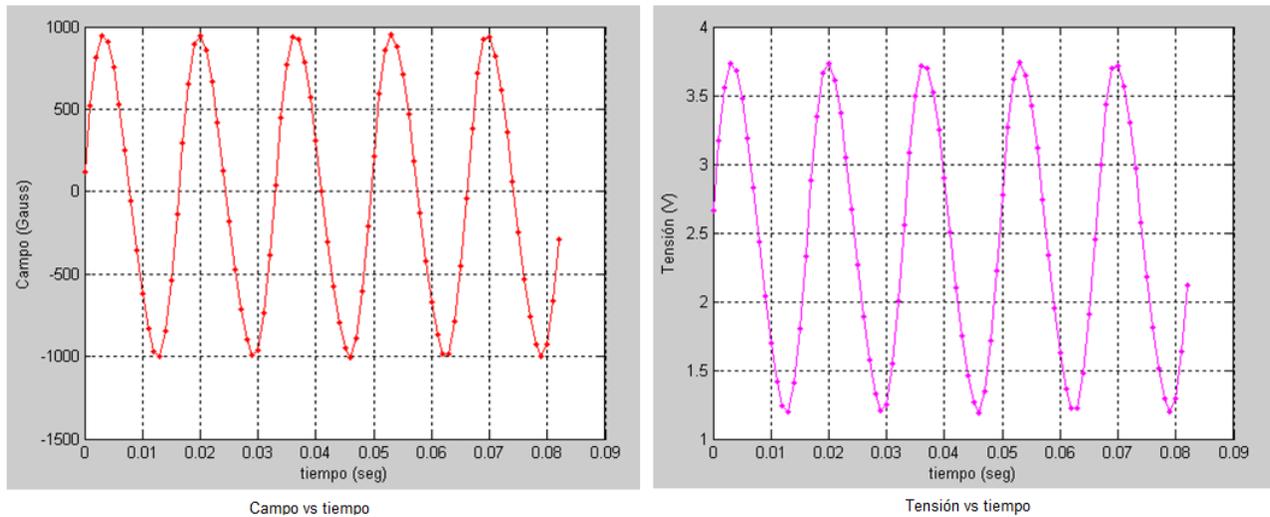


Figura 2.14. Comportamiento del campo y la tensión respecto al tiempo.

Para guardar los resultados se creó el programa `guarda_val.m` (Anexo 9), lo cual permite guardarlos en documentos de texto (.txt) a través de una ventana, los cuales se pueden abrir empleando Excel (Anexo 10).

Medición con acondicionador

En este caso se realizó la medición para una tensión de 10 V, no hay tensión de offset, por tanto, para 0 G se tiene 0 V. Se definió de igual manera una frecuencia de muestreo de 1000 y un número de muestra de 83. A continuación se muestra la ecuación del campo en función de la tensión:

$$G = 100 \cdot v \tag{2.27}$$

La Figura 2.15 muestra el resultado gráfico de la adquisición para este caso, el campo en función de la tensión.

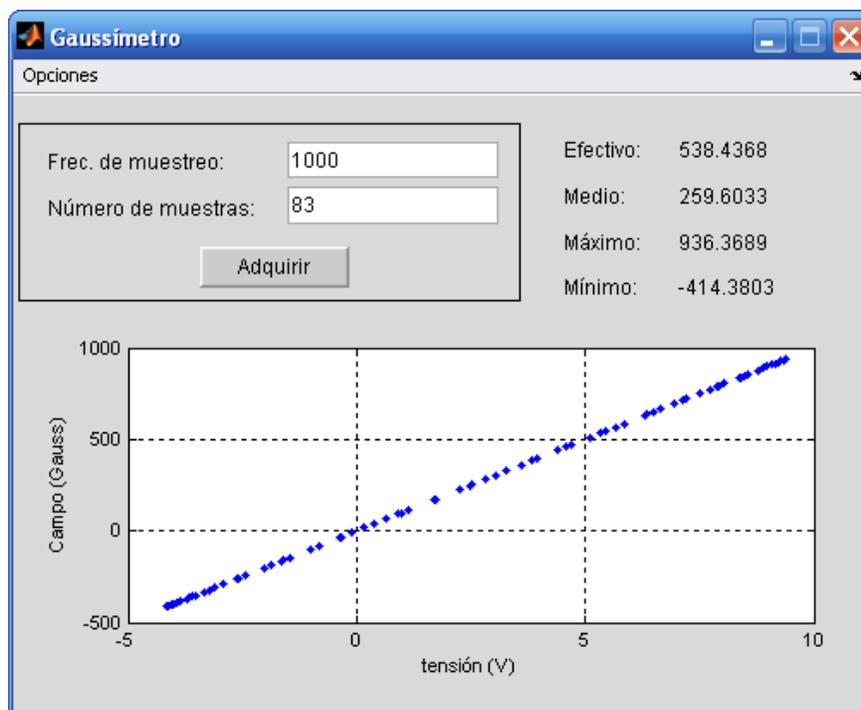


Figura 2.15. Resultado gráfico con acondicionador (campo vs tensión).

Al igual que en caso anterior, se graficó en una nueva ventana la tensión y el campo, ambos respecto al tiempo. Dichas gráficas se muestran en la Figura 2.16.

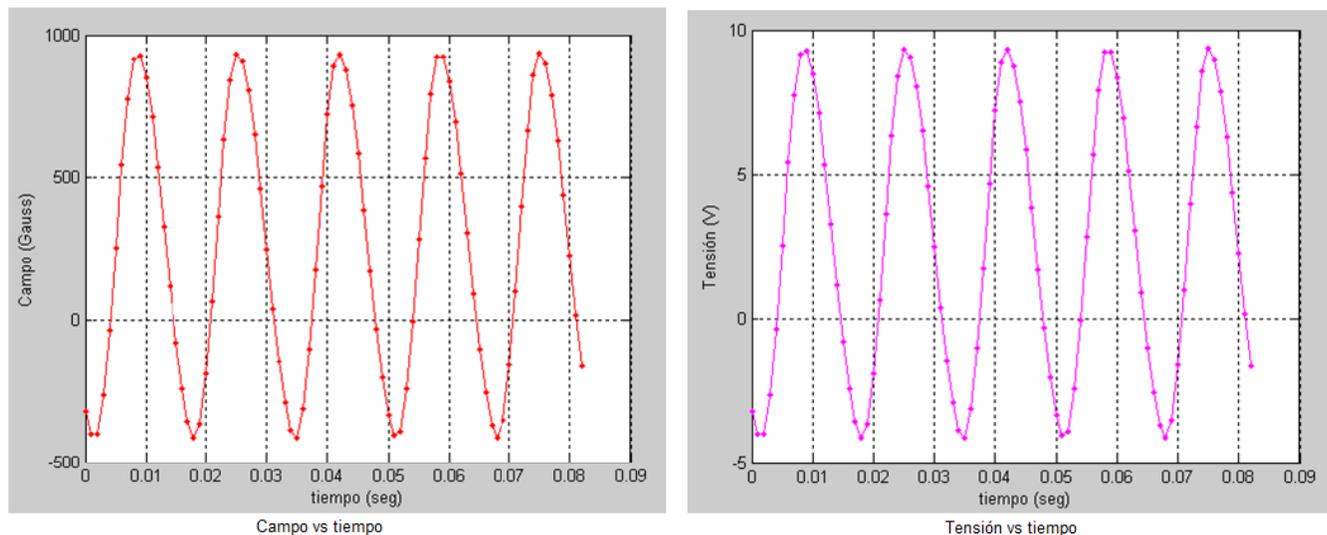


Figura 2.16. Comportamiento del campo y la tensión respecto al tiempo.

Los resultados de la medición fueron guardados de la misma manera que en la medición anterior y los datos obtenidos en cada caso, se muestran en los Anexos 11 y 12, los cuales se ajustan a los valores obtenidos por software.

CONCLUSIONES PARCIALES II

1. Se demostró la efectividad del diseño del acondicionador de señales del sensor de Efecto Hall **UGN3503** mediante la simulación en el programa profesional **Proteus V8**.
2. Se diseñó y se programó la interfaz gráfica a través del uso de la Tarjeta **DAQBoard/100** con el software **MATLAB 7.10**, logrando obtener las mediciones para prácticas de laboratorios virtuales de mediciones magnéticas en la Facultad de Ingeniería Eléctrica.
3. El uso de los laboratorios virtuales utilizando la interfaz gráfica, permite obtener las mediciones de una forma más rápida, elevando el grado de motivación y desempeño de los estudiantes y profesores.

Conclusiones Generales

CONCLUSIONES GENERALES

1. Los sistemas de adquisición de datos permiten tener un rápido acceso a la información y adquirir una gran cantidad de datos para analizar, además, se utilizan en la industria, la investigación científica, el control de máquinas y de producción, la detección de fallas y el control de calidad.
2. Se realizó el diseño y simulación del acondicionador de señal del sensor de efecto Hall lográndose eliminar la tensión de offset, obteniéndose a la salida los 0 V correspondiente a un campo de 0 G y los 9 V correspondientes a un valor máximo de tensión de salida del sensor de 3.67 V para 900 G aumentando el valor de la pendiente de salida.
3. Se demostró la efectividad del diseño del acondicionador de señales del sensor de Efecto Hall **UGN3503** mediante la simulación en el programa profesional **Proteus V8**.
4. Se obtuvieron las gráficas Tensión (V) respecto Campo (G), correspondientes para el caso de la medición con el sensor sin acondicionador y con acondicionador, demostrando la veracidad de los resultados obtenidos mediante la simulación del acondicionador de señal.
5. Se diseñó y se programó la interfaz gráfica a través del uso de la Tarjeta **DAQBoard/100** con el software **MATLAB 7.10**, logrando obtener las mediciones para prácticas de laboratorios virtuales de mediciones magnéticas en la Facultad de Ingeniería Eléctrica.
6. El uso de los laboratorios virtuales utilizando la interfaz gráfica, permite obtener las mediciones de una forma más rápida, elevando el grado de motivación y desempeño de los estudiantes y profesores.

Recomendaciones

RECOMENDACIONES

1. Implementar el hardware del sistema de medición de campo magnético empleando el sensor de Efecto Hall real.
2. Estandarizar el software, de manera que le permita al usuario, seleccionar otras magnitudes.
3. Elaborar un procedimiento para realizar las mediciones en las prácticas de laboratorios virtuales.

Bibliografia

BIBLIOGRAFÍA

1. Alarcón O. R.: "Indicaciones para el Ministerio de Educación Superior". Ministerio de Educación Superior. Oficina del Viceministro primero. La Habana 2011.
2. García E. Métodos Experimentales del magnetismo. Colectivo de autores, 1978.
3. Gilart F. Conferencia 2: Los materiales magnéticos y sus características, 2015.
4. [4] Halliday, D., Robert R. Física para estudiantes de ciencias e ingeniería. Segunda Edición Revisada, Corregida y aumentada. Parte 2. Edición Revolucionaria, 1975.
5. Luengas, L., Guevara, J., Sánchez, G.: ¿Cómo desarrollar un Laboratorio Virtual? metodología de Diseño. En J. Sánchez (Ed.): Nuevas Ideas en Informática Educativa, Volumen 5, pp. 165 – 170, Santiago de Chile 2009.
6. Martínez V. J.: "Simulación de prácticas de laboratorio de bioquímica". Tesis en opción al título de Ingeniero Químico. 2003
7. Pérez, M., Álvarez, J., Campo J., Ferrero, J., Grillo, G. Instrumentación Electrónica.
8. Reyes S. L., Rabilero M. Electricidad y Magnetismo. Editorial Pueblo y Educación. ISPJAE 1986.
9. Salazar, A., Fong J. Mediciones Eléctricas. Editorial Félix Varela. La Habana, 2004.
10. Sandoval T. C.: "Laboratorio Virtual de Proceso". Tesis de Maestría. 2010.
11. Turichin, A. Mediciones Eléctricas. Editorial Pueblo y Educación.
12. Colectivo de autores. Artículo Campo magnético. Disponible en: www.principia-malaga.com/portal/pdfs/web-campo-magn.pdf. Consultado el: 19 de enero 2015.
13. Colectivo de autores. Artículo Teleformación Disponible en: <http://Teleformacion.edu.aytolacoruna.es/fisica/document/teoria/a-franco/electromagnet/magnetico/cmagnetico.html>. Consultado el: 19 de enero 2015.
14. DaqBoard/1000 Series -16 bit-200KHz PCI Data Acquisition Board. Disponible en: www.mccdaq.com/products/db1000s.htm
15. <http://bueno-saber.com/aficiones-juegos-y-juguetes/ciencia-y-naturaleza/acerca-de-electroimanes.php>.
16. http://centrodeartigo.com/articulos-enciclopedicos/article_88357.html
17. <http://electrokadpd-cetis.blogspot.com/2011/11/que-es-un-electroiman-e-historia.html>
18. http://fisica.udea.edu.co/~lab-gicm/Instrumentacion/2014_levitador%20magnetico.pdf.

19. http://iesbernatguinovart.com/04a_matematicas/carpeta_arxius/TEMA%208%20MAGNETISMO%20Y%20ELECTROMAGNETISMO.pdf. Consultado el: 6 de mayo 2015.
20. <http://ing.unne.edu.ar/pub/fisica3/170308/teo/teo4.pdf>. Consultado el: 6 de noviembre 2015.
21. <http://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/9992/1/16.pdf> . Consultado el: 14 de octubre 2015.
22. <http://www.cecyl1.ipn.mx/Documents/FisicalV.pdf>. Consultado el: 6 de mayo 2015
23. http://www.tdr.cesca.es/TESIS_UC/AVAILABLE/TDR-0520105-112810/6de8.APLcap6.pdf. Consultado el: 9 de septiembre 2015.
24. <https://rsef.es/images/Problemas/OEF2013/P2-OEF-2013.pdf>. Consultado el 16 de enero 2015.

Anejos

ANEXOS

Anexo 1. Aplicaciones de los sistemas magnéticos.



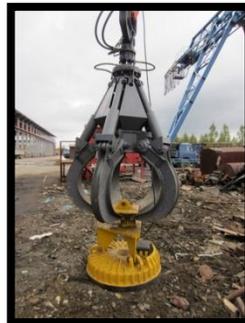
Tren de levitación magnética.



Levantamiento de cargas de acero



Instalación de Resonancia Magnética de Imágenes.



Pulpo manipulador de chatarra.



Filtro magnético.



Sistema de banda para detectar residuos.



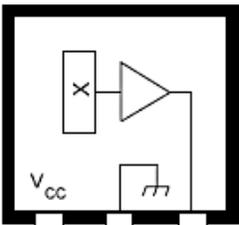
Banda magnética.

Anexo 2. Hoja de datos del sensor de Efecto Hall Lineal UGN3503.

3503

Data Sheet
27501B*

RATIOMETRIC, LINEAR HALL-EFFECT SENSORS



Dwg. PH-008

Pinning is shown viewed from branded side.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Supply Voltage, V_{CC}	8 V
Magnetic Flux Density, B	Unlimited
Operating Temperature Range, T_A	-20°C to +85°C
Storage Temperature Range, T_S	-65°C to +150°C

The UGN3503LT, UGN3503U, and UGN3503UA Hall-effect sensors accurately track extremely small changes in magnetic flux density—changes generally too small to operate Hall-effect switches.

As motion detectors, gear tooth sensors, and proximity detectors, they are magnetically driven mirrors of mechanical events. As sensitive monitors of electromagnets, they can effectively measure a system's performance with negligible system loading while providing isolation from contaminated and electrically noisy environments.

Each Hall-effect integrated circuit includes a Hall sensing element, linear amplifier, and emitter-follower output stage. Problems associated with handling tiny analog signals are minimized by having the Hall cell and amplifier on a single chip.

Three package styles provide a magnetically optimized package for most applications. Package suffix 'LT' is a miniature SOT-89/TO-243AA transistor package for surface-mount applications; suffix 'U' is a miniature three-lead plastic SIP, while 'UA' is a three-lead ultra-mini-SIP. All devices are rated for continuous operation over the temperature range of -20°C to +85°C.

FEATURES

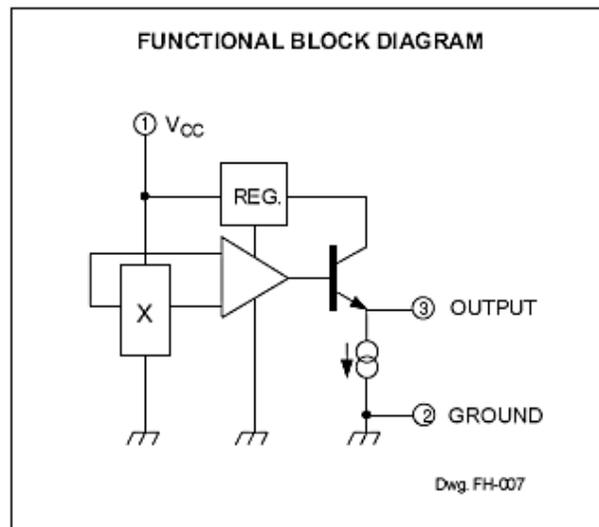
- Extremely Sensitive
- Flat Response to 23 kHz
- Low-Noise Output
- 4.5 V to 6 V Operation
- Magnetically Optimized Package

Always order by complete part number, e.g., UGN3503UA.



**Anexo 2. Hoja de datos del sensor de Efecto Hall Lineal UGN3503.
(Continuación)**

3503
RATIOMETRIC,
LINEAR
HALL-EFFECT SENSORS



ELECTRICAL CHARACTERISTICS at $T_A = +25^\circ\text{C}$, $V_{CC} = 5\text{ V}$

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Limits			
			Min.	Typ.	Max.	Units
Operating Voltage	V_{CC}		4.5	—	6.0	V
Supply Current	I_{CC}		—	9.0	13	mA
Quiescent Output Voltage	V_{OUT}	$B = 0\text{ G}$	2.25	2.50	2.75	V
Sensitivity	ΔV_{OUT}	$B = 0\text{ G to } \pm 900\text{ G}$	0.75	1.30	1.75	mV/G
Bandwidth (-3 dB)	BW		—	23	—	kHz
Broadband Output Noise	V_{out}	$BW = 10\text{ Hz to } 10\text{ kHz}$	—	90	—	μV
Output Resistance	R_{OUT}		—	50	220	Ω

All output-voltage measurements are made with a voltmeter having an input impedance of at least $10\text{ k}\Omega$

Magnetic flux density is measured at most sensitive area of device located $0.016''$ (0.41 mm) below the branded face of the 'U' package; $0.020''$ (0.51 mm) below the branded face of the 'UA' package; and $0.030''$ (0.76 mm) below the branded face of the 'LT' package.



115 Northeast Cutoff, Box 15036
Worcester, Massachusetts 01615-0036 (508) 853-5000
Copyright © 1985, 1999, Allegro Microsystems, Inc.

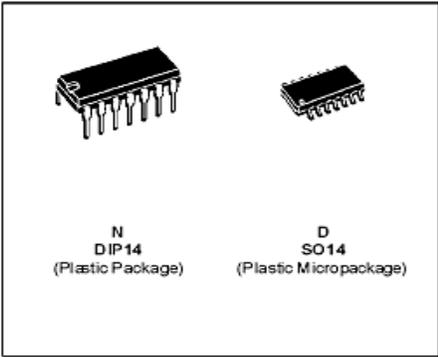
Anexo 3. Hoja de datos del Amplificador operacional LM324.



LM124
LM224 - LM324

LOW POWER QUAD OPERATIONAL AMPLIFIERS

- LARGE VOLTAGE GAIN : 100dB
- VERY LOW SUPPLY CURRENT/AMPLI : 375µA
- LOW INPUT BIAS CURRENT : 20nA
- LOW INPUT OFFSET VOLTAGE : 5mV max.
(for more accurate applications, use the equivalent parts LM124A-LM224A-LM324A which feature 3mV max)
- LOW INPUT OFFSET CURRENT : 2nA
- WIDE POWER SUPPLY RANGE :
SINGLE SUPPLY : +3V TO +30V
DUAL SUPPLIES : ±1.5V TO ±15V



N
DIP14
(Plastic Package)
D
SO14
(Plastic Micropackage)

DESCRIPTION

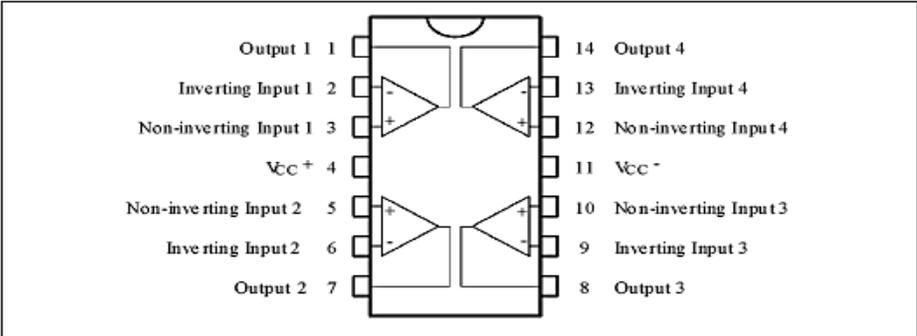
These circuits consist of four independent, high gain, internally frequency compensated operational amplifiers which were designed specifically for automotive and industrial control systems. They operate from a single power supply over a wide range of voltages. Operation from split power supplies is also possible and the low power supply current drain is independent of the magnitude of the power supply voltage.

ORDER CODES

Part Number	Temperature Range	Package	
		N	D
LM124	-55°C, +125°C	•	•
LM224	-40°C, +105°C	•	•
LM324	0°C, +70°C	•	•

Example : LM224N

PIN CONNECTIONS (top view)



December 1996
1/13

Anexo 3. Hoja de datos del Amplificador operacional LM324. (Continuación)

LM124 - LM224 - LM324

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

Symbol	Parameter	LM124 - LM224 - LM324			Unit
		Min.	Typ.	Max.	
V_{OH}	High Level Output Voltage ($V_{CC} = +30V$) $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$ $R_L = 2k\Omega$ $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$ $R_L = 10k\Omega$ ($V_{CC} = +5V, R_L = 2k\Omega$) $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	26	27		V
		26			
		27	28		
		27			
3.5					
		3			
V_{OL}	Low Level Output Voltage ($R_L = 10k\Omega$) $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		5	20	mV
				20	
SR	Slew Rate $V_{CC} = 15V, V_i = 0.5$ to $3V, R_L = 2k\Omega, C_L = 100pF,$ $T_{amb} = +25^{\circ}C,$ unity gain)		0.4		V/ μs
GBP	Gain Bandwidth Product $V_{CC} = 30V, f = 100kHz, T_{amb} = +25^{\circ}C, V_{in} = 10mV$ $R_L = 2k\Omega, C_L = 100pF$		1.3		MHz
THD	Total Harmonic Distortion $f = 1kHz, A_V = 20dB, R_L = 2k\Omega, V_O = 2V_{pp}$ $C_L = 100pF, T_{amb} = +25^{\circ}C, V_{CC} = 30V$		0.015		%
e_n	Equivalent Input Noise Voltage $f = 1kHz, R_s = 100\Omega, V_{CC} = 30V$		40		$\frac{nV}{\sqrt{Hz}}$
DV_{io}	Input Offset Voltage Drift		7	30	$\mu V/^{\circ}C$
DI_{io}	Input Offset Current Drift		10	200	$pA/^{\circ}C$
V_{O1}/V_{O2}	Channel Separation (note 5) $1kHz \leq f \leq 20kHz$		120		dB

- Notes :**
- Short-circuits from the output to V_{CC} can cause excessive heating if $V_{CC} > 15V$. The maximum output current is approximately 40mA independent of the magnitude of V_{CC} . Destructive dissipation can result from simultaneous short-circuit on all amplifiers.
 - The direction of the input current is out of the IC. This current is essentially constant, independent of the state of the output so no loading change exists on the input lines.
 - $V_e = 1.4V, R_e = 0\Omega, 5V < V_{CC} < 30V, 0 < V_{ic} < V_{CC} - 1.5V$
 - The input common-mode voltage of either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3V. The upper end of the common-mode voltage range is $V_{CC} - 1.5V$, but either or both inputs can go to +32V without damage.
 - Due to the proximity of external components insure that coupling is not originating via stray capacitance between these external parts. This typically can be detected as this type of capacitance increases at higher frequencies.
 - This input current only exists when the voltage at any of the input leads is driven negative. It is due to the collector-base junction of the input PNP transistor becoming forward biased and thereby acting as input diodes clamps. In addition to this diode action, there is also NPN parasitic action on the IC chip. This transistor action can cause the output voltages of the Op-amps to go to the V_{CC} voltage level (or to ground for a large overdrive) for the time duration than an input is driven negative. This is not destructive and normal output will set up again for input voltage higher than -0.3V.

Anexo 4. Hoja de datos del Amplificador de Instrumentación INA118 PB



BURR-BROWN®
BB



INA118

INA118

Precision, Low Power INSTRUMENTATION AMPLIFIER

FEATURES

- LOW OFFSET VOLTAGE: 50µV max
- LOW DRIFT: 0.5µV/°C max
- LOW INPUT BIAS CURRENT: 5nA max
- HIGH CMR: 110dB min
- INPUTS PROTECTED TO ±40V
- WIDE SUPPLY RANGE: ±1.35 to ±8V
- LOW QUIESCENT CURRENT: 350µA
- 8-PIN PLASTIC DIP, SO-8

APPLICATIONS

- BRIDGE AMPLIFIER
- THERMOCOUPLE AMPLIFIER
- RTD SENSOR AMPLIFIER
- MEDICAL INSTRUMENTATION
- DATA ACQUISITION

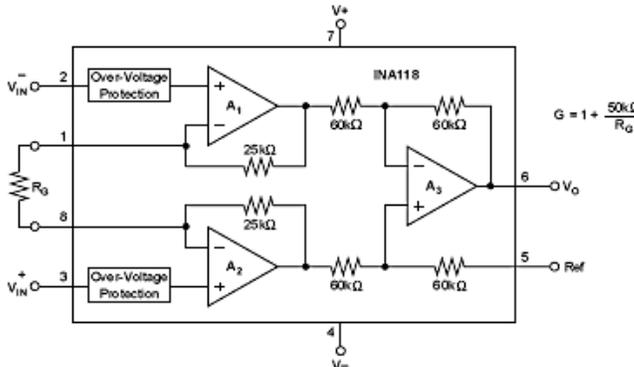
DESCRIPTION

The INA118 is a low power, general purpose instrumentation amplifier offering excellent accuracy. Its versatile 3-op amp design and small size make it ideal for a wide range of applications. Current-feedback input circuitry provides wide bandwidth even at high gain (70kHz at G = 100).

A single external resistor sets any gain from 1 to 10,000. Internal input protection can withstand up to ±40V without damage.

The INA118 is laser trimmed for very low offset voltage (50µV), drift (0.5µV/°C) and high common-mode rejection (110dB at G = 1000). It operates with power supplies as low as ±1.35V, and quiescent current is only 350µA—ideal for battery operated systems.

The INA118 is available in 8-pin plastic DIP, and SO-8 surface-mount packages, specified for the -40°C to +85°C temperature range.



$G = 1 + \frac{50k\Omega}{R_G}$

International Airport Industrial Park • Mailing Address: PO Box 11400, Tucson, AZ 85734 • Street Address: 6730 S. Tucson Blvd., Tucson, AZ 85706 • Tel: (520) 746-1111 • Tlx: 910-952-1111
Internet: <http://www.bur-brown.com/> • FAXLine: (800) 548-6133 (US/Canada Only) • Cable: BBRCORP • Telex: 090 6491 • FAX: (520) 880-1510 • Immediate Product Info: (800) 548-6132

©1994 Burr-Brown Corporation

PDS-11199C

Printed in U.S.A. March, 1994

Anexo 4. Hoja de datos del Amplificador de Instrumentación INA118 PB. (Continuación)

SPECIFICATIONS

ELECTRICAL

At $T_A = +25^\circ\text{C}$, $V_S = \pm 15\text{V}$, $R_L = 10\text{k}\Omega$ unless otherwise noted.

PARAMETER	CONDITIONS	INA118PB, UB			INA118P, U			UNITS
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
INPUT								
Offset Voltage, RTI	$T_A = +25^\circ\text{C}$ $T_A = T_{\text{MIN}} \text{ to } T_{\text{MAX}}$ $V_S = \pm 1.35\text{V to } \pm 15\text{V}$		$\pm 10 \pm 50/\text{G}$	$\pm 50 \pm 500/\text{G}$		$\pm 25 \pm 100/\text{G}$	$\pm 125 \pm 1000/\text{G}$	μV
Initial vs Temperature			$\pm 0.2 \pm 2/\text{G}$	$\pm 0.5 \pm 20/\text{G}$		$\pm 0.2 \pm 5/\text{G}$	$\pm 1 \pm 20/\text{G}$	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
vs Power Supply			$\pm 1 \pm 10/\text{G}$	$\pm 5 \pm 100/\text{G}$		*	$\pm 10 \pm 100/\text{G}$	$\mu\text{V}/\text{V}$
Long-Term Stability				$\pm 0.4 \pm 5/\text{G}$		*		$\mu\text{V}/\text{mo}$
Impedance, Differential				$10^{10} \parallel 1$		*		$\Omega \parallel \text{pF}$
Common-Mode				$10^{10} \parallel 4$		*		$\Omega \parallel \text{pF}$
Linear Input Voltage Range		$(V^+) - 1$ $(V^-) + 1.1$	$(V^+) - 0.65$ $(V^-) + 0.95$		*	*	V	
Safe Input Voltage				± 40			V	
Common-Mode Rejection	$V_{\text{CM}} = \pm 10\text{V}$, $\Delta R_G = 1\text{k}\Omega$					*	V	
	G = 1	80	90		73	*	dB	
	G = 10	97	110		89	*	dB	
	G = 100	107	120		98	*	dB	
	G = 1000	110	125		100	*	dB	
BIAS CURRENT				± 5			± 10	nA
vs Temperature			± 40		*			$\text{pA}/^\circ\text{C}$
OFFSET CURRENT			± 1	± 5			± 10	nA
vs Temperature			± 40		*			$\text{pA}/^\circ\text{C}$
NOISE VOLTAGE, RTI	G = 1000, $R_G = 0\Omega$							$\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$
f = 10Hz			11		*			$\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$
f = 100Hz			10		*			$\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$
f = 1kHz			10		*			$\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$
$f_b = 0.1\text{Hz to } 10\text{Hz}$			0.28		*			$\mu\text{V}/\text{p}$
Noise Current								$\text{pA}/\sqrt{\text{Hz}}$
f = 10Hz			2.0		*			$\text{pA}/\sqrt{\text{Hz}}$
f = 1kHz			0.3		*			$\text{pA}/\sqrt{\text{Hz}}$
$f_b = 0.1\text{Hz to } 10\text{Hz}$			80		*			pA/p
GAIN								V/V
Gain Equation		1	$1 + (50\text{k}\Omega/R_G)$	10000	*	*	*	V/V
Range of Gain								%
Gain Error	G = 1		± 0.01	± 0.024		*	± 0.1	%
	G = 10		± 0.02	± 0.4		*	± 0.5	%
	G = 100		± 0.05	± 0.5		*	± 0.7	%
	G = 1000		± 0.5	± 1		*	± 2	%
Gain vs Temperature	G = 1		± 1	± 10		*	± 10	$\text{ppm}/^\circ\text{C}$
50k Ω Resistance ⁽¹⁾			± 25	± 100		*	*	$\text{ppm}/^\circ\text{C}$
Nonlinearity	G = 1		± 0.0003	± 0.001		*	± 0.002	% of FSR
	G = 10		± 0.0005	± 0.002		*	± 0.004	% of FSR
	G = 100		± 0.0005	± 0.002		*	± 0.004	% of FSR
	G = 1000		± 0.002	± 0.01		*	± 0.02	% of FSR
OUTPUT								V
Voltage: Positive	$R_L = 10\text{k}\Omega$	$(V^+) - 1$	$(V^+) - 0.8$		*	*		V
Negative	$R_L = 10\text{k}\Omega$	$(V^-) + 0.35$	$(V^-) + 0.2$		*	*		V
Single Supply High	$V_S = +2.7\text{V}/0\text{V}/2$, $R_L = 10\text{k}\Omega$	1.8	2.0		*	*		V
Single Supply Low	$V_S = +2.7\text{V}/0\text{V}/2$, $R_L = 10\text{k}\Omega$	60	35		*	*		mV
Load Capacitance Stability			1000		*	*		pF
Short Circuit Current			-5/-12		*	*		mA
FREQUENCY RESPONSE								kHz
Bandwidth, -3dB	G = 1		800		*			kHz
	G = 10		500		*			kHz
	G = 100		70		*			kHz
	G = 1000		7		*			kHz
Slew Rate	$V_O = \pm 10\text{V}$, G = 10		0.9		*			V/ μs
Settling Time, 0.01%	G = 1		15		*			μs
	G = 10		15		*			μs
	G = 100		21		*			μs
	G = 1000		210		*			μs
One-food Recovery	50% Overdrive		20		*			μs
POWER SUPPLY								V
Voltage Range	$V_{\text{IN}} = 0\text{V}$	± 1.35	± 15	± 18	*	*	*	V
Current			± 350	± 385	*	*	*	μA
TEMPERATURE RANGE								$^\circ\text{C}$
Specification		-40		85	*		*	$^\circ\text{C}$
Operating		-40		125	*		*	$^\circ\text{C}$
θ_{JA}			80		*	*	*	$^\circ\text{C}/\text{W}$

* Specification same as INA118PB, UB.

NOTE: (1) Temperature coefficient of the "50k Ω " term in the gain equation. (2) $V_{\text{CM}} = 2\text{V}$. Common-mode input voltage range is limited. See text for discussion of low power supply and single power supply operation.

Anexo 5. Programa para configurar la adquisición (startai.m).

```
% configuración de la adquisición
global h0 h1 h_Nm h_Fm h_adquirir
global t G v fs ns Grms Gmed Gmin Gmax
clc
ns=str2num(get(h_Nm,'String'));
fs=str2num(get(h_Fm,'String'));
set(h_adquirir,'Enable','off');
daqreset;
%configura el dispositivo
%para entrada analógica.
ai = analoginput('iotdaq',1);
% para configurar el tipo de entrada
diferencial, si fuera necesario se
% realizaría de la siguiente manera:
set(ai,'InputType','diferencial');
% frecuencia de muestreo.
ai.samplerate=fs;
% número de muestras.
ai.samplespertrigger=ns;
% evento de disparo
ai.triggertype='immediate';
% manera de cargar los datos
ai.loggingmode='memory';
% adicionar el canal 0
start(ai)
chans = addchannel(ai,0);
pause(.1);
% leer los datos en memoria
v = getdata(ai)';
% sin acondicionador
% con acondicionador la función es G =
v.*(100)
G = ((1000/1.3).*v)-(2.5*1000/1.3);
Grms=sqrt(sum(G.^2)/length(G));
Gmed=mean(G);
Gmin=min(G);
Gmax=max(G);
% mostrando valores
h_Grms = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'FontName','arial', ...
    'FontWeight','Normal', ...
    'BackgroundColor',[0.85 0.85 0.85], ...
    'FontSize',9, ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[290 235 60 16], ...
    'String',num2str(Grms), ...
    'HorizontalAlignment','left', ...
    'Style','text', ...
    'Visible','on', ...
    'Tag','St1');
h_Gmed = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[290 215 60 16], ...
    'String',num2str(Gmed), ...
    'HorizontalAlignment','left', ...
    'Style','text', ...
    'Visible','on', ...
    'Tag','St1');
h_Gmax = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'FontName','arial', ...
    'FontWeight','Normal', ...
    'BackgroundColor',[0.85 0.85 0.85], ...
    'FontSize',9, ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[290 195 60 16], ...
    'String',num2str(Gmax), ...
    'HorizontalAlignment','left', ...
    'Style','text', ...
    'Visible','on', ...
    'Tag','St1');
h_Gmin = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'FontName','arial', ...
    'FontWeight','Normal', ...
    'BackgroundColor',[0.85 0.85 0.85], ...
    'FontSize',9, ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[290 175 60 16], ...
    'String',num2str(Gmin), ...
    'HorizontalAlignment','left', ...
    'Style','text', ...
    'Visible','on', ...
    'Tag','St1');
% permitir adquirir
set(h_adquirir,'Enable','on');
% creando el vector del tiempo
t=[0:1/fs:(ns/fs)-1/fs];
% graficando valor
h1=plot(v,G,'.');
grid on
xlabel('tensión (V)');
ylabel('Campo (Gauss)');
```

Diseño de una interfaz para la realización de prácticas de laboratorios virtuales de mediciones magnéticas en la Facultad de Ingeniería Eléctrica

```
'FontName','arial', ...  
'FontWeight','Normal', ...  
'BackgroundColor',[0.85 0.85 0.85], ...  
'FontSize',9, ...
```

Anexo 6. Programa de la Interfaz Gráfica de Usuario (gauss.m).

```
function fig = gauss()
% instrumento virtual
clc;
close all;
global h0
global h1 h_Nm h_Fm h_adquirir
%ventana
h0 = figure('Color',[0.85 0.85 0.85], ...
    'MenuBar','none', ...
    'Name','Gaussímetro', ...
    'NumberTitle','off', ...
    'PaperUnits','points', ...
    'Position',[120 200 500 360], ...
    'Resize','off', ...
    'Tag','Fig1', ...
    'ToolBar','none');
% Creando el menu de la figura
h_menu_opciones = uimenu(h0,'label','Opciones');
% Creando los submenu de la figura
h_m_graficar = uimenu(h_menu_opciones,...
    'label','Graficar en ventana nueva',...
    'Callback','graf_apart');
h_m_guardar = uimenu(h_menu_opciones,...
    'label','Guardar','Callback','guarda_val',...
    'Accelerator','g');
h_m_salir = uimenu(h_menu_opciones,...
    'label','Salir','Callback','close',...
    'Accelerator','s','Separator','on');
% eje gráfico
h1 = axes('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'Box','on', ...
    'Color',[1 1 1], ...
    'Layer','top', ...
    'Position',[50 40 300 120], ...
    'Tag','Axes1', ...
    'Visible','on', ...
    'XColor',[0 0 0], ...
    'XLim',[0.5 430.5], ...
    'XLimMode','manual', ...
    'YColor',[0 0 0], ...
    'YDir','normal', ...
    'FontSize',8, ...
    'YLim',[0.5 145.5], ...
    'YLimMode','manual', ...
    'ZColor',[0 0 0]);
axis off
% frame
h_frame1 = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.85 0.85 0.85], ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[2 180 220 78], ...
    'Style','frame', ...
    'Tag','frame1');
% textos
h_Frec = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'FontName','arial', ...
    'FontWeight','Normal', ...
    'BackgroundColor',[0.85 0.85 0.85], ...
    'FontSize',9, ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[14 230 102 16], ...
    'String','Frec. de muestreo:', ...
    'HorizontalAlignment','left', ...
    'Style','text', ...
    'Visible','on', ...
    'Tag','St1');
h_Num = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'FontName','arial', ...
    'FontWeight','Normal', ...
    'BackgroundColor',[0.85 0.85 0.85], ...
    'FontSize',9, ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[14 210 102 16], ...
    'String','Número de muestras:',...
    'HorizontalAlignment','left', ...
    'Style','text', ...
    'Visible','on', ...
    'Tag','St2');
% mostrando valores
h_Geficaz = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'FontName','arial', ...
    'FontWeight','Normal', ...
    'BackgroundColor',[0.85 0.85 0.85], ...
    'FontSize',9, ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[240 235 60 16], ...
    'String','Efectivo:', ...
    'HorizontalAlignment','left', ...
    'Style','text', ...
    'Visible','on', ...
    'Tag','St1');
h_Gmedio = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'FontName','arial', ...
    'FontWeight','Normal', ...
    'BackgroundColor',[0.85 0.85 0.85],...
```

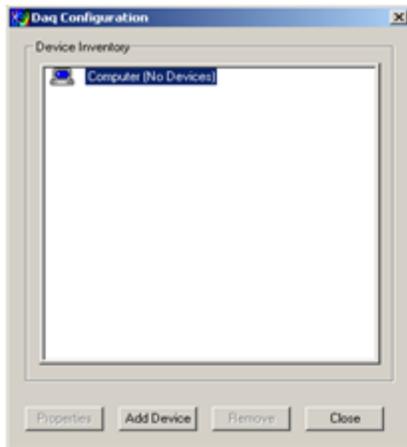
```
'ListboxTop',0, ...
    'Position',[240 215 60 16], ...
    'String','Medio:', ...
    'HorizontalAlignment','left', ...
    'Style','text', ...
    'Visible','on', ...
    'Tag','St1');
h_Gmaximo = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'FontName','arial', ...
    'FontWeight','Normal', ...
    'BackgroundColor',[0.85 0.85 0.85], ...
    'FontSize',9, ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[240 195 60 16], ...
    'String','Máximo:', ...
    'HorizontalAlignment','left', ...
    'Style','text', ...
    'Visible','on', ...
    'Tag','St1');
h_Gminimo = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'FontName','arial', ...
    'FontWeight','Normal', ...
    'BackgroundColor',[0.85 0.85 0.85], ...
    'FontSize',9, ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[240 175 60 16], ...
    'String','Mínimo:', ...
    'HorizontalAlignment','left', ...
    'Style','text', ...
    'Visible','on', ...
    'Tag','St1');
% edit
h_Fm = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'FontName','arial', ...
    'FontWeight','Normal', ...
    'BackgroundColor',[1 1 1], ...
    'FontSize',9, ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[120 234 92 16], ...
    'String','1000', ...
    'HorizontalAlignment','left', ...
    'Style','edit', ...
    'Visible','on', ...
    'Tag','Fm');
h_Nm = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'FontName','arial', ...
    'FontSize',9, ...
    'FontWeight','Normal', ...
    'BackgroundColor',[1 1 1], ...
    'FontSize',9, ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[120 214 92 16], ...
    'String','83', ...
    'HorizontalAlignment','left', ...
    'Style','edit', ...
    'Visible','on', ...
    'Tag','Nm');
% boton
h_adquirir = uicontrol('Parent',h0, ...
    'Units','points', ...
    'ListboxTop',0, ...
    'Position',[82 186 65 18], ...
    'ForegroundColor',[0 0 0], ...
    'Enable','on', ...
    'Fontweight','normal', ...
    'FontSize',9, ...
    'Style','pushbutton', ...
    'HorizontalAlignment','center', ...
    'String','Adquirir', ...
    'Callback','startai', ...
    'BackgroundColor',[.8 .8 .8], ...
    'Tag','inicio');
```

Anexo 7. Caracterización del software Daqview® y las mediciones con la TAD DaqBoard/1000.

Pasos para realizar las mediciones

Se selecciona la tarjeta DaqBoard/1000. Para ello primeramente se abre el programa *Daq Configuration*, que viene en el paquete del CD de la Tarjeta,

Se despliega la lista y se selecciona el dispositivo, en este caso DaqBoard/1000 y se presiona el botón OK. Luego se hace clic en *Add Device* y aparece la ventana que se muestra a continuación.



Ventana del programa Daq Configuration

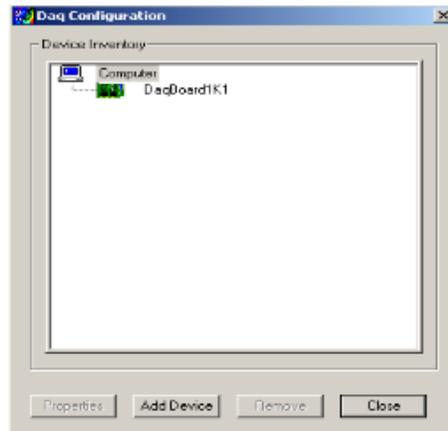


Ventana de selección del dispositivo

Se despliega la lista y se selecciona el dispositivo, en este caso DaqBoard/1000 y se presiona el botón OK. Con ello aparece la ventana de información de la tarjeta seleccionada mostrada a continuación.



Ventana de información de la tarjeta seleccionada.



DaqConfiguration con la DaqBoard/1000 incorporada.

Anexo 7. Caracterización del software Daqview® y las mediciones con la TAD DaqBoard/1000. (Continuación)

Esta ventana permitirá revisar las propiedades del dispositivo seleccionado y hacer una prueba del hardware o chequear las versiones de los controladores (drivers) instalados. Se da en aceptar.

Se presiona en el botón *Close*, ya que la configuración está completa, la tarjeta está lista para trabajar, el próximo paso es en el software DaqView.

Este procedimiento solamente se realizará la primera vez que se va a utilizar la tarjeta, a no ser que sea necesario reinstalar el sistema operativo donde todos los programas y dispositivos conectados a la PC deben reinstalarse.

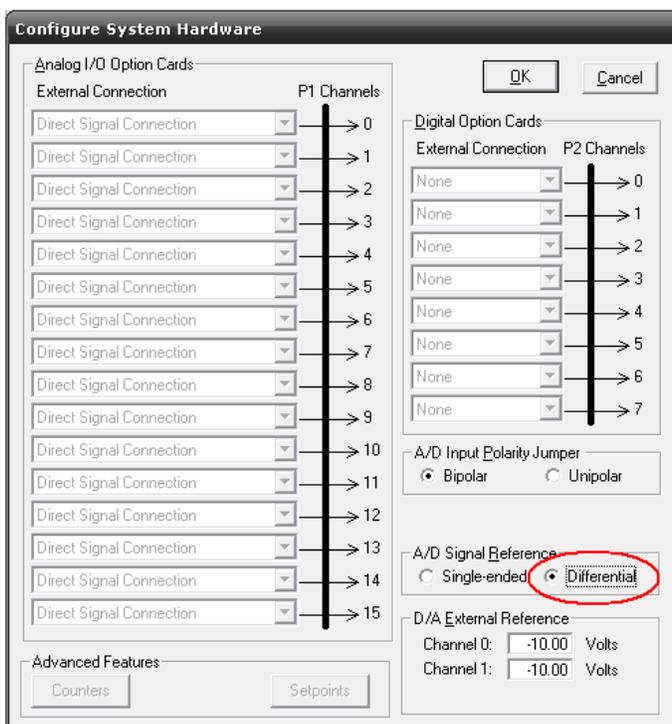
El software DaqView cuenta con una ventana principal en la que aparecen las pestañas *Channel Setup* (Configuración de Canal), *Acquisition Setup* (Configuración de Adquisición) y *Data Destination* (Destino de los Datos) para la configuración de los parámetros de la adquisición y una barra de herramientas con los botones que permiten realizar las mediciones y la visualización de los datos, como aparece a continuación.



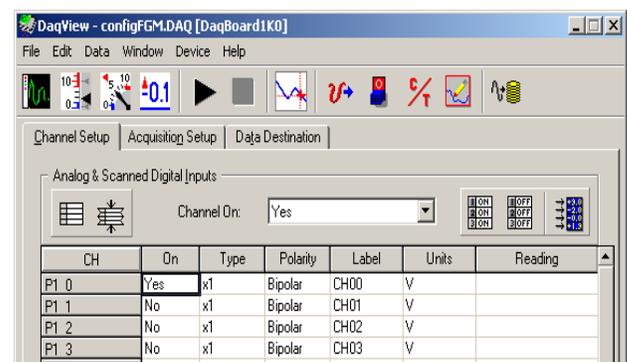
Ventana principal del software DaqView.

Una vez seleccionado el dispositivo (DAQBoard/1000) deben configurarse los canales para la medición y el tipo de entrada.

Las entradas de la tarjeta pueden ser diferenciales o simples. Para configurarlas debe accederse al menú *Device* y seleccionar la opción *Configure Hardware Settings*, apareciendo la siguiente ventana y seleccionando las opciones marcadas. La selección de los canales se realizará en la pestaña *Channel Setup* del software DaqView®.



Ventana de configuración de las entradas de hardware.



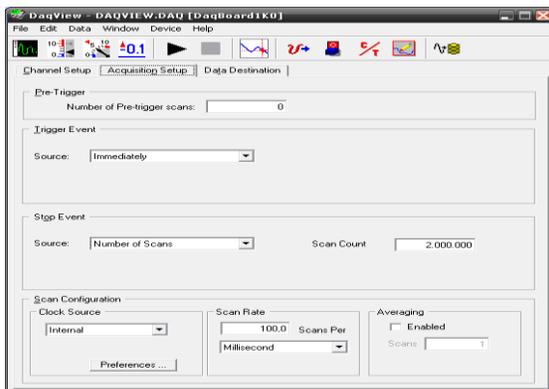
Ventana del Channel Setup, para la selección de los canales.

Anexo 7. Caracterización del software Daqview® y las mediciones con la TAD DaqBoard/1000. (Continuación)

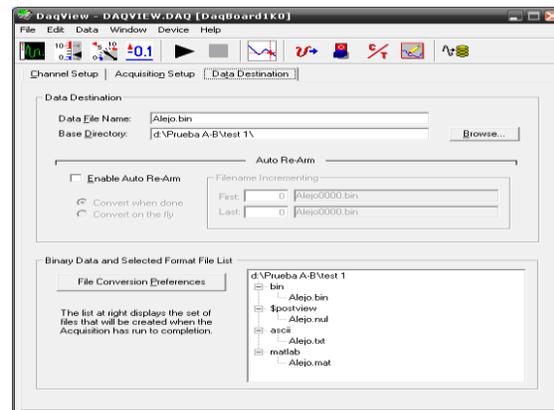
En este punto ya la TAD está lista para medir, basta con hacer *click* en el icono “*Start all indicators*”  que se muestra en la barra de iconos de acceso rápido del Daq View. Posteriormente debe configurarse la adquisición de los datos, esto se realiza en la pestaña *Acquisition Setup*.

Debe prestarse especial atención a los valores asignados al contador de escaneos (Scan Count) y a la frecuencia de escaneos (Scan Rate) con la cual se fijarán los escáneres a realizar por unidad de tiempo. Otro hecho importante es el evento de inicio del escaneo o adquisición dado por la señal de Trigger (Trigger Event), el cual puede ser ajustado para comenzar la adquisición de manera inmediata o manual. La adquisición inicia una vez

que se haga clic en el icono “*Acquire*”  que se muestra en la barra de iconos de acceso rápido del *DaqView*®. Antes de comenzar a adquirir es recomendable seleccionar la dirección de memoria en la que será guardada la data y el formato de esta. Esto se configura en la pestaña *Data Destination*.

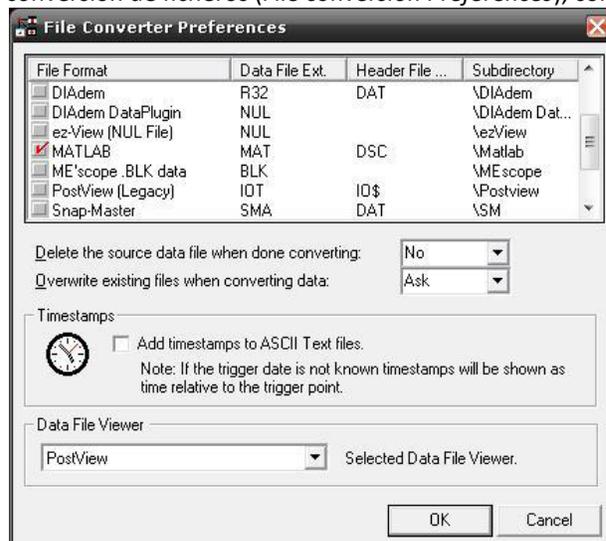


Ventana de Acquisition Setup.



Ventana de Data Destination.

Si se desea emplear los datos resultantes para analizarlos en MATLAB deben ajustarse las preferencias de conversión de ficheros (*File conversion Preferences*), como se muestra en la ventana anterior.



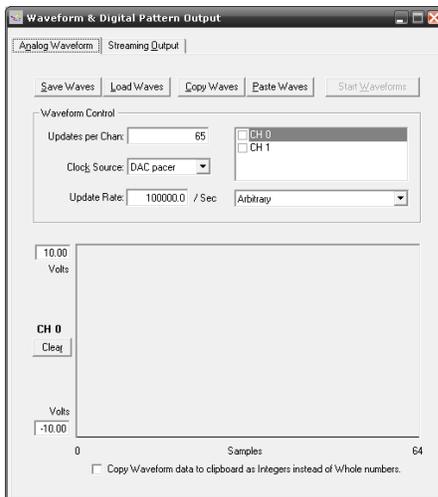
Ventana File Conversion Preferences.

Anexo 7. Caracterización del software Daqview® y las mediciones con la TAD DaqBoard/1000. (Continuación)

Configuración de las salidas analógicas de la tarjeta

Para la configuración de las salidas digitales de la TAD a través del software DaqView se emplea la opción

Waveform & Digital Pattern Output  , esta opción permite escoger la forma de onda a emplear.



Ventana *Waveform & Digital Pattern Output*.

Desde esta ventana pueden configurarse las salidas analógicas de la tarjeta a través de los canales XDAC0 (CH0) y XDAC1 (CH1) con referencia AGND. La forma de onda puede ser: arbitraria, cuadrada, sinusoidal, triangular y rampa.

Los valores de máximo y mínimo por defecto son de $\pm 10V$, pero pueden ser definidos valores inferiores a este. La frecuencia de la señal se establece variando los valores de las opciones “*Updates per Chan*” (lo que en español sería el número de actualizaciones por canal) y “*Update Rate*” (frecuencia de cada actualización).

El período de la señal se determina dividiendo los valores asignados a estas opciones, de la forma:

$$T = \frac{\text{Updates per Chan}}{\text{Update Rate}} \text{ seg}$$

De esta manera, si se desea generar una señal cuadrada con frecuencia de 100 kHz y 5V de amplitud, basta con fijar el valor “*Updates per Chan*” y determinar “*Update Rate*” a partir del período ajustando el valor del voltaje.

$$T=2 \text{ mseg}$$

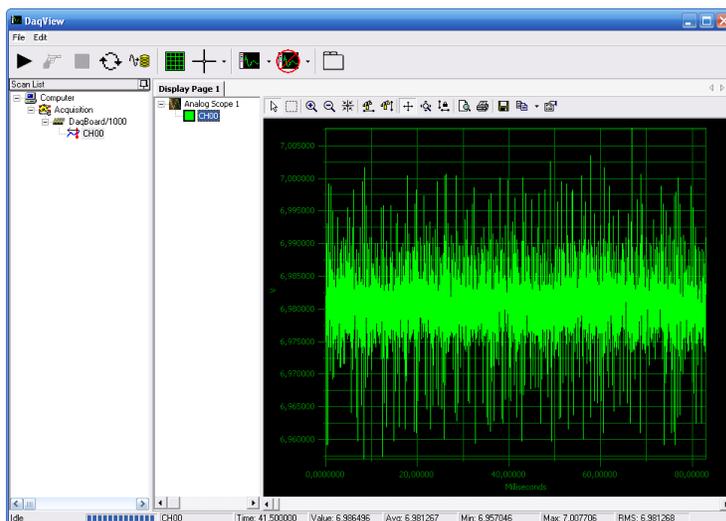
$$\text{Updates per Chan}=200$$

$$\text{Update Rate} = \frac{\text{Update per Chan}}{T} = \frac{200}{2 \text{ mseg}} = 100 \text{ kHz}$$

Anexo 8. Mediciones de prueba de la tarjeta DAQBoard/1000, empleando la interfaz gráfica del Daqview.



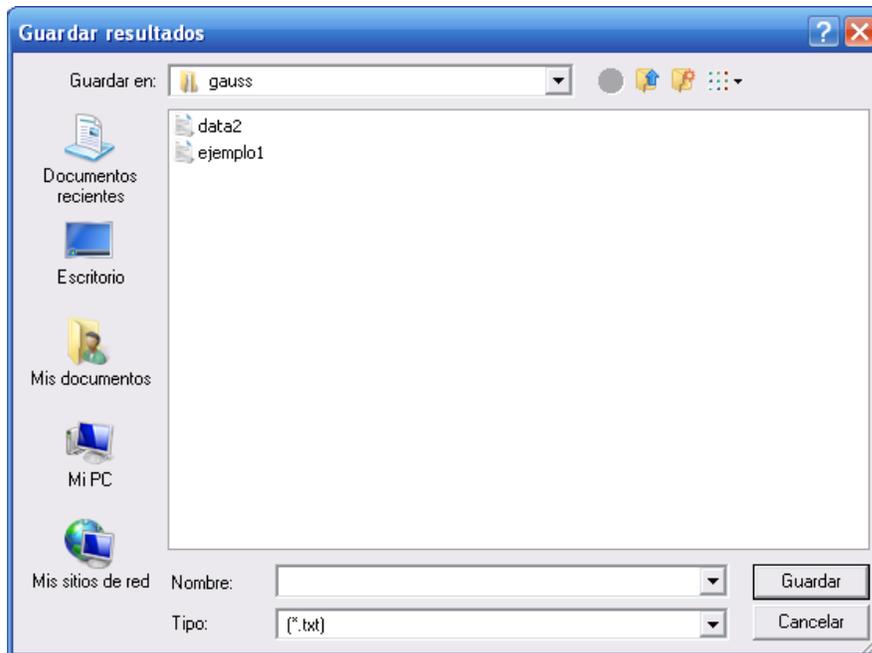
Se realizó la medición trabajando con una señal de CD de 7V por un tiempo de 83 mseg, con una frecuencia de muestreo de 100 escaneos por milisegundo (100 kHz). Inicio inmediato, stop por número de escaneos.



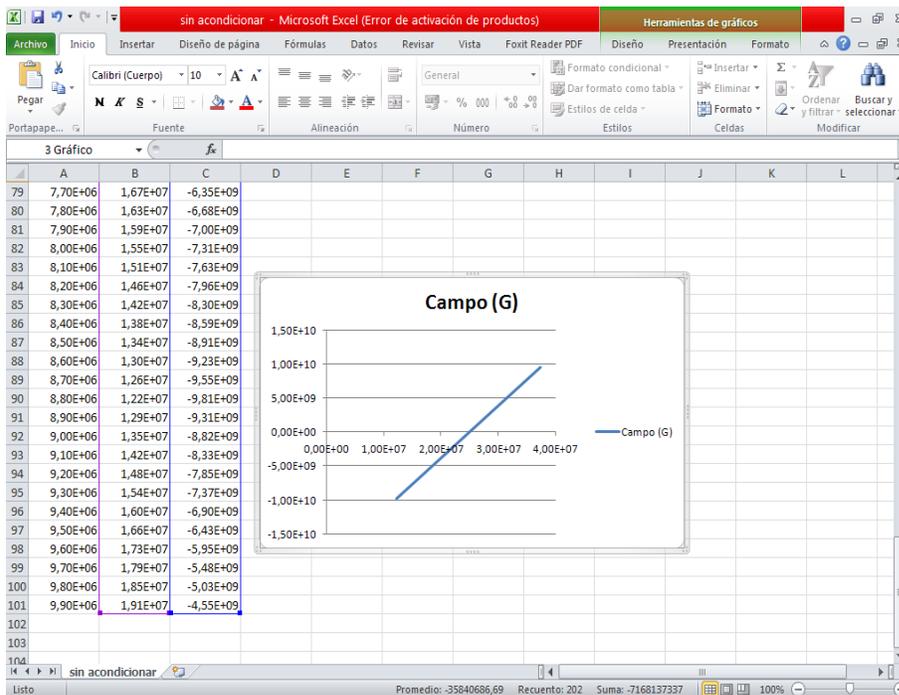
Anexo 9. Programas para guardar resultados (guarda_val.m) y para graficar en una ventana nueva (graf_apart.m).

<pre>% Programa para guardar resultados global t G v format short A(:,1)=t'; A(:,2)=v'; A(:,3)=G'; [file,dir]=uiputfile('*.txt','Guardar resultados'); save([dir file],'A','-ASCII');</pre>	<pre>% Programa para graficar en una ventana nueva clc global t G v % graficando valor figure() plot(v,G,'.-'); grid on xlabel('tensión (V)'); ylabel('Campo (Gauss)'); figure() plot(t,G,'.-r'); grid on xlabel('tiempo (seg)'); ylabel('Campo (Gauss)'); figure() plot(t,v,'.-m'); grid on xlabel('tiempo (seg)'); ylabel('Tensión (V)');</pre>
---	---

Anexo 10. Ventana para guardar resultados. Resultados guardados empleando Excel.



Resultados guardados empleando Excel



Anexo 11. Datos obtenidos de la medición sin acondicionador.

No.	Tiempo	Tensión	Campo	No.	Tiempo	Tensión	Campo
1	0.0000000e+000	2,66E+07	1,22E+09	43	4,20E+05	2,10E+07	-3,05E+09
2	1,00E+04	3,17E+07	5,18E+09	44	4,30E+05	1,75E+07	-5,76E+09
3	2,00E+04	3,56E+07	8,13E+09	45	4,40E+05	1,46E+07	-7,97E+09
4	3,00E+04	3,73E+07	9,49E+09	46	4,50E+05	1,27E+07	-9,49E+09
5	4,00E+04	3,68E+07	9,07E+09	47	4,60E+05	1,19E+07	-1,01E+10
6	5,00E+04	3,48E+07	7,53E+09	48	4,70E+05	1,34E+07	-8,88E+09
7	6,00E+04	3,19E+07	5,31E+09	49	4,80E+05	1,72E+07	-6,03E+09
8	7,00E+04	2,83E+07	2,54E+09	50	4,90E+05	2,22E+07	-2,13E+09
9	8,00E+04	2,43E+07	-5,35E+08	51	5,00E+05	2,78E+07	2,16E+09
10	9,00E+04	2,04E+07	-3,57E+09	52	5,10E+05	3,27E+07	5,93E+09
11	1,00E+05	1,69E+07	-6,20E+09	53	5,20E+05	3,62E+07	8,59E+09
12	1,10E+05	1,42E+07	-8,31E+09	54	5,30E+05	3,74E+07	9,52E+09
13	1,20E+05	1,24E+07	-9,67E+09	55	5,40E+05	3,64E+07	8,80E+09
14	1,30E+05	1,20E+07	-1,00E+10	56	5,50E+05	3,42E+07	7,09E+09
15	1,40E+05	1,40E+07	-8,43E+09	57	5,60E+05	3,11E+07	4,73E+09
16	1,50E+05	1,80E+07	-5,37E+09	58	5,70E+05	2,74E+07	1,85E+09
17	1,60E+05	2,33E+07	-1,34E+09	59	5,80E+05	2,34E+07	-1,27E+09
18	1,70E+05	2,88E+07	2,93E+09	60	5,90E+05	1,95E+07	-4,22E+09
19	1,80E+05	3,35E+07	6,52E+09	61	6,00E+05	1,62E+07	-6,73E+09
20	1,90E+05	3,66E+07	8,92E+09	62	6,10E+05	1,37E+07	-8,71E+09
21	2,00E+05	3,73E+07	9,47E+09	63	6,20E+05	1,22E+07	-9,84E+09
22	2,10E+05	3,61E+07	8,56E+09	64	6,30E+05	1,22E+07	-9,81E+09
23	2,20E+05	3,37E+07	6,69E+09	65	6,40E+05	1,48E+07	-7,85E+09
24	2,30E+05	3,05E+07	4,22E+09	66	6,50E+05	1,91E+07	-4,54E+09
25	2,40E+05	2,67E+07	1,29E+09	67	6,60E+05	2,45E+07	-3,87E+08
26	2,50E+05	2,27E+07	-1,80E+09	68	6,70E+05	3,00E+07	3,81E+09
27	2,60E+05	1,89E+07	-4,72E+09	69	6,80E+05	3,43E+07	7,19E+09
28	2,70E+05	1,57E+07	-7,13E+09	70	6,90E+05	3,70E+07	9,22E+09
29	2,80E+05	1,33E+07	-8,99E+09	71	7,00E+05	3,72E+07	9,36E+09
30	2,90E+05	1,21E+07	-9,94E+09	72	7,10E+05	3,57E+07	8,21E+09
31	3,00E+05	1,25E+07	-9,61E+09	73	7,20E+05	3,30E+07	6,18E+09
32	3,10E+05	1,55E+07	-7,34E+09	74	7,30E+05	2,97E+07	3,61E+09
33	3,20E+05	2,00E+07	-3,83E+09	75	7,40E+05	2,58E+07	6,04E+08
34	3,30E+05	2,55E+07	4,18E+08	76	7,50E+05	2,18E+07	-2,49E+09
35	3,40E+05	3,08E+07	4,49E+09	77	7,60E+05	1,81E+07	-5,29E+09
36	3,50E+05	3,50E+07	7,67E+09	78	7,70E+05	1,51E+07	-7,61E+09
37	3,60E+05	3,72E+07	9,38E+09	79	7,80E+05	1,29E+07	-9,29E+09
38	3,70E+05	3,70E+07	9,23E+09	80	7,90E+05	1,20E+07	-1,00E+10
39	3,80E+05	3,52E+07	7,87E+09	81	8,00E+05	1,30E+07	-9,25E+09
40	3,90E+05	3,25E+07	5,75E+09	82	8,10E+05	1,64E+07	-6,63E+09
41	4,00E+05	2,90E+07	3,06E+09	83	8,20E+05	2,12E+07	-2,93E+09
42	4,10E+05	2,50E+07	1,47E+07				

Anexo 12. Datos obtenidos de la medición con acondicionador.

No.	Tiempo	Tensión	Campo	No.	Tiempo	Tensión	Campo
1	0.0000000e+000	-3,23E+07	-3,23E+09	43	4,20E+05	9,34E+07	9,34E+09
2	1,00E+04	-4,02E+07	-4,02E+09	44	4,30E+05	8,77E+07	8,77E+09
3	2,00E+04	-4,00E+07	-4,00E+09	45	4,40E+05	7,52E+07	7,52E+09
4	3,00E+04	-2,63E+07	-2,63E+09	46	4,50E+05	5,84E+07	5,84E+09
5	4,00E+04	-3,51E+06	-3,51E+08	47	4,60E+05	3,83E+07	3,83E+09
6	5,00E+04	2,52E+07	2,52E+09	48	4,70E+05	1,70E+07	1,70E+09
7	6,00E+04	5,43E+07	5,43E+09	49	4,80E+05	-3,30E+06	-3,30E+08
8	7,00E+04	7,74E+07	7,74E+09	50	4,90E+05	-2,03E+07	-2,03E+09
9	8,00E+04	9,15E+07	9,15E+09	51	5,00E+05	-3,34E+07	-3,34E+09
10	9,00E+04	9,26E+07	9,26E+09	52	5,10E+05	-4,05E+07	-4,05E+09
11	1,00E+05	8,49E+07	8,49E+09	53	5,20E+05	-3,92E+07	-3,92E+09
12	1,10E+05	7,11E+07	7,11E+09	54	5,30E+05	-2,44E+07	-2,44E+09
13	1,20E+05	5,35E+07	5,35E+09	55	5,40E+05	-8,76E+05	-8,76E+07
14	1,30E+05	3,27E+07	3,27E+09	56	5,50E+05	2,82E+07	2,82E+09
15	1,40E+05	1,14E+07	1,14E+09	57	5,60E+05	5,69E+07	5,69E+09
16	1,50E+05	-8,11E+06	-8,11E+08	58	5,70E+05	7,93E+07	7,93E+09
17	1,60E+05	-2,41E+07	-2,41E+09	59	5,80E+05	9,21E+07	9,21E+09
18	1,70E+05	-3,59E+07	-3,59E+09	60	5,90E+05	9,22E+07	9,22E+09
19	1,80E+05	-4,13E+07	-4,13E+09	61	6,00E+05	8,36E+07	8,36E+09
20	1,90E+05	-3,66E+07	-3,66E+09	62	6,10E+05	6,94E+07	6,94E+09
21	2,00E+05	-1,89E+07	-1,89E+09	63	6,20E+05	5,12E+07	5,12E+09
22	2,10E+05	6,46E+06	6,46E+08	64	6,30E+05	3,03E+07	3,03E+09
23	2,20E+05	3,61E+07	3,61E+09	65	6,40E+05	9,07E+06	9,07E+08
24	2,30E+05	6,36E+07	6,36E+09	66	6,50E+05	-1,01E+07	-1,01E+09
25	2,40E+05	8,39E+07	8,39E+09	67	6,60E+05	-2,57E+07	-2,57E+09
26	2,50E+05	9,34E+07	9,34E+09	68	6,70E+05	-3,69E+07	-3,69E+09
27	2,60E+05	9,06E+07	9,06E+09	69	6,80E+05	-4,14E+07	-4,14E+09
28	2,70E+05	8,03E+07	8,03E+09	70	6,90E+05	-3,51E+07	-3,51E+09
29	2,80E+05	6,50E+07	6,50E+09	71	7,00E+05	-1,62E+07	-1,62E+09
30	2,90E+05	4,59E+07	4,59E+09	72	7,10E+05	9,87E+06	9,87E+08
31	3,00E+05	2,47E+07	2,47E+09	73	7,20E+05	3,95E+07	3,95E+09
32	3,10E+05	3,83E+06	3,83E+08	74	7,30E+05	6,63E+07	6,63E+09
33	3,20E+05	-1,45E+07	-1,45E+09	75	7,40E+05	8,57E+07	8,57E+09
34	3,30E+05	-2,91E+07	-2,91E+09	76	7,50E+05	9,36E+07	9,36E+09
35	3,40E+05	-3,87E+07	-3,87E+09	77	7,60E+05	8,98E+07	8,98E+09
36	3,50E+05	-4,13E+07	-4,13E+09	78	7,70E+05	7,89E+07	7,89E+09
37	3,60E+05	-3,12E+07	-3,12E+09	79	7,80E+05	6,31E+07	6,31E+09
38	3,70E+05	-1,02E+07	-1,02E+09	80	7,90E+05	4,38E+07	4,38E+09
39	3,80E+05	1,74E+07	1,74E+09	81	8,00E+05	2,25E+07	2,25E+09
40	3,90E+05	4,69E+07	4,69E+09	82	8,10E+05	1,68E+06	1,68E+08
41	4,00E+05	7,20E+07	7,20E+09	83	8,20E+05	-1,63E+07	-1,63E+09
42	4,10E+05	8,90E+07	8,90E+09				