

EXPERIMENTO REMOTO: campo magnético de un solenoide

Departamento de Física
Facultad de Ingeniería Química
Universidad Nacional del Litoral – Santa Fe - Argentina

El sistema físico consiste en un solenoide cuyas dimensiones no responden al tipo "ideal", y un par de sensores de efecto Hall con los cuales se pueden medir dos componentes del campo magnético (B_z y B_R). El punto de medición se puede desplazar a distintas posiciones, tanto dentro como afuera del solenoide. En el lugar se encuentra instalada una cámara IP que permite al usuario observar el funcionamiento del sistema.

En la figura 1 se presenta una foto del dispositivo. La varilla horizontal que se observa tiene los sensores montados en su extremo derecho, estando ubicados en la situación indicada como para medir el campo magnético en la parte externa del eje del solenoide. La varilla está sujeta a un carrito que puede desplazarse en forma transversal, mediante una correa dentada accionada por un motor paso a paso. El carrito a su vez está instalado sobre otro de mayores dimensiones que tiene un movimiento axial, mediante una varilla roscada que se comanda con otro motor del mismo tipo.

El software ha sido desarrollado combinando un applet Java con una aplicación en lenguaje Delphi, lo cual permite comandar el sistema, de manera tal que cuando recibe un pedido los dos carritos realizan los movimientos correspondientes llevando los sensores a las coordenadas del punto seleccionado, se realizan las mediciones de las dos componentes del campo y se envían los datos al usuario. La corriente que circula por el solenoide se conecta y desconecta automáticamente en el momento de realizar las mediciones. El valor del campo magnético es obtenido mediante la diferencia del valor leído con corriente y el valor sin corriente, procedimiento que se utiliza para compensar el campo magnético terrestre o cualquier otro campo extraño a la bobina que pudiera existir. Además, para reducir los errores casuales, cada dato es obtenido promediando diez lecturas de la misma magnitud.



FIGURA 1: Foto del Experimento remoto

Datos del solenoide:

Longitud: $l = 60$ cm

Diámetro medio de las espiras: $D = 16$ cm

Número total de espiras: $N = 2052$ (bobinadas en tres capas superpuestas)

Coefficiente de autoinducción $L = 136$ mH

Resistencia: $R = 30 \Omega$

Intensidad de corriente: $I = 1,67$ A

Requisitos para el acceso al experimento remoto

Para utilizar el experimento remoto debes previamente solicitar una clave de acceso, comunicándote con el responsable del laboratorio:

Pablo Lucero: plucero@fiq.unl.edu.ar

El sistema funciona bien desde los servidores comerciales y desde las redes académicas de universidades u otros institutos. En estos casos se requiere que las mismas tengan abiertos algunos puertos que muchas veces se suelen cerrar por razones de seguridad informática, cuestión que se puede solicitar al administrador de la red local. Para este y otros experimentos del laboratorio remoto, se requiere abrir los puertos 8084, 8085, 4798, 81, 82, 83.

La computadora que se va a utilizar requiere tener instalado el plugin de Java, del mismo modo que para abrir otros applet. El acceso al mismo es gratuito y de instalación muy sencilla. En la página Web del laboratorio hay un link para bajarlo.

Para ingresar al laboratorio remoto conviene utilizar el navegador *Internet Explorer*, ya que solo desde el mismo se puede acceder a la cámara de video instalada. Se ingresa a través de la página web del Grupo Galileo (<http://www.fiq.unl.edu.ar/galileo/>). Ahí se encuentra el título "Acceso al laboratorio remoto del Grupo Galileo", se escoge la opción que corresponda a través de uno de los botones que están debajo del mismo, y se ingresa. Luego se puede realizar lo siguiente:

- Ver un pequeño video que explica cómo funcionan en general los laboratorios remotos
- Acceder a uno de los tres experimentos disponibles (en este caso al "Campo magnético en un solenoide")
- Instalar el programa Java, indispensable para que funciones las experiencias remotas. Hay un link en la palabra "aquí", lo cual permite bajar en forma gratuita el software (caso de Windows XP) `jxpiinstall.exe`. Luego se ejecuta y queda instalado.

Uso del experimento remoto

Al acceder al experimento, se abre el formulario indicado en la figura 2, en el cual el usuario ingresa sus códigos de usuario y contraseña y solicita acceso. Logrado el mismo se pueden realizar mediciones, para lo cual hay disponibles tres opciones: "Medición local", "Medición a Z constante" y "Medición a R

constante". Se trata de las coordenadas cilíndricas, en centímetros, tomando como origen el centro del solenoide por razones de simetría.

La primera opción realiza una medición (dos componentes: B_z y B_r) en un punto del que puede definir sus coordenadas. El resultado aparece en la grilla de la esquina derecha superior. Si se hace otra medición local, los nuevos valores se acumularán en otra fila de la grilla.

La segunda alternativa realiza una colección de mediciones en una cierta posición longitudinal del solenoide (z constante), para distintos valores de R . El espaciado entre mediciones se puede escoger entre 1 cm y 5 cm. Esta opción solo funciona para la zona externa del solenoide, y es la que aparece representada como ejemplo en la figura 2. Cada colección de estos valores se escribe en una nueva solapa de la grilla, de modo que no se pierden los datos antes hallados. En la zona de la derecha y abajo se dibujan los vectores representativos del campo magnético en cada punto.

La tercera opción realiza una colección de mediciones en una cierta posición radial del solenoide (R constante), para distintos valores de Z (línea paralela al eje). El espaciado entre mediciones se puede escoger igualmente entre 1 cm y 5 cm.

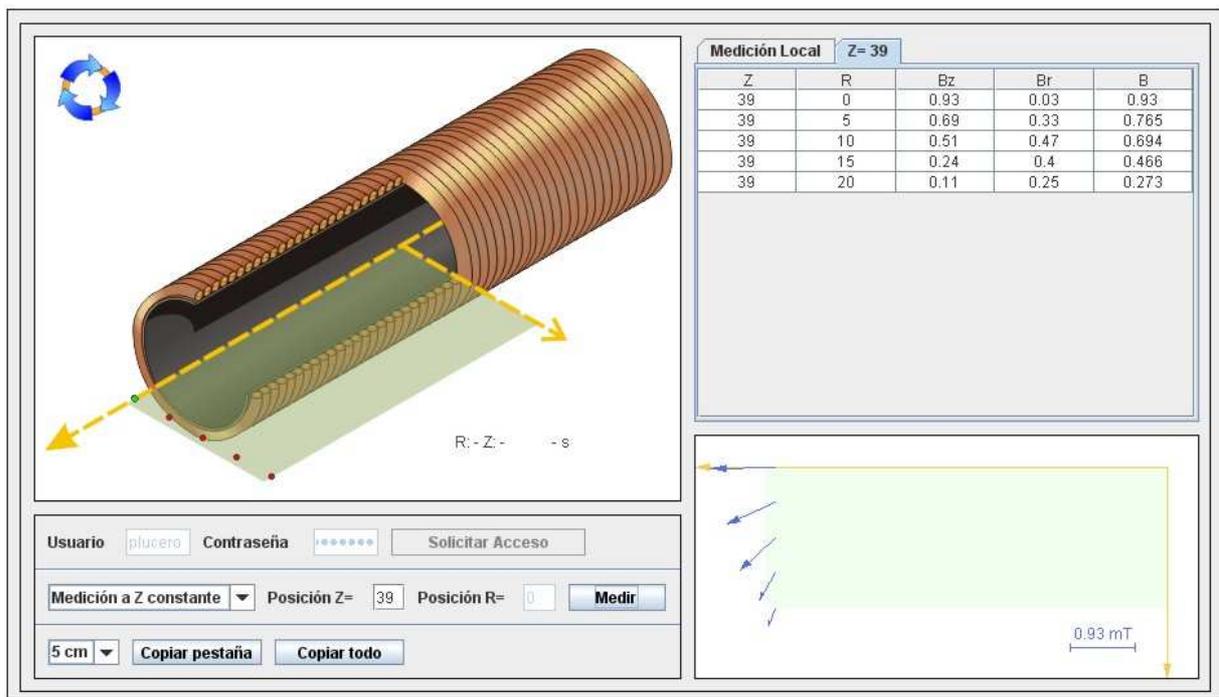


FIGURA 2: pantalla de usuario, luego de medir en los puntos en rojo

Se puede observar que para $R = 0$ el sistema indica una componente radial de campo magnético distinta de cero, lo cual puede interpretarse como un hecho contradictorio con la simetría del sistema. Esa es la diferencia entre un modelo ideal y un sistema real, en el que los sensores pueden no estar perfectamente alineados o no centrados. Incluso con un instrumento de medición que podría captar ruido eléctrico. Aspectos experimentales que son de importancia para el análisis que realizan los alumnos.

En la figura 3 se puede observar el resultado de un experimento realizado con R constante ($R = 0$), midiéndose valores de campo magnético a lo largo del eje del solenoide, con intervalos de 5 cm.

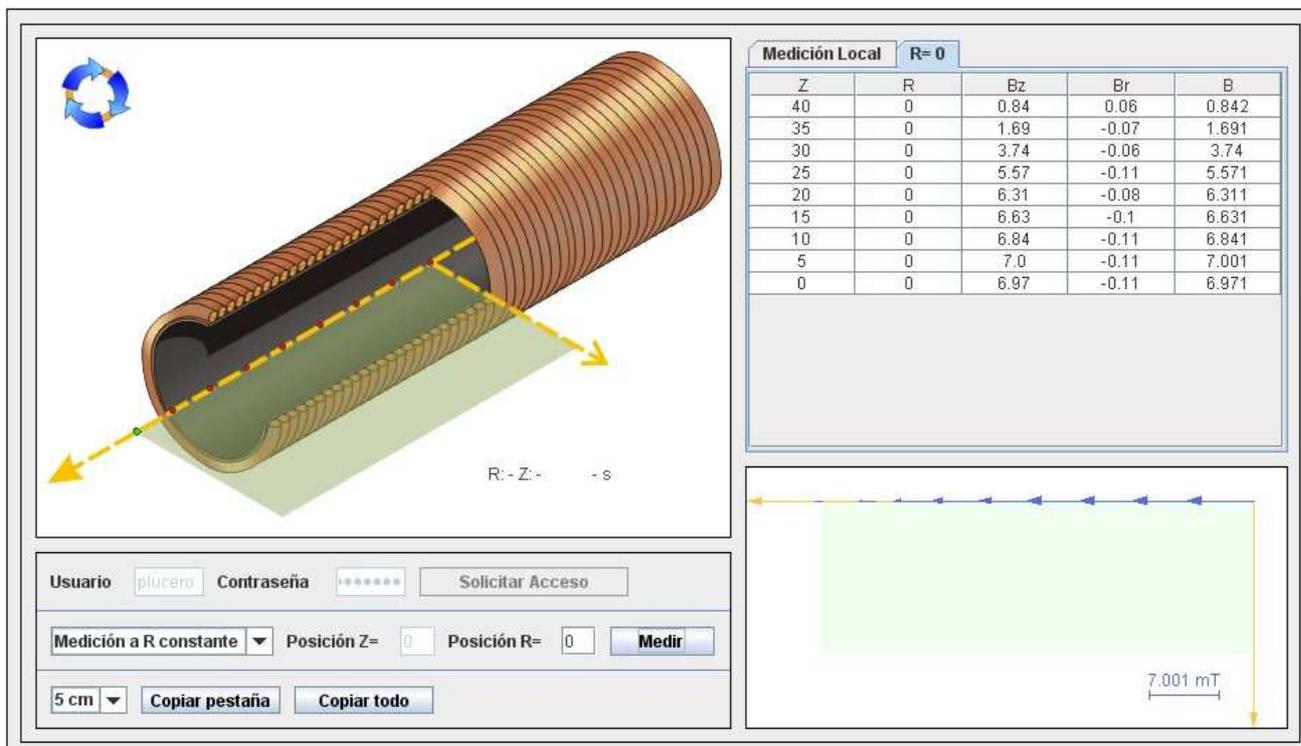


Figura 3: mediciones a R constante

En el esquema de la figura 4 se indica la zona permitida para medir. En gris la zona no habilitada por estar las espiras del solenoide.

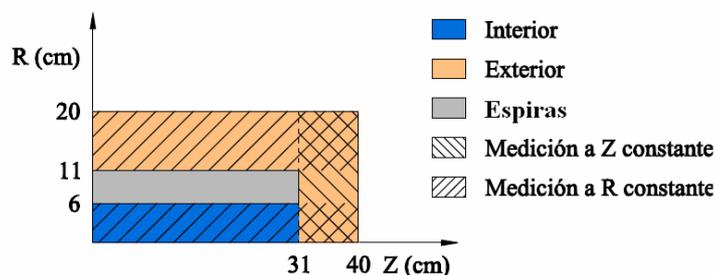


FIGURA 4: zonas permitidas para medición del campo magnético

SIMULADOR DEL SISTEMA FÍSICO

Se trata de uno de los desarrollos realizados por el grupo. Para obtener la simulación, se accede a la página del Grupo Galileo, tal como se indicó más arriba. Se ingresa a la parte de Software y se baja el archivo correspondiente a "Solenoides". Es un archivo comprimido del que se puede extraer un ejecutable. Este archivo se puede ubicar en el escritorio o en cualquier carpeta y generar un acceso directo.

El manejo del mismo es muy sencillo y no requiere de mayores explicaciones, pudiendo observarse la interfaz de usuario en la figura 5.

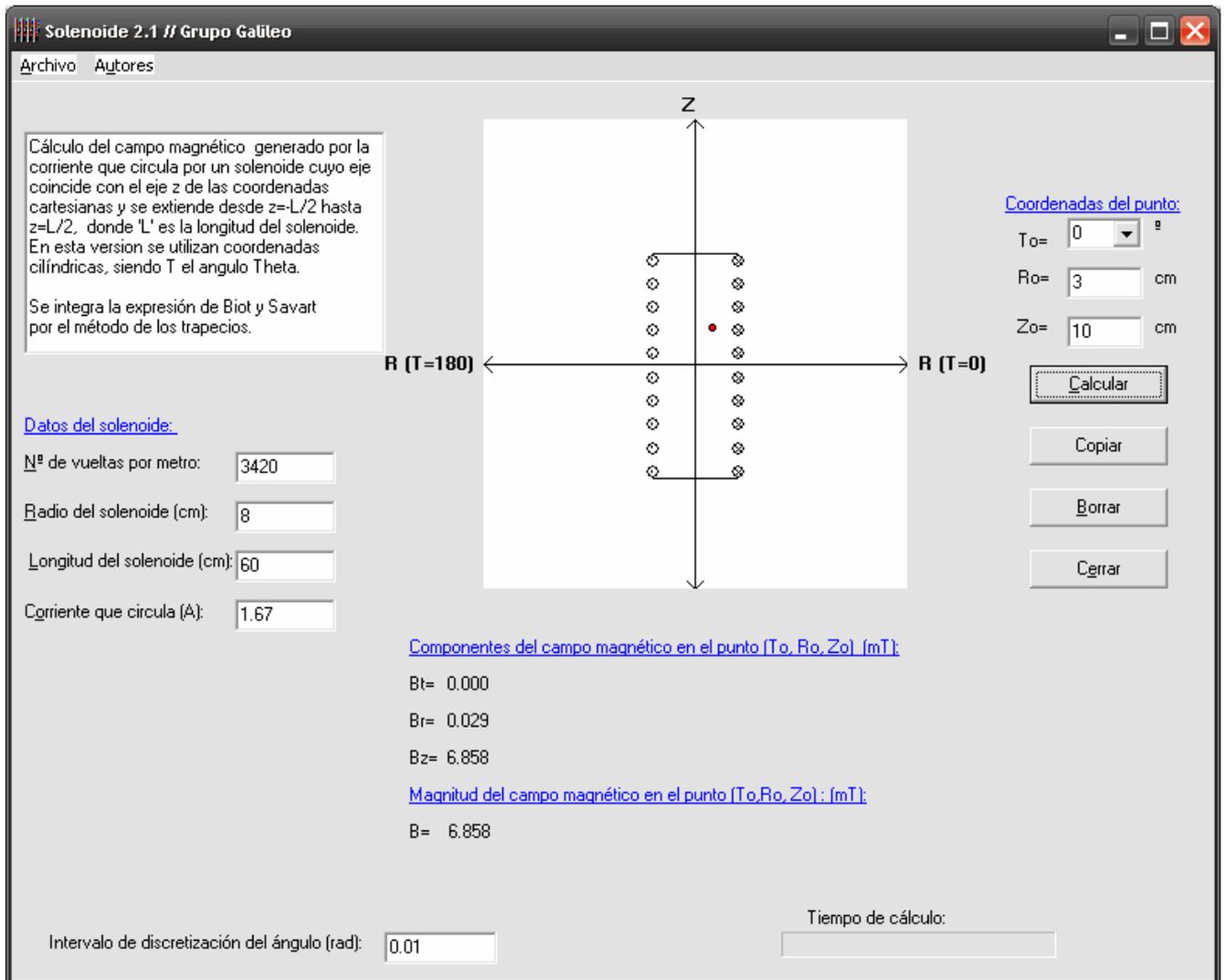


Figura 5: Simulación de un solenoide. Cálculo por Biot y Savart

Fundamento del cálculo que realiza el simulador

Utiliza la Ley de Biot y Savart. Con la misma se calcula el campo magnético de un conductor filiforme que lleva una corriente de intensidad I , a partir de las contribuciones de cada elemento de corriente:

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{d\vec{l} \times \vec{r}}{r^3} \quad (2)$$

A partir de la (2) se puede obtener el campo magnético por integración de cada una de sus tres componentes.

El solenoide se considera formado por un conductor filiforme enrollado en forma de hélice. Llamamos R al radio de la misma y p a su "paso" o distancia entre dos espiras consecutivas. P_0 es el punto en el que calcularemos el campo magnético, y P es el punto de posición variable en la integral curvilínea.

$$dB_x = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{\left[(R \cos \phi) \left(z_0 - \frac{p}{2\pi} \phi \right) - \frac{p}{2\pi} (y_0 - R \sin \phi) \right]}{\left[(x_0 - R \cos \phi)^2 + (y_0 - R \sin \phi)^2 + \left(z_0 - \frac{p}{2\pi} \phi \right)^2 \right]^{\frac{3}{2}}} d\phi \quad (3)$$

Observando la (3), se ve que contiene una serie de constantes y parámetros, y una sola variable (ϕ). De modo que puede expresarse como:

$$dB_x = F(\phi)d\phi \quad (4)$$

El valor de esta componente del campo magnético puede obtenerse integrando la expresión (4), tal como se expresa en la (5), en la cual ϕ_{max} es el ángulo total de las n vueltas de alambre del solenoide.

$$B_x = \int_0^{\phi_{max}} F(\phi) d\phi \quad (5)$$

Esta integral no admite solución analítica, de modo que hay que recurrir a una solución numérica. En este caso la calculamos por el método de los trapecios, estableciendo intervalos $\Delta\phi$ muy pequeños. En el software utilizado se permite variar este valor para cambiar la precisión del método.

De manera similar se pueden obtener las otras componentes del campo (B_y y B_z). Finalmente se realiza un cambio a coordenadas cilíndricas, en función de la simetría del sistema.

GUÍA DE ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE SUGERIDAS

Supone un solenoide de 60 cm de longitud y 8 cm de radio, con 3420 vueltas por metro, en el que circula una corriente de 0,8 A.

1) Obtiene valores del campo magnético en el interior del solenoide, mediante el experimento remoto. Puedes tomar varios puntos en el eje del solenoide, y luego puntos en planos transversales, a distintas distancias del eje. Obtiene también valores en la parte exterior del solenoide. Construye una tabla de valores en una planilla de cálculo

2) Obtiene valores del campo magnético en los mismos puntos del ítem anterior mediante la simulación, de manera que puedas compararlos con los de las mediciones experimentales. Agrégalos en la tabla antes creada.

3) Calcula el valor del campo magnético en el interior del solenoide, mediante la Ley de Ampere. Puedes agregar ese valor en la tabla.

4) Calcula para cada punto las diferencias porcentuales entre el valor experimental y los valores que se calculan con ambas leyes ¿Cual de las leyes nos provee valores más cercanos a los experimentales? Fundamenta ¿Observas errores de medición? Analiza la cuestión.

5) Calcula el valor del coeficiente de autoinducción del solenoide mediante la ley de Ampere y compara el resultado obtenido con el dato experimental que se da más arriba. Analiza la discrepancia observada, incluyendo si el error es por exceso o por defecto.

6) Modifica los parámetros del solenoide para el cálculo del campo por medio de la Ley de Biot y Savart con el software, de manera que su valor tienda a coincidir con el que da la Ley de Ampere. Obtiene conclusiones al respecto.

7) Elabora un informe donde se describan las experiencias realizadas, los resultados obtenidos, y las conclusiones a que se arriben.

Autores del equipo

De Greef, Marcelo: Construcción mecánica y programación Delphi

Kofman, Hugo: Dirección del grupo

Lucero, Pablo: Electrónica y programación Delphi

Pesoa, Juan: Programación Java