

## **Diseño de un sistema de adquisición simple para ser usado como herramienta en trabajos de laboratorio.**

Marcos Mineo.  
Jaime Toledo.  
Cristian Dorbesi.  
José Calderón.  
Diego Alustiza.  
Lic. Nieves Baade.

UID IMApEC, Facultad de Ingeniería. UNLP.  
Calle 1 esquina 47, La Plata, Provincia de Buenos Aires.  
[imapec@unlp.edu.ar](mailto:imapec@unlp.edu.ar); [diegoalustiza@yahoo.com.ar](mailto:diegoalustiza@yahoo.com.ar)

Palabras claves: informática educativa.

### **Resumen.**

Este escrito presenta el trabajo realizado por un grupo de cuatro estudiantes de la carrera Ingeniería Electrónica de la UNLP, que consiste en el desarrollo de los elementos necesarios para conformar un kit de medición, destinado a ser usado como herramienta en los trabajos de laboratorio de las cátedras de física. El mismo está formado por dos partes, a saber el hardware y el software. También se presenta la implementación del mismo, en el marco de un ámbito educativo y a modo de ejemplo, para la obtención experimental de la curva del campo magnético en el eje de un solenoide por el que circula corriente, a fin de ser comparada con la obtenida mediante el modelo teórico observando así el rango de validez de este último.

### **Abstract.**

This paper presents the work performed by a four members team conformed for electronic engineering students of UNLP. It consists in the development of the necessary elements for a measurement kit that will be able to use like tool in the laboratory works of the physics class. Also, this paper presents the implementation of the kit, in the frame of an educative utilization and like an example, for obtaining the experimental curve of a magnetic field along the axe of a solenoid in which an electric current is circulating, in order to be compared with theoretical model curve to observe the validity range of it.

## **Introducción.**

Es ampliamente conocida la capacidad de procesamiento que brindan las computadoras. Dado un conjunto de datos pueden efectuarse procesos tales como el trazado de gráficos y cálculos estadísticos que brinden información valiosa acerca de los mismos. Los datos obtenidos experimentalmente a partir de una medición se prestan en forma especial a dichos tratamientos, por ejemplo por las incertidumbres que involucra todo procedimiento de medida. Puede entonces pensarse en un bloque dentro del sistema de medición que, comunicado con el dispositivo sensible a la magnitud medida, proporcione directamente información de esta última a una computadora para su posterior procesamiento. Desde el punto de vista didáctico es de destacar que no sólo es ventajoso para el alumno acceder a la visualización del tratamiento que la computadora pueda realizar sobre el conjunto de datos, sino también que se lo inicia en el uso de una metodología de trabajo que será la que utilizará en su desempeño profesional. Se busca así reforzar el aprendizaje y la adquisición de actitudes procedimentales que contribuyan a su formación integral como ingenieros.

Existen numerosas empresas que ofrecen productos que brindan dichas posibilidades para ser aplicados en el aula, pero no siempre se cuenta con los recursos económicos para acceder a los mismos (es también conocido su alto costo).

El motivo que dio origen a este trabajo fue la intención de realizar un sistema de adquisición de datos prototipo para que sea usado en educación y que sea simple en el sentido que sin perder generalidad de aplicación, sea accesible en cuanto a costo.

## **Nexo con la investigación.**

La UID IMApEC del departamento de Fisicomatemáticas de la Facultad de Ingeniería de La Plata lleva adelante un proyecto de investigación educativa que tiene como objetivo la optimización del proceso enseñanza-aprendizaje. Las cátedras de física de nuestra Facultad son el ámbito natural para el desarrollo de estas investigaciones; en ellas se detectan los problemas de aprendizaje que conducen a la revisión del proceso de enseñanza de la currícula y de las metodologías a aplicar.

La idea de incorporar adquisición de datos en los trabajos de laboratorio forma parte de una serie de cambios que están siendo desarrollados y evaluados desde el punto de vista didáctico. El

cuerpo docente de IMApEC está estudiando sus ventajas y sus desventajas observando las distintas formas de implementación de estas técnicas modernas.

Surgió entonces la necesidad de contar con un sistema de adquisición de datos que siendo simple, sea versátil en cuanto a su uso para implementar diferentes técnicas de enseñanza bajo observación.

Simultáneamente en la cátedra de Física II (electromagnetismo) se aplican las innovaciones curriculares y metodológicas realizando experiencias piloto que acerquen al alumno a las investigaciones realizadas.

En este caso fue posible la intervención de cuatro estudiantes que se interiorizaron del proyecto por iniciativa propia. Pudo verificarse así la importancia de la extensión de las actividades de investigación dentro del aula como generador de intereses en los alumnos dispuestos a ayudar y a aportar con gran motivación al crecimiento y modernización de las técnicas didácticas implementadas en las cátedras de física de la Facultad de Ingeniería de la UNLP.

Es de destacar la importancia que reside en el hecho de que alumnos colaboren en las actividades de investigación mayormente cuando están realizando actividades a su vez como Ayudantes en las materias de Física. Ellos ofrecen sus puntos de vista de la problemática educativa que conforma sus propias realidades como estudiantes. En este proyecto se proporcionó intervención directa a los estudiantes del grupo de trabajo para diseñar la presentación didáctica del uso de la interfaz, proyectando de este modo sus propuestas de cómo ellos creen que podrían aprender mejor a través de diferentes recursos de enseñanza aplicados.

## **Formación y organización del grupo de trabajo.**

La UID IMApEC fue el ambiente donde se desarrolló el trabajo bajo la autorización de su coordinadora, la Lic. Nieves Baade. Cuatro estudiantes de segundo año de la carrera Ingeniería Electrónica ofrecieron su tiempo y su esfuerzo para tratar de cumplir la intención mencionada bajo la coordinación del becario de la unidad, también estudiante de Ingeniería Electrónica. Estos estudiantes habiendo aprobado la materia Física II se mostraron interesados en colaborar con la cátedra, que brindó el tema en el cual se aplicaría inicialmente el sistema de adquisición.

El desarrollo del kit se efectuó de la siguiente manera:

- ♣ El diseño y construcción de la interfaz y periféricos electrónicos, a cargo de Jaime Toledo, Cristian Dorbesi y Marcos Mineo.

- ♣ El diseño y realización del software de soporte de la interfaz, a cargo de José Calderón.

La tarea de revisión técnica fue aceptada por el Ingeniero Alberto Isidori y la tarea de revisión de la aplicación didáctica fue aceptada por la Licenciada Nieves Baade.

Cabe aclarar que toda decisión tomada respecto del diseño de ambos bloques fue condicionada por el marco dentro del cual se aplicaría el sistema: educación.

## **Descripción general del sistema.**

La idea inicial de la tarea fue la de construir una interfaz multipropósito, es decir versátil en cuanto al uso de distintos detectores que midan diferentes magnitudes físicas. Sin perder generalidad en cuanto a la arquitectura electrónica de la misma, se describirá a continuación un sistema de adquisición que cuenta con la interfaz diseñada pero aplicada en concreto a una experiencia de medida en particular. Se ejemplificará el uso de la interfaz a través de la descripción del sistema de medida (kit de medición) necesario para el registro de la curva de campo magnético versus posición, en el eje de un solenoide por el que circula corriente eléctrica.

El sistema consta de las siguientes partes:

1. Un elemento sensible al campo B (detector Hall): realiza la transducción de la magnitud que quiere medirse (campo B) a una magnitud de fácil tratamiento (tensión eléctrica).
2. Un elemento de cálculo y visualización de resultados (PC): procesa los datos brindados por el detector proporcionando la visualización de las medidas realizadas en formato numérico y gráfico.
3. Un circuito de acoplamiento entre el detector y la PC (interfaz): realiza la adaptación eléctrica necesaria para que la información suministrada por el detector sea "interpretada" por la PC. Esta última debe contar con el software necesario para la lectura del puerto por el cual ingresa la información entregada por la interfaz. Cabe aclarar que este software forma parte del kit en sentido estricto.
4. Un controlador de posición del detector (motor): proporciona uniformidad al movimiento (velocidad constante) del detector respecto del solenoide dentro del cual se introduce.

La Figura 1 muestra un diagrama en bloques elemental del sistema de medida y de control de posición del detector dentro del solenoide.

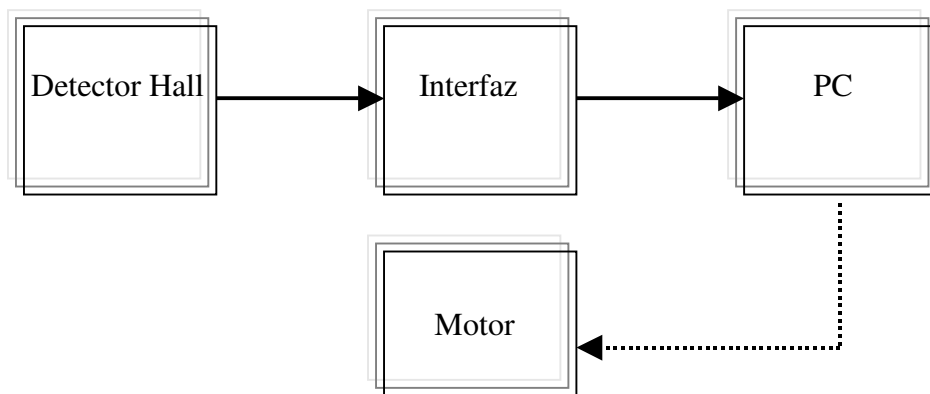


Figura 1.

Las flechas de cuerpo continuo indican cómo es el flujo de información, representando en el sistema real a señales eléctricas analógicas (en la entrada del bloque "Interfaz") y digitales (a la salida del mismo). La flecha de cuerpo punteado indica el flujo de órdenes o indicaciones que controlan al motor y que representan, en el sistema real, señales de control proporcionadas por la PC.

El detector suministra una señal de tensión analógica diferencial que es proporcional al valor de campo magnético dentro del cual está inmerso.

Esta señal es llevada a la interfaz, circuito electrónico que la prepara para que la PC la procese. La preparación de señal consta de dos acciones sobre la misma, a saber, el acondicionamiento en nivel y la conversión a dígitos binarios de su magnitud. El acondicionamiento consiste en la transformación del rango en que varía la tensión en la salida del detector, al rango necesario para que la señal pueda ser tratada por el dispositivo de conversión analógica a digital (A/D). Luego, la conversión consiste en la transformación de la señal analógica, que puede variar su magnitud en forma continua, a una señal digital formada por un conjunto de 8 señales binarias que representan una codificación de la misma.

La señal digital proporcionada por el conversor es llevada a la PC vía puerto paralelo mediante una cinta (cable plano) que consta de un conjunto de 8 líneas ("bus" o canal paralelo), una por cada señal digital dada por el conversor A/D.

La PC realiza las operaciones necesarias (aplicación del factor de escala, por ejemplo) para exhibir el resultado de la medición de campo B a lo largo del eje del solenoide en las unidades de medida correspondientes, posibilitando también el tratamiento gráfico de la serie de datos adquiridos.

Por último, el bloque "motor" está comandado por la PC. La esencia de tal implementación es proporcionar un movimiento al detector que sea "controlado" en cuanto a velocidad. Es decir, la PC adquirirá una muestra cada un determinado lapso de tiempo que es constante (durante un dado proceso de adquisición). Como el objetivo es medir el campo  $B$  a lo largo del eje del solenoide, el detector debe moverse por el mismo posicionando su parte sensible de extremo a extremo. Para lograr una lectura a intervalos regulares de distancia, la velocidad con la que se realice el desplazamiento relativo del detector respecto al solenoide debe ser constante. En un dado momento la PC ordena al motor (mediante un circuito de acoplamiento no mostrado en el esquema de la Figura 1) comenzar la carrera del detector dentro del eje del solenoide, sincronizando esta acción con el comienzo del proceso de muestreo del puerto paralelo. Cuando el detector llega al final de la carrera especificada, la PC debe terminar el proceso de adquisición.

### **Aplicación didáctica: Medición de campo $B$ .**

El objetivo de la implementación de la interfaz diseñada fue realizar un trabajo de laboratorio para la cátedra de Física II que implemente la medición del campo magnético generado en el interior de un solenoide por el que circula una corriente, mediante la utilización de un elemento transductor (detector Hall) y un elemento de cálculo y representación visual (PC junto con el software necesario).

En el monitor de la PC se observará una curva que muestre la magnitud de campo magnético como función de la posición sobre el eje del solenoide. Las representaciones gráficas y las distintas formas de visualización, ayudan a mejorar la conceptualización y asimilación de los temas a enseñar a los alumnos.

La finalidad del trabajo de laboratorio presentado es que los alumnos comparen la curva obtenida, mediante la medición, con la que surge del análisis del modelo presentado en la teoría de la materia. De este modo, ellos pueden analizar el rango de validez del modelo a partir del cual se obtiene la expresión:

$$B = \mu_0 n I$$

Es decir, los alumnos pueden verificar cuáles puntos sobre el eje del solenoide cumplen con el valor de campo  $B$  predicho por la expresión anterior y cuáles no.

Desde el punto de vista didáctico se buscará:

- Que el alumno compare los resultados experimentales con los que se obtienen a través del modelo para determinar el rango de validez del mismo.
- Que el alumno adquiera una noción básica de un sistema elemental de medida (cada bloque funcional del mismo) mediante el uso de un transductor y una estructura de adquisición de datos.
- Que el alumno adquiera una experiencia primaria en el procedimiento que debe ejecutarse para la realización de una medida usando un transductor.

## **Incertidumbre en la medición de campo B y tratamiento de errores.**

La arquitectura de la interfaz es clásica y responde al diseño típico usado en la conexión de cualquier detector de salida analógica a una PC.

El circuito cuenta con la posibilidad de desafectar a la magnitud medida del corrimiento de "offset"<sup>1</sup> de los amplificadores de entrada y acondicionamiento mediante una rama potenciométrica que varía la tensión de referencia del conversor A/D utilizado.

El circuito no desafecta a la medida del error de alinealidad de los amplificadores operacionales<sup>2</sup> que se produce cuando en el terminal de entrada existe una tensión cercana a cualquiera de las tensiones de alimentación del mismo (en el caso de la interfaz diseñada: +5V y tierra). Dado que la medición que realizará el sistema es significativa para valores de campo magnético no nulos, no se justifica la implementación de un bloque de circuito que corrija este error<sup>3</sup>.

El rango de medición del sistema es de 0 mT a 22.8 mT. Esto se traduce (función del detector Hall) a una tensión de 0 mV a 160 mV.

La interfaz cuenta con dos escalas para aprovechar mejor el rango dinámico del conversor A/D. Para el relevo de valores de campo mayores a 11.4 mT (y obviamente menores a 22.8 mT)

---

<sup>1</sup> Tensión presente en la terminal de salida del amplificador operacional que no se corresponde con la tensión presente en la terminal de entrada. Es un corrimiento de tensión de magnitud constante.

<sup>2</sup> Dispositivos integrados que tienen características necesarias para la implementación de una gran variedad de circuitos de tratamiento de señales analógicas. También se los nombra mediante la sigla OA.

<sup>3</sup> Una forma de corrección sería alimentar a los amplificadores operacionales con tensiones distintas a las usadas (no usar tierra sino -5 V) llevando el punto de cruce por cero al centro del rango dinámico del amplificador y consecuentemente alejándolo del extremo inferior del mismo y no afectando a la medida del valor nulo por la alinealidad del dispositivo. Si bien la corrección es simple, la implementación es cara debido a la necesidad de usar una fuente partida que proporcione la tensión negativa de alimentación del amplificador operacional.

debe usarse la escala 1 calculada para tal fin. Luego para valores de campo menores a 11.4 mT debe usarse la escala 2. Para el caso de la escala 1, 22.8 mT son convertidos a 160 mV aproximadamente (mediante el detector Hall) que luego, la etapa de acondicionamiento los convierte a 5 V. Para la escala 2, 11.4 mT son convertidos a 80 mV que luego son acondicionados a 5 V.

Dado que el conversor puede distinguir entre valores de tensión con un paso de 20 mV, se obtiene que éste resuelve tensiones en la entrada de la interfaz de aproximadamente (en exceso) 0.63 mV que se traduce en 0.1 mT usando la escala 1. Por lo tanto, despreciando las demás fuentes de error, puede considerarse a este valor como la incertidumbre de la medición de campo magnético teniendo en mente que el campo toma valores comprendidos en el intervalo 11.4 mT a 22.8 mT.

$$B_{real} = B_{medido} \pm |0.1mT| \quad (1)$$

El error relativo toma valores dentro del intervalo 0.4% y 0.9%.

Para el caso de emplearse la escala 2, el conversor puede resolver a la entrada de la interfaz una tensión de 0.32 mV que equivalen a 0.046 mT aproximadamente (en exceso). Luego, para una incursión de señal que varía en el intervalo de 0 mT a 11.4 mT, la expresión de campo magnético esta dada por:

$$B_{real} = B_{medido} \pm |0.046mT| \quad (2)$$

El error relativo cometido usando esta escala es de 0.4% para el fondo de la escala (11.4 mT) y crece a medida que el valor de campo medido se aproxima a 0 mT (al acercarse a este extremo el valor del error relativo crece indefinidamente).

Debe enfatizarse que la aproximación del error absoluto cometido en la medida se realizó teniendo en cuenta el error de cuantificación dado por el proceso de conversión A/D y despreciando las demás fuentes de error. Por ejemplo, la ecuación (2) deja de tener validez cuando quiere evaluarse un campo magnético de magnitud cercana a 0.0 mT, por la aparición del error producido por la alinealidad de los amplificadores operacionales de la interfaz. De todos modos dicho error es pequeño frente al producido por el proceso de conversión (normalmente llamado error de cuantificación).

Todos estas observaciones son tenidas en cuenta al momento de la preparación del trabajo de laboratorio que los alumnos deben realizar usando la interfaz como herramienta.



## **Conclusiones.**

Se considera positiva la participación de estudiantes en toda actividad que tienda a mejorar tanto las condiciones, como a los métodos y herramientas de enseñanza.

Pudo verificarse que con pocos recursos se han obtenido resultados observables en la implementación de sistemas relativamente modernos como instrumentos de uso instructivo en el aula.

Actualmente el mismo grupo de alumnos sigue trabajando en el kit de medición para mejorar sus características en cuanto al emplazamiento mecánico del detector y la interfaz visual del software, motivados por los logros alcanzados.