

MEMORIA FINAL DE ACTIVIDADES

**AYUDAS DE LA USAL PARA PROYECTOS DE
INNOVACIÓN DOCENTE
CURSO ACADÉMICO 2010/2011**

Título del proyecto:

**ADAPTACIÓN DE LA DOCENCIA DE
ELECTROMAGNETISMO A LOS NUEVOS
GRADOS**

Código del proyecto: ID10/039

Responsable del proyecto:

Marcelino Zazo Rodríguez

Facultad de Ciencias
UNIVERSIDAD DE SALAMANCA

ÍNDICE

I.- Relación de los miembros de la Universidad de Salamanca participantes en el proyecto	1
II.- Introducción	1
III.- Cumplimiento de objetivos	3
IV.- Memoria económica	4
V.-Anexos:	
Anexo I.- Ejemplo de presentación clase magistral.....	6
Anexo II.- Ejemplo de problemas planteados al alumno para realizar en los seminarios de la asignatura	7
Anexo III.- Ejemplo de tareas individuales para el alumno y que entregará al profesor para su revisión	8
Anexo IV.- Ejemplo de cuestionario de autoevaluación para los alumnos disponible en la plataforma studium	9
Anexo V.- Ejemplo de guión de práctica y plantilla de resultados para una experiencia.	10
Anexo VI.- Cuaderno de práctica para la asignatura de Laboratorio de Electromagnetismo y ejemplo de guión	13

I. Relación de los miembros de la Universidad de Salamanca participantes en el proyecto

Ana García Flores

M^a Auxiliadora Hernández López

José Ignacio Iñiguez de la Torre

Luis López Díaz

Eduardo Martínez Vecino

Víctor Javier Raposo Funcia

Luis Torres Rincón

Marcelino Zazo Rodríguez

II. Introducción

El presente documento presenta la memoria de actividades del proyecto de innovación docente titulado “Adaptación de la docencia de Electromagnetismo a los nuevos Grados”, concedido dentro de la convocatoria de Ayudas de la Universidad de Salamanca (USAL) para Proyectos de Innovación Docente en el curso académico 2010/2011.

Como se indicaba en la Memoria, el objetivo principal de este proyecto se centraba en adaptar la docencia de Electromagnetismo a los nuevos Grados, de manera que el alumno pudiera comprender los conceptos fundamentales de esa materia y se familiarizase con el análisis de diferentes situaciones y problemas.

Hay que indicar que en las nuevas titulaciones de Grado es necesario considerar una nueva filosofía de trabajo. En la programación de las asignaturas tienen que incorporarse prácticas, problemas, lecturas recomendadas, acceso a páginas webs..., y los ejercicios de evaluación y autoevaluación, para que el alumno pueda desarrollar de una forma eficaz su proceso de aprendizaje. Resulta conveniente programar todas las actividades a desarrollar por el alumnado a fin de hacer una propuesta realista y compatible con una programación que permita la consecución de las competencias previstas en el Plan de Estudios.

Los objetivos de este proyecto de innovación docente han sido la preparación del material didáctico, problemas, presentaciones, cuestionarios de evaluación y autoevaluación relacionado con los conceptos básicos y leyes fundamentales del Electromagnetismo, que permitan al estudiante la adquisición de las competencias correspondientes. Hay que indicar que la preparación de dicho material

ha tenido que realizarse en distintos niveles, ya que se ha trabajado con asignaturas que se imparten en diferentes titulaciones y cursos. Por otro lado, en las asignaturas incluidas en este proyecto parte de la docencia es de carácter experimental y, por ello, parece muy adecuado elaborar un conjunto de experiencias básicas de Electromagnetismo para realizar en el laboratorio. Hay que resaltar que una de las asignaturas, Laboratorio de Electromagnetismo (Grado en Física), es de carácter experimental y, por tanto, han tenido que prepararse nuevas prácticas y adecuar las que se impartían en la antigua titulación de Licenciado en Física.

Hay que indicar que el material necesario para realizar las prácticas se ha conseguido por las siguientes vías:

- Financiación del presente proyecto: que ha permitido adquirir varios multímetros y un generador de señales.
- Uso del equipamiento e infraestructura existente en el laboratorio de Electromagnetismo y Electrónica de la Facultad de Física.

III. Cumplimiento de objetivos

El objetivo fundamental del presente proyecto era hacer comprender al alumno los conceptos fundamentales del Electromagnetismo. Para ello se ha llevado a cabo la realización y preparación del material didáctico más adecuado para cada una de las asignaturas del proyecto. Se han elaborado presentaciones, listado de problemas, ejercicios, vídeos, experiencias y guiones de prácticas. También se propuso la preparación de cuestionarios de evaluación o autoevaluación de repuesta múltiple para que el propio alumno pudiese analizar su avance en la asignatura correspondiente. Todo ello enfocado a que los estudiantes adquieran las competencias y resultados de aprendizaje que se pretenden en cada uno de los nuevos grados.

En cada una de las asignaturas objeto del proyecto se ha preparado el material didáctico más conveniente dependiendo de sus características y especificaciones, teniendo en cuenta que son de distinto tipo, titulación y curso. En todos los casos el material ha sido accesible a los estudiantes en la plataforma moodle o studium de la Universidad de Salamanca, accediendo a la correspondiente asignatura. Se incluyen algunos ejemplos en los anexos de la memoria.

ASIGNATURAS DE 1^{er} CURSO DE GRADO

ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO - GRADO EN GEOLOGÍA- GRADO EN INGENIERÍA
GEOLÓGICA

FÍSICA II - GRADO EN QUÍMICA-GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA

Material didáctico elaborado

- Presentaciones y vídeos que permitirán preparar las clases magistrales, donde el profesor expondrá y explicará los contenidos propios de la materia (anexo I).
- Colección de problemas para exponer y discutir en los seminarios (anexo II).
- Colección de tareas para realizar de forma individualizada por el alumno (anexo III).
- Cuestionarios de autoevaluación (anexo IV).

Para la asignatura Física II de Grado en Química y en Ingeniería Química, que tiene un apartado de experiencias de laboratorio, también se han preparado unas prácticas con su guión correspondiente y la plantilla de resultados (anexo V), que debe entregar el alumno para su corrección.

ASIGNATURAS DE 2º CURSO DE GRADO

ELECTROMAGNETISMO I - GRADO EN FÍSICA

ELECTROMAGNETISMO II - GRADO EN FÍSICA

LABORATORIO DE ELECTROMAGNETISMO - GRADO EN FÍSICA

Material didáctico elaborado para las asignaturas Electromagnetismo I y II

- Presentaciones y vídeos que permitirán preparar las clases magistrales, donde el profesor expondrá y explicará los contenidos propios de la materia (similar anexo I, adaptadas al nivel de 2º curso en el Grado de Física).
- Colección de problemas para exponer y discutir en los seminarios (similar anexo II, adaptadas al nivel de 2º curso en el Grado de Física).
- Colección de tareas para realizar de forma individualizada por el alumno (similar anexo III, adaptadas al nivel de 2º curso en el Grado de Física).

Material didáctico elaborado en la asignatura de Laboratorio de Electromagnetismo

Se han diseñado distintas experiencias y preparado el siguiente material didáctico:

- Presentación teórica introductoria a las prácticas (similar anexo I, adaptadas al nivel de 2º curso en el Grado de Física).
- Guión de práctica que permitan realizar las experiencias (anexo VI).
- Preparación de las pruebas que permitan evaluar los conocimientos adquiridos por el estudiante.

IV.- Memoria económica

En el proyecto de innovación presentado se solicitaban 1500 € para comprar material inventariable de instrumentación básica para un laboratorio de electromagnetismo (osciladores, osciloscopios, fuentes, multímetros, ...). La cantidad concedida fue de 375 € que nos ha permitido adquirir varios multímetros y un generador de funciones, que con el equipamiento e infraestructura existente en el laboratorio de Electromagnetismo y Electrónica de la Facultad de Física, nos ha permitido diseñar y preparar algunas prácticas.

Anexo II

EJEMPLO DE PROBLEMAS PLANTEADOS AL ALUMNO PARA REALIZAR EN LOS SEMINARIOS DE LA ASIGNATURA

Física II (Grado en Ingeniería Química) Tema 1

1.- Tres cargas puntuales están colocadas sobre el eje x de la forma siguiente:

$$q_1 = 25 \text{ nC en el origen de coordenadas.}$$

$$q_2 = -10 \text{ nC en el punto } x = 2 \text{ m.}$$

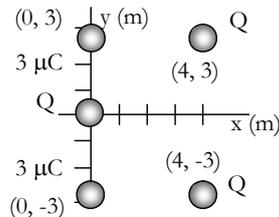
$$q_3 = 20 \text{ nC en el punto } x = 3.5 \text{ m.}$$

Obtener la fuerza que experimenta la carga q_3 . (Nota: $1 \text{ nC} = 10^{-9} \text{ C}$). Sol.: $\vec{F} = -0.433 \vec{u}_x \mu\text{N}$

2.- Supongamos tres cargas puntuales en el plano XY. La carga $q_1 = 4 \mu\text{C}$ está en $(x, y) = (0, 0)$, la $q_2 = -4 \mu\text{C}$ está en $(x, y) = (0, 2) \text{ m}$ y la $q_3 = 2 \mu\text{C}$ está en $(x, y) = (2, 0) \text{ m}$. Determinar la fuerza eléctrica sobre la carga q_3 .

$$\text{Sol.: } (\vec{F} = [1.16 \vec{u}_x + 0.64 \vec{u}_y] 10^{-2} \text{ N})$$

3.- En la distribución de cargas de la figura se sabe que la fuerza eléctrica en la carga situada en el origen de coordenadas es $-9 \times 10^{-2} \text{ N}$. Determinar la carga Q.



$$\text{Sol.: } (Q = \pm 12,5 \mu\text{C})$$

4.- Encontrar el campo eléctrico a una distancia y sobre el punto medio entre dos cargas iguales $+q$ situadas en el eje X y separadas una distancia d. Repetir el cálculo cuando la carga de la izquierda es $-q$.

$$\text{Sol.: } (\vec{E} = \frac{4qy}{\pi\epsilon_0(d^2 + 4y^2)^{3/2}} \vec{u}_y, \vec{E} = \frac{-2qd}{\pi\epsilon_0(d^2 + 4y^2)^{3/2}} \vec{u}_x)$$

5.- Considere tres cargas puntuales localizadas sobre el plano XY en las esquinas de un triángulo: $q_1 = 5 \mu\text{C}$ está en $(x, y) = (0, 0)$, $q_2 = -2 \mu\text{C}$ está en $(x, y) = (0, 0.1) \text{ m}$ y $q_3 = 5 \mu\text{C}$ está en $(x, y) = (0.1, 0.1) \text{ m}$. Calcular en primer lugar el valor del campo eléctrico en la posición de la carga q_3 y utilizar el resultado para calcular la fuerza resultante sobre q_3 .

$$\text{Sol.: } (\vec{E} = [-2.2 \vec{u}_x + 15.8 \vec{u}_y] 10^5 \text{ V/m}; \vec{F} = [-1.1 \vec{u}_x + 7.9 \vec{u}_y] \text{ N})$$

6.- Se tienen dos cargas puntuales $q_1 = 40 \text{ nC}$ y $q_2 = -30 \text{ nC}$ situadas en los puntos $(8,0)$ y $(0,6) \text{ cm}$, respectivamente, del plano XY. a) Calcular el potencial en los puntos $A \equiv (4,3)$ y $B \equiv (0,0)$ y el campo en el punto A. b) Calcular el trabajo necesario para transportar una carga $q_3 = 25 \text{ nC}$ desde A hasta B.

$$\text{Sol.: } (\vec{E}_A = (-20.16 \vec{u}_x + 15.12 \vec{u}_y) \cdot 10^4 \text{ V/m}; V_A = 1800 \text{ V}; V_B = 0 \text{ V}; W_{AB} = -45 \mu\text{J})$$

7.- Calcular el campo eléctrico en todo punto del espacio creado por una corteza cilíndrica uniformemente cargada e infinitamente larga de radio a y que posee una densidad superficial de carga σ constante aplicando la ley de Gauss. Suponer que el eje de la corteza cilíndrica coincide con el eje z.

$$\text{Sol.: } (\vec{E}(r) = (\sigma a / \epsilon_0 r) \vec{u}_r) \text{ para } r > a$$

Anexo III

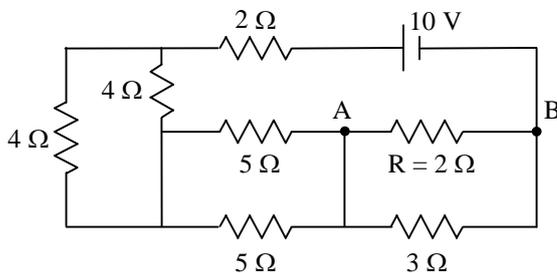
EJEMPLO DE TAREAS INDIVIDUALES PARA EL ALUMNO Y QUE ENTREGARÁ AL PROFESOR PARA SU REVISIÓN

Tareas a entregar

Apellidos _____

Nombre _____

1.- Hallar la intensidad de corriente que pasa por la resistencia R en el siguiente circuito.



Solución: $I = 60/77 = 0.78 \text{ A}$

Tareas a entregar

Apellidos _____

Nombre _____

2.- El plano de un anillo conductor está situado perpendicular a un campo magnético uniforme (\vec{B} y \vec{S} son paralelos, con $S = 1 \text{ m}^2$), como se muestra en la figura 1. El módulo del campo magnético tiene una dependencia temporal cuya gráfica se muestra en la figura 2.

- Determinar la fem inducida en el anillo y el sentido de la corriente inducida en función del tiempo. Dibujar ε frente a t .
- ¿En cuál de estos intervalos es mayor la corriente inducida?
- ¿Hay algún intervalo en el que la fem no sea constante?

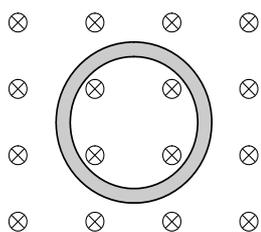


Figura 1

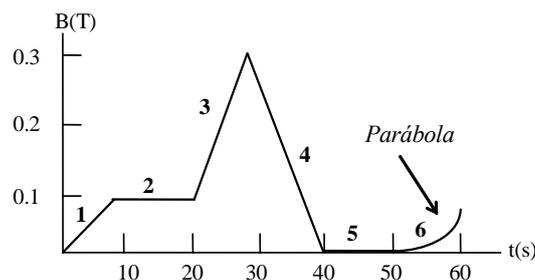


Figura 2

Solución:

$$\begin{aligned} \varepsilon_1 &= -0.01 \text{ V} \\ \varepsilon_2 &= 0 \text{ V} \\ \varepsilon_3 &= -0.02 \text{ V} \\ \varepsilon_4 &= 0.03 \text{ V} \\ \varepsilon_5 &= 0 \text{ V} \\ \varepsilon_6 &= -0.002(t-50) \text{ V} \end{aligned}$$

Anexo IV

EJEMPLO DE CUESTIONARIO DE AUTOEVALUACIÓN PARA LOS ALUMNOS DISPONIBLE EN LA PLATAFORMA STUDIUM

STUDIUM CAMPUS VIRTUAL

Usted se ha autenticado como **LUIS TORRES RINCÓN** (Salir)

Contacto
+34 923 294746
@ studium@usal.es

studium > FisII_104004 > Cuestionarios > Tema 24 > Intento 1

Actualizar Cuestionario

Información Resultados Vista previa Editar

Vista previa del cuestionario

Comenzar de nuevo

Los estudiantes verán este cuestionario en una ventana segura

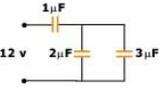
1 Puntos: --/1
Un condensador de placas plano paralelas se encuentra conectado a una batería que proporciona una diferencia de potencial constante. Si la separación entre las placas del condensador se hace la mitad mientras el condensador permanece conectado a la batería, la energía almacenada en él:

Seleccione una respuesta.

- a. Cae a la cuarta parte de su valor inicial
- b. Se duplica
- c. Permanece invariable
- d. Cae a la mitad de su valor inicial

Enviar

2 Puntos: --/1
La energía almacenada en el condensador de $3\mu\text{F}$ mostrado en la figura es:



Seleccione una respuesta.

- a. 6 uJ
- b. 4 uJ
- c. 50 uJ
- d. Imposible de determinar sin información adicional

Enviar

3 Puntos: --/1
Un centenar de condensadores de $1.0\mu\text{F}$ que han sido cargados individualmente a una diferencia de potencial de 20 V se conectan en serie. La diferencia de potencial a través de esta asociación es:

Seleccione una respuesta.

- a. 2.0 kV
- b. 20 V
- c. 20 mV
- d. Se necesita información adicional para resolver el problema

EJEMPLO DE GUIÓN DE PRÁCTICA

PRÁCTICA 1: APARATOS DE MEDIDA EN CORRIENTE CONTINUA

OBJETIVOS DE LA PRÁCTICA

- El primer objetivo de esta práctica es diseñar, a partir de un galvanómetro magnetoeléctrico, un instrumento de medida básico de corriente continua como es el amperímetro.
- En segundo lugar se persigue aprender el manejo de un polímetro o multímetro (dispositivo que permite medir corriente, voltaje, resistencia etc.) para obtener corrientes y voltajes en un circuito determinado, para poder comprobar la ley de Ohm y las leyes de Kirchhoff.

FUNDAMENTO TEÓRICO

En corriente continua, la relación entre intensidad de la corriente I (flujo de cargas por unidad de tiempo) que pasa por una resistencia R y la diferencia de potencial (V) que existe en los extremos de la misma viene dada por la ley de Ohm $V = I R$. Cuando la intensidad de corriente se mide en amperios (A) y la resistencia en óhmios (Ω), la diferencia de potencial se expresa en voltios (V). Para medir V e I se utiliza el voltímetro y el amperímetro, respectivamente. Estos instrumentos pueden tener una escala donde una aguja indica el valor del voltaje o la corriente (dispositivos analógicos) o dar el resultado en una escala digital. Los dispositivos analógicos se construyen a partir de un galvanómetro, que es un dispositivo que detecta el paso de pequeñas corrientes. El tipo más común es el galvanómetro de D'Arsonval (figura 1), el cual está constituido por una bobina de alambre conductor sometida a una inducción magnética B debida a un imán, una aguja solidaria con ella y una escala graduada. El sistema está montado de forma que la bobina junto con la aguja pueden girar libremente. Cuando por la bobina circula una corriente se produce un giro en el conjunto bobina-aguja que es proporcional a dicha corriente.

A la hora de utilizar estos dispositivos de medida hay que tener en cuenta que el voltímetro se debe conectar siempre en paralelo, mientras que el amperímetro se inserta en serie en el circuito como se indica en la figura 2.

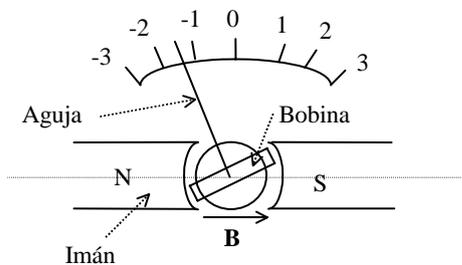


Figura 1

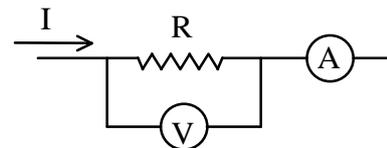


Figura 2

Tanto el voltímetro como el amperímetro poseen una resistencia interna originada por los circuitos de medición internos del equipo. En un voltímetro dicha resistencia toma valores muy grandes (del orden de $M\Omega$) mientras que en un amperímetro siempre es muy pequeña, para no afectar las lecturas. Existen instrumentos que pueden ser utilizados tanto de una como de la otra forma (polímetros o multímetros), pero deben ser conectados siempre correctamente según la medida a realizar (ver figura 2).

Todos los galvanómetros tienen un determinado fondo de escala (corriente máxima que puede medir), sin embargo, es posible medir corrientes mayores conectándole una resistencia en paralelo (shunt). Supongamos que disponemos de un galvanómetro con un determinado fondo de escala y una resistencia interna r_g , con una resistencia R_p en paralelo (figura 3).

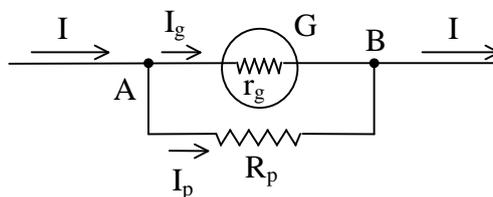


Figura 3

La intensidad total I a medir se puede obtener en función de la I_g que circula por el galvanómetro teniendo en cuenta la ley de nudos de Kirchhoff para la intensidad ($I = I_g + I_p$), y que la diferencia de potencial entre A y B tiene que ser la misma si se mide por la rama superior o por la inferior ($V_{AB} = I_g r_g = I_p R_p$). Despejando I_p de la ecuación $I_g r_g = I_p R_p$ y sustituyendo en la ecuación $I = I_g + I_p$ se obtiene que

$$I = \frac{r_g + R_p}{R_p} I_g \quad (1)$$

Para un valor dado de la corriente I_g la corriente I puede ser, en principio tan grande como se quiera gracias a la elección de un valor suficientemente pequeño de R_p .

Para fijar ideas, consideremos el siguiente ejemplo: Supongamos que disponemos de un galvanómetro cuyo fondo de escala es 0.1 mA ($0.1 \cdot 10^{-3}$ A) y una resistencia interna de 100 Ω , y queremos diseñar un amperímetro que mida 10 mA a final de escala. Haciendo en la expresión (1) $I_g = 0.1$ mA; $I = 10$ mA y $r_g = 100$ Ω , obtenemos un valor de $R_p = 1.0101$ Ω , que será la resistencia que debemos poner en paralelo con el galvanómetro. De esta forma cuando I alcance su valor máximo, 10 mA, pasarán 0.1 mA por el galvanómetro y los 9.9 mA restantes por el shunt.

REALIZACIÓN PRÁCTICA

1.- Construcción de un shunt.

A partir del valor de $I_g = 3.5$ mA y de r_g conocidos del galvanómetro del laboratorio (marcado en el amperímetro) obtener el valor de R_p necesario para que la corriente $I = 10$ mA mediante la ecuación (1).

Coloque el valor de R_p obtenido utilizando una caja de resistencias y construir el circuito de la figura 4, donde R es otra caja de resistencias, cuyo valor debe calcularse para no sobrepasar la corriente de 10 mA.

Utilice un multímetro para medir la corriente y verificar si sus cálculos son correctos, es decir, cuando el amperímetro marque 10 mA la aguja del galvanómetro debe estar en el fondo de escala.

Calibre a continuación el amperímetro fabricado, anotando la desviación de la aguja del galvanómetro sobre la escala para corrientes de 2, 4, 6, 8, 10 mA.

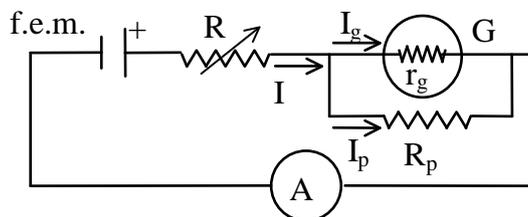


Figura 4

2.- Resolución de circuitos.

Construir el circuito de la figura 5 colocando valores para las resistencias dentro del rango indicado:

$$R = 1000-2000 \Omega; R_1 = 1000-2000 \Omega; R_2 = 2000-3000 \Omega$$

A continuación utilice un multímetro como voltímetro para medir los voltajes V_{AB} , V_{BC} y V_{AC} . Verifique con los valores obtenidos que se cumple la relación $V_{AC} = V_{AB} + V_{BC}$.

Utilizando un multímetro como amperímetro, medir las corrientes I , I_1 e I_2 . Verificar que se cumple la ley de los nudos: $I = I_1 + I_2$

Comprobar que se verifica la ley de Ohm en cada caso: $V_{AB} = IR$, $V_{BC} = I_1 R_1 = I_2 R_2$.

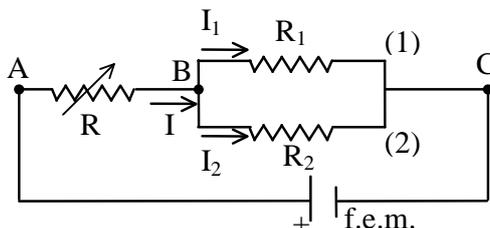


Figura 5

EJEMPLO DE PLANTILLA DE RESULTADOS PARA UNA EXPERIENCIA

PLANTILLA DE RESULTADOS PRÁCTICA 1

Nombre	Apellidos	Grupo reducido	Grupo prácticas

1.- CONSTRUCCIÓN DE UN SHUNT

Anotar el valor de resistencia interna del galvanómetro usado: $r_g =$

Cálculo de la resistencia shunt:

Valor teórico de $R_p =$

Valor experimental de $R_p =$

Cálculo de la resistencia de protección:

Valor teórico de $R =$

Valor experimental de $R =$

Calibración: anotar el valor de la desviación de la aguja del galvanómetro para las corrientes de 2, 4, 6, 8 y 10 mA, así como el valor de la R experimental necesaria para obtenerlo.

R(Ω)	I(mA)	Desviación (divisiones)

2.- RESOLUCIÓN DE CIRCUITOS

Valores de las resistencias: $R =$; $R_1 =$; $R_2 =$

Valores de los voltajes

V _{AB} (V)	V _{BC} (V)	V _{AC} (V)	V _{AB} + V _{BC} (V)

Valores de las corrientes

I(A)	I ₁ (A)	I ₂ (A)	I ₁ + I ₂ (A)

Comprobación de la ley de Ohm

RI (V)	R ₁ I ₁ (V)	R ₂ I ₂ (V)	RI + R ₁ I ₁ (V)	RI + R ₂ I ₂ (V)

PORTADA DEL CUADERNO DE PRÁCTICA PARA LA
ASIGNATURA DE LABORATORIO DE ELECTROMAGNETISMO

LABORATORIO DE ELECTROMAGNETISMO

2º Curso del Grado en Física (3 ECTS)

Relación de prácticas:

I. Electrostática: Conceptos básicos

II. Técnicas numéricas de resolución de problemas de campos

III. Simulación analógica de campos

IV. Instrumentos de medida en DC y AC

V. Manejo del osciloscopio

VI. Transitorios en circuitos

VII. Medida de permitividades

VIII. Circuitos resonantes

IX. Balanza de Ampère

X. Ley de Faraday y permeabilidad magnética

XI. Superconductividad

XII. Susceptibilidad magnética

XIII. Histéresis magnética

XIV. Fuerza magnética, motores, generadores y ley de Faraday

EJEMPLO DE GUIÓN DE PRÁCTICA PARA LA ASIGNATURA DE LABORATORIO DE ELECTROMAGNETISMO

X- LEY DE FARADAY Y PERMEABILIDAD MAGNÉTICA

OBJETIVOS

En esta práctica se estudia la inducción electromagnética entre solenoides de geometría conocida. Los cálculos permitirán encontrar el valor de la permeabilidad magnética del vacío y apreciar los efectos de la presencia de materiales ferromagnéticos y/o conductores como núcleos de dichos solenoides.

FUNDAMENTO TEÓRICO

De acuerdo con la ley de inducción de Faraday, cuando varía el flujo magnético en un circuito se induce una fuerza electromotriz que, como sabemos, se expresa en la forma:

$$\mathcal{E}_{in} = -\frac{d\Phi}{dt} \quad (0-1)$$

Mediante una serie de experiencias sencillas utilizando solenoides de dimensiones y número de espiras conocidos vamos a comprobar esta expresión y, además, a través de los cálculos obtendremos el valor de la permeabilidad magnética del vacío μ_0 ($4\pi 10^{-7}$ H/m).

Sean dos bobinados como se muestran en la Figura 0-1. Si hacemos circular una intensidad de corriente por el circuito 1 (primario) aparecerá una inducción magnética, que en el circuito 2 (secundario) dará lugar a un flujo de la forma:

$$\Phi_{12} = \int_{A_2} \vec{B}_{12} d\vec{S} = B_{12} A_2 n_2 \quad (0-2)$$

donde \vec{B}_{12} es la inducción magnética en el secundario (que supondremos uniforme y paralela a $d\vec{S}$) debida al primario, A_2 la sección transversal del secundario y n_2 su número de espiras.

La inducción magnética para un largo solenoide rectilíneo, despreciando el efecto de bordes y suponiendo que operamos en el vacío, toma la forma aproximada:

$$B_{12} = \mu_0 \frac{n_1 I_1}{l_1} \quad (0-3)$$

donde n_1 representa el número de espiras del primario, I_1 la intensidad y l_1 su longitud.

De acuerdo con esto, el flujo magnético recogido por el secundario será:

$$\Phi_{12} = \mu_0 \frac{n_1 I_1}{l_1} A_2 n_2 \quad (0-4)$$

de forma que el coeficiente de inducción mutua se escribe:

$$M_{12} = \frac{\Phi_{12}}{I_1} = \mu_0 \frac{n_1 n_2}{l_1} A_2 \quad (0-5)$$

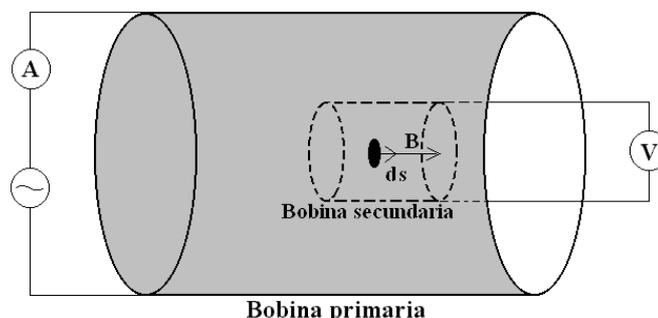


Figura 0-1

Si ahora suponemos que la corriente en el primario varía con el tiempo, por ejemplo en forma senoidal $I_1(t) = I \cos(\omega t)$, aparecerá una fuerza electromotriz inducida en el secundario que toma la forma:

$$\varepsilon_{in}(t) = -\frac{d\Phi_{12}}{dt} = -M_{12} \frac{dI_1}{dt} = -\mu_0 \frac{n_1 n_2}{l_1} A_2 \frac{dI_1}{dt} = \mu_0 \omega \frac{n_1 n_2}{l_1} A_2 I \sin(\omega t) \quad (0-6)$$

Esa ecuación puede escribirse de nuevo en función de los valores eficaces de intensidad del primario (leído en el amperímetro) y voltaje en el secundario (leído en el voltímetro, que supondremos ideal) de la forma:

$$V_{ef} = 2\pi f \mu_0 \frac{n_1 n_2}{l_1} A_2 I_{ef} = 2\pi f M_{12} I_{ef} \quad (0-7)$$

donde $f = \omega/2\pi$ representa la frecuencia de la corriente alterna aplicada al primario.

REALIZACIÓN PRÁCTICA

Para hacer el experimento basta montar el circuito de la Figura 0-1 donde aparecen los dos solenoides, el oscilador senoidal y el amperímetro en el circuito primario y el voltímetro en el secundario. Como bobina primaria se utilizará inicialmente la grande (12.5 cm de diámetro y 50 cm de longitud), mientras que como bobina secundaria se empleará la de 3.2 cm de diámetro y 30 cm de longitud.

Tomando la bobina primaria y la secundaria (que deberá colocarse con cuidado en el interior de la grande, centrada y coaxialmente con aquélla), y elegida la frecuencia de trabajo (2, 4, 6, 8 y 10 kHz, por ejemplo) se efectuarán medidas de V_{ef} en función de I_{ef} . Si se representan gráficamente estos resultados (Figura 0-2) se obtendrá una recta para cada frecuencia de operación cuya pendiente resultará ser $2\pi f M_{12}$ cantidad a la que llamaremos $K(f)$. Por fin, si representamos $K(f)$ en función de la frecuencia (Figura 0-3) obtendremos una recta de pendiente $2\pi M_{12}$, que de acuerdo con la expresión (0-5) nos permitirá obtener el valor de la permeabilidad magnética μ_0 , dado que los materiales con los que trabajamos (PVC, plásticos, aire, etc.) se comportan como materiales no magnéticos por los que su permeabilidad se puede aproximar por la del vacío. (Nota: La frecuencia no debe superar 10 kHz pues los multímetros no miden verdadero valor eficaz para valores superiores).

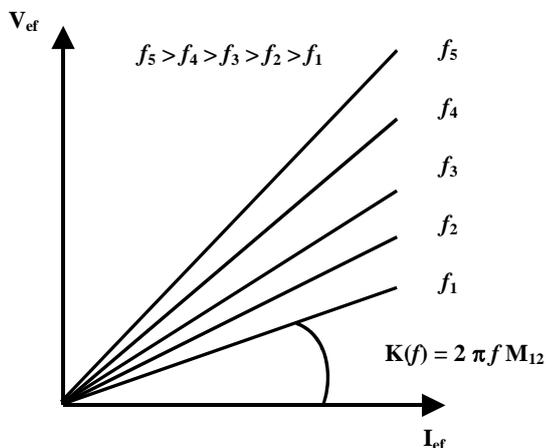


Figura 0-2

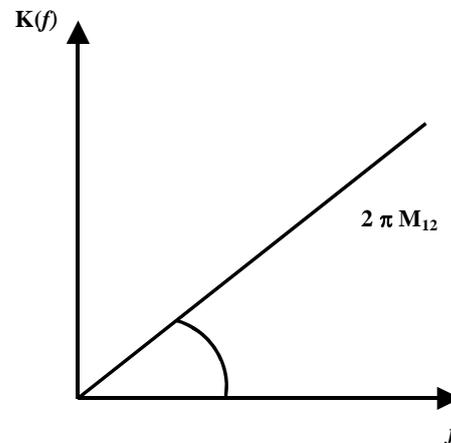


Figura 0-3

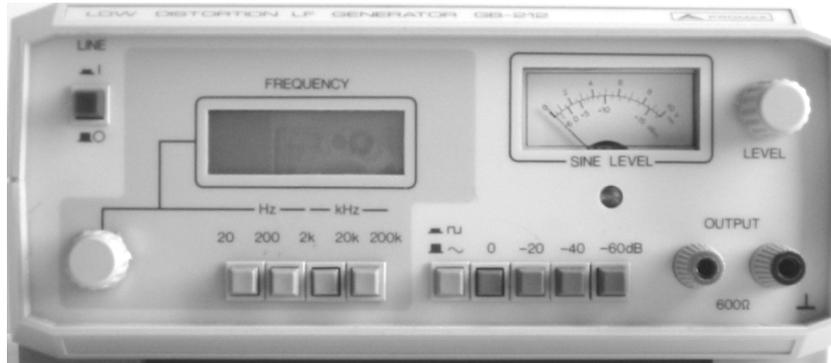
Es de señalar cómo en la experiencia realizada podemos analizar, además del efecto de la intensidad y frecuencia, también la influencia del número de espiras, de las dimensiones del bobinado (longitud y sección) y eventualmente del efecto de bordes y de la orientación relativa de los bobinados.

A continuación se intercambiarán primario y secundario mostrándose como $M_{12} = M_{21}$. Nótese que aunque se cumple $M_{12} = M_{21}$, no resulta posible ahora despejar el valor de la permeabilidad magnética μ_0 de la expresión de M_{21} pues ésta no se corresponde con la de la ecuación (0-5) intercambiando los subíndices 1 y 2. Ello es debido a que cuando la bobina pequeña hace el papel de primario, el flujo recogido por la grande no se corresponde con el de un campo uniforme, por lo que las expresiones no son tan simples como las que se presentan y exigen realizar la integral de superficie de \vec{B} para poder calcular el flujo correctamente. Por fin se discutirá con el profesor de prácticas el efecto de introducir diferentes materiales conductores y magnéticos como núcleo de esos bobinados.

RESULTADOS EXPERIMENTALES

- 1.- Dibujar las gráficas correspondientes a las figuras 2 y 3 de la práctica y obtener el valor de la permeabilidad magnética del vacío.
- 2.- ¿Qué comentarios pueden hacerse acerca del intercambio de las bobinas primario y secundario?
- 3.- ¿Cómo afecta a la medida la introducción de un núcleo ferromagnético y/o conductor?
- 3.- Escribir un informe razonado explicando todas las experiencias realizadas en el laboratorio.

MATERIAL NECESARIO



Modelo de oscilador



Bobinas



Multímetro