

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN**

Electricidad y Magnetismo

(Prácticas de laboratorio)

**Ingeniería Mecánica Eléctrica
(IME)**



Edición **UNAM** **es** **FESC**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN**

Electricidad y Magnetismo (Prácticas de laboratorio)

Ingeniería Mecánica Eléctrica (IME)

Ramón Osorio Galicia
Jaime Rodríguez Martínez
Pedro Guzmán Tinajero
Fernando Guerra Parra
Francisco Rodríguez López
Guillermo Santos Olmos

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
SECCIÓN DE ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO**

Electricidad y Magnetismo (Prácticas de laboratorio)

**Asignatura: Electricidad y Magnetismo
Clave: 0071**

**Carrera: Ingeniería Mecánica Eléctrica
Clave: 111-26**

Autores:

Ramón Osorio Galicia
Jaime Rodríguez Martínez
Pedro Guzmán Tinajero
Fernando Guerra Parra
Francisco Rodríguez López
Guillermo Santos Olmos

Revisión: Agosto 2011

ÍNDICE

| | |
|--|-----|
| INTRODUCCIÓN | 7 |
| BREVE HISTORIA DEL ELECTROMAGNETISMO | 9 |
| REGLAMENTO INTERNO DEL LABORATORIO DE FÍSICA | 13 |
| PRÁCTICA NO. 1 | |
| Carga eléctrica, campo y potencial eléctrico..... | 19 |
| PRÁCTICA NO. 2 | |
| Capacitancia y capacitores..... | 33 |
| PRÁCTICA NO. 3 | |
| Constantes dieléctricas y rigidez dieléctrica..... | 47 |
| PRÁCTICA NO. 4 | |
| Resistencia Óhmica, resistividad y Ley de Ohm..... | 59 |
| PRÁCTICA NO. 5 | |
| Fuentes de fuerza electromotriz (Parte 1) (Uso y manejo del osciloscopio)..... | 73 |
| PRÁCTICA NO. 6 | |
| Fuentes de fuerza electromotriz (Parte 2)..... | 83 |
| PRÁCTICA NO. 7 | |
| Leyes de Kirchhoff y circuito R.C. | 93 |
| PRÁCTICA NO. 8 | |
| Campos magnéticos estacionarios..... | 103 |
| PRÁCTICA NO. 9 | |
| Ley de la inducción electromagnética de Faraday y circuito RL..... | 115 |
| PRÁCTICA NO. 10 | |
| Propiedades magnéticas | 127 |
| BIBLIOGRAFÍA | 135 |

INTRODUCCIÓN

El presente manual forma parte de la actualización de prácticas de la asignatura de Electricidad y Magnetismo. Las prácticas han sido modificadas y actualizadas de acuerdo al programa de la asignatura, dando como resultado la elaboración de 10 prácticas, siete sobre los temas de Electricidad y tres para Magnetismo. Debido al cambio tecnológico, se requiere una constante actualización de prácticas tradicionales y establecimiento de nuevos procedimientos y métodos.

Cada práctica cubre varios temas del programa y está dividida en:

- Cuestionario previo
- Objetivos
- Fundamentos teóricos
- Desarrollo
- Cuestionario
- Conclusión

CUESTIONARIO PREVIO

Tiene como objetivo que el alumno evalúe sus conocimientos previos para el buen desarrollo de la práctica.

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Se proporcionan los conocimientos básicos de los fenómenos físicos que se presentan durante el desarrollo de la práctica, lo que permitirá que el alumno reafirme lo adquirido en la asignatura teórica y de esta forma pueda hacer un análisis de los resultados obtenidos en la práctica y alcanzar los objetivos establecidos.

BREVE HISTORIA DEL ELECTROMAGNETISMO

El Electromagnetismo abarca tanto la Electricidad como el Magnetismo, y su alcance e importancia se hacen evidentes mediante la siguiente cronología:

Tales de Mileto (Filósofo griego, 636-546 a.C.), 600 años antes de Cristo observó que al frotar ámbar con seda el ámbar adquiría la capacidad de atraer partículas de paja y pelusa. La palabra griega para el ámbar es “electrón” y de ella se derivan los términos Electricidad, Electrón y Electrónica. También ese Filósofo observó la fuerza de atracción entre trozos de una roca magnética natural llamada imán que se encontró en un lugar de “Magnesia”, de cuyo nombre se derivan las palabras magneto y magnetismo. Sin embargo, estas observaciones se tomaron de manera filosófica y pasaron 22 siglos para que estos fenómenos fuesen investigados en forma experimental.

William Gilbert (Físico inglés, 1540-1603), alrededor del año 1600 realizó los primeros experimentos acerca de los fenómenos eléctricos y magnéticos; además, inventó el electroscopio y fue el primero en reconocer que la Tierra misma es un gigantesco imán.

Benjamín Franklin (Estadista y científico estadounidense, 1706-1790) determinó que existen cargas positivas como negativas, también inventó el pararrayos.

Charles Augustin Coulomb (Científico francés 1736-1806) utilizó la balanza de torsión con la cual estableció la Ley de Fuerzas Electroestáticas.

Karl Frederick Gauss (Matemático alemán, 1777-1851) formuló el teorema de la divergencia relacionando un volumen y su superficie.

Alessandro Volta (Italiano, 1745-1827) inventó la pila voltaica.

Hans Christian Oersted (Danés, 1777-1851) descubrió que toda corriente eléctrica da origen a un campo magnético.

Andre Marie Ampere (Físico francés, 1775-1836) inventó el solenoide para producir campos magnéticos.

George Simón Ohm (Alemán, 1787-1854) formuló la ley que lleva su nombre, la cual relaciona voltaje, corriente y resistencia.

Michael Faraday (Inglés, 1791-1867) demostró que un campo magnético variable en el tiempo induce una corriente en un circuito conductor.

Joseph Henry (Estadounidense) en 1831 inventó el relevador y el telégrafo eléctrico.

James Clerk Maxwell (Inglés 1831-1879) generalizó la Ley de Ampere y como consecuencia unificó las leyes que rigen el electromagnetismo clásico. Además, postuló que la luz es de naturaleza electromagnética.

Heinrich Hertz (Físico alemán 1857-1894) pionero en la transmisión de ondas de radio.

Thomas Alva Edison (Estadounidense 1847-1931) inventó la lámpara incandescente y los primeros sistemas de transmisión de energía eléctrica de corriente continua.

Nikola Tesla (Yugoslavo 1856-1943) desarrolló los primeros sistemas de transmisión de energía eléctrica de corriente alterna. También inventó el motor de inducción.

OBJETIVO DE LA ASIGNATURA

Analizar los conceptos, principios y leyes fundamentales del electromagnetismo y desarrollar en el alumno su capacidad de observación y habilidad en el manejo de aparatos en el laboratorio, a fin de que puedan aplicar esta formación en problemas relacionados en las asignaturas consecuentes y en la práctica profesional.

OBJETIVO DEL CURSO EXPERIMENTAL

Desarrollar la capacidad de observación y la habilidad del estudiante en el manejo de dispositivos experimentales, para la correcta realización de experimentos relacionados con fenómenos eléctricos y magnéticos como antecedente en su formación y práctica profesional.

| | | |
|---|--|--------------------|
|  | UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN DEPARTAMENTO DE FÍSICA | |
| | REGLAMENTO INTERNO DEL LABORATORIO DE FÍSICA | CÓDIGO: S/C |

OBJETIVO

Establecer los lineamientos de funcionamiento del laboratorio para que los profesores, alumnos y personal administrativo, puedan aplicar el método científico en la realización de las prácticas.

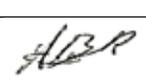
ALCANCE

Aplica a las siguientes asignaturas teórico-prácticas de las carreras que se imparten en la Facultad: Electricidad y Magnetismo y Óptica de IME; Física II y Mecánica de Ingeniería Agrícola; Electromagnetismo y Física de Ondas de Ingeniería Química; Física II y Física III, ambas de Químico y Químico Industrial; y Química de Materiales Cerámicos de Químico.

Para dar cumplimiento a dicho objetivo es necesario llevar a cabo, en apego estricto, los siguientes lineamientos:

1. El aviso para inscripciones a los laboratorios de Física se publicará oportunamente especificando lugar, fecha y horario de atención.
2. Para poder inscribirse, el alumno deberá presentar su tira de materias con las asignaturas respectivas e identificación oficial vigente.
3. La inscripción a los laboratorios se realizará únicamente en la fecha establecida (después del periodo de altas y bajas).
4. El jefe de sección entregará a cada profesor la relación de alumnos inscritos, antes de la primera sesión.
5. Las prácticas de laboratorio iniciarán después del periodo de altas y bajas, finalizando en la penúltima semana de clases, de acuerdo al programa de prácticas de laboratorio, lo cual será publicado oportunamente.
6. En cada sesión se deberá realizar una sola práctica, para poder cumplir con los objetivos de la misma.
7. En la primera sesión de prácticas, el profesor presentará su plan de trabajo y dará a conocer los reglamentos establecidos para el laboratorio (reglamento de seguridad e higiene y reglamento interno).
8. Para realizar cada práctica, el alumno podrá disponer del equipo y material necesario listado en la práctica, llenando el vale de préstamo de material/equipo, dejando en garantía su credencial vigente.
9. Es responsabilidad del profesor y alumnos del buen uso y manejo del equipo y material, así como también la devolución en buen estado de los mismos.

10. Cuando se presente una descompostura o falla imprevista del equipo y/o material, la brigada deberá comunicárselo a su profesor y éste a su vez al encargado en turno o responsable para que sea reemplazado por otro en buen estado.
11. En caso de presentarse una descompostura o rotura del equipo y/o material por negligencia, uso indebido, o la pérdida del mismo, la brigada deberá cubrir, ya sea el costo de la reparación o reposición, a través de la supervisión y coordinación del profesor; antes del fin de clases del semestre; de no ser así se detendrán las calificaciones de toda la brigada y no se asentarán en listas hasta que sea saldado el adeudo. La credencial de respaldo del vale quedará en el laboratorio como garantía.
12. Al finalizar la práctica el alumno deberá mantener limpio el salón, no dejando papeles o basura y colocar los bancos sobre la mesa. Así como informar de cualquier anomalía durante su estancia en el laboratorio.
13. La persona que sea sorprendida maltratando o haciendo mal uso del mobiliario o instalaciones de laboratorio, será sancionada con la reparación del daño y lo que indique la legislación universitaria.
14. La calificación será numérica del 0 a 10, considerándose como mínima aprobatoria el 6.
15. Es obligación del profesor cubrir el 100% de prácticas programadas.
16. Será responsabilidad del profesor de laboratorio dar a conocer a sus alumnos la calificación final obtenida.
17. Los profesores deberán entregar sus calificaciones a la jefatura de sección con la copia del formato FPE-FS-DEX-01-04 (listado de alumnos inscritos) de acuerdo al aviso de finalización de prácticas, FPE-FS-DEX-01-09.
18. Es requisito acreditar el laboratorio para que el profesor de teoría asiente la calificación.
19. La sección correspondiente proporcionará el listado final de calificaciones a los profesores de teoría para considerar dichas calificaciones en la evaluación final de la asignatura.
20. Cuando el alumno no apruebe la parte teórica de la asignatura y acredite el laboratorio correspondiente, su calificación aprobatoria tendrá vigencia de dos semestres posteriores al que se haya cursado.
21. Para la presentación del examen extraordinario el alumno debe solicitar un comprobante de su calificación de laboratorio a la jefatura de sección correspondiente, si lo requiere el sinodal.
22. Quien haga uso de los laboratorios en la realización de proyectos académicos, acatará lo dispuesto en el presente reglamento y en el de Seguridad e Higiene.
23. Situaciones no contempladas en este reglamento deberán acordarse por las partes involucradas y el Departamento de Física.

| | Elaboró | Revisó y aprobó | Autorizó emisión |
|---------|--|---|--|
| Puesto: | | Comité de Calidad | Jefe de Calidad |
| Nombre: | Hermenegildo Bonifacio Paz | <ul style="list-style-type: none"> - Antonio Ramírez Martínez - José Frías Flores - Alberto F. Gestefeld Arrieta - Jaime Pérez Huerta | Guillermo Santos Olmos |
| Fecha: | 18/10/07 |  25/10/07 | 8/11/07 |
| Firma: |  | |  |

| NÚMERO DE LA PRÁCTICA | TÍTULO DE LA PRÁCTICA | NÚMERO Y NOMBRE DE LA UNIDAD TEMÁTICA EN EL PROGRAMA DE LA ASIGNATURA |
|-----------------------|--|---|
| 1 | CARGA ELÉCTRICA, CAMPO Y POTENCIAL ELÉCTRICO | TEMA I. CAMPO Y POTENCIAL ELÉCTRICO SUBTEMAS I.1, I.2, I.3, I.4, I.5 y I.6 |
| 2 | CAPACITANCIA Y CAPACITORES | TEMA II. CAPACITANCIA SUBTEMAS II.1, II.2 y II.3 |
| 3 | CONSTANTES DIELECTRICAS Y RIGIDEZ DIELECTRICA | TEMA II. CAPACITANCIA Y DIELECTRICOS SUBTEMA: II.4, II.5, II.6 y II.7 |
| 4 | RESISTENCIA ÓHMICA, RESISTIVIDAD Y LEY DE OHM | TEMA III. CIRCUITOS ELÉCTRICOS SUBTEMA: III.1, III.2 y III.3 |
| 5 | FUENTES DE FUERZA ELECTROMOTRIZ (PARTE 1) (USO Y MANEJO DEL OSCILOSCOPIO) | TEMA III. CIRCUITOS ELÉCTRICOS SUBTEMA III.7 |
| 6 | FUENTES DE FUERZA ELECTROMOTRIZ (PARTE 2) | TEMA III. CIRCUITOS ELÉCTRICOS SUBTEMA III.5 y III.7 |
| 7 | LEYES DE KIRCHHOFF Y CIRCUITO R.C. | TEMA III. CIRCUITOS ELÉCTRICOS SUBTEMA III.6 |
| 8 | CAMPOS MAGNÉTICOS ESTACIONARIOS | TEMA IV. CAMPO MAGNÉTICO SUBTEMA IV.1, IV.2, IV.3, IV.4 y IV.5 |
| 9 | LEY DE LA INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA DE FARADAY Y CIRCUITO RL | TEMA V. INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA SUBTEMA V.1, V.2, V.3, V.4, V.6 y VI.5 |
| 10 | PROPIEDADES MAGNÉTICAS | TEMA VI. PROPIEDADES MAGNÉTICAS SUBTEMA VI.1, VI.2, VI.3 y VI.4 |

**LABORATORIO DE ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO
DEPARTAMENTO DE FÍSICA**

**PRÁCTICA No. I
CARGA ELÉCTRICA, CAMPO Y POTENCIAL ELÉCTRICO**

CUESTIONARIO PREVIO

1. Defina los siguientes conceptos: carga eléctrica y Ley de la Conservación de la Carga Eléctrica.
2. La unidad de carga es el Coulomb. ¿A cuántos electrones equivale?
3. Los tres procedimientos para cargar un cuerpo eléctricamente son frotamiento, inducción y contacto. ¿En qué consiste cada procedimiento?
4. Charles Augustin Coulomb estableció la ley que cuantifica las fuerzas electrostáticas. Enuncie brevemente en qué consiste su experimento, establezca su ecuación e identifique cada término en ella.
5. Mencione el principio de funcionamiento de:
 - a. Un generador Van de Graaff de efecto corona.
 - b. Un generador Van de Graaff por fricción.
6. Defina el concepto de intensidad de campo eléctrico y establezca la expresión matemática debido a una carga puntual aislada.
7. Enuncie las características de las líneas de fuerza que representan un campo eléctrico y dibuje las líneas de campo eléctrico debido a tres formas geométricas diferentes de cuerpos cargados uniformemente.
8. Se afirma que en el interior de un material conductor cargado el campo eléctrico es cero. Dé una explicación al respecto.
9. Defina el concepto de potencial eléctrico (voltaje) en función del campo eléctrico y establezca su ecuación.
10. La distribución del potencial eléctrico en un campo eléctrico puede representarse gráficamente por superficies equipotenciales. Describa las características de una superficie equipotencial y dibuje tres ejemplos.
11. Si se conoce la función de potencial eléctrico en cierta región del espacio; defina la ecuación que permite calcular el campo eléctrico en esa región (Gradiente de potencial eléctrico). Dar su respuesta en coordenadas cartesianas.

OBJETIVOS

- I. Demostrar de manera experimental la forma de cargar y descargar un cuerpo eléctricamente.
- II. Describir el funcionamiento del electroscopio de láminas y del generador Van de Graaff.
- III. Describir la configuración de campo eléctrico debido a diferentes formas geométricas de cuerpos cargados eléctricamente.
- IV. Determinar las superficies equipotenciales debidas a un campo eléctrico uniforme.
- V. Evaluar el campo eléctrico a partir del gradiente de potencial.

INTRODUCCIÓN

Carga eléctrica y Ley de Coulomb

En la naturaleza existen dos tipos de cargas denominados:

Electrones \ominus carga negativa (-)

Protones \oplus carga positiva (+)

La unidad de la carga es el Coulomb [C]

Por naturaleza los cuerpos están en un estado neutro, esto indica que tienen el mismo número de protones y electrones. Si un cuerpo contiene un exceso de electrones se dice que el cuerpo se encuentra cargado negativamente (figura 1.1); si tiene un exceso de protones el cuerpo se encuentra cargado positivamente (figura 1.2).

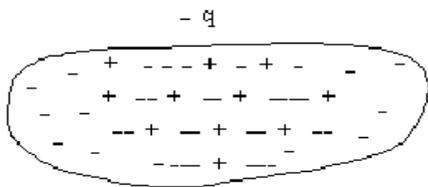


Figura 1.1 Cuerpo cargado negativamente

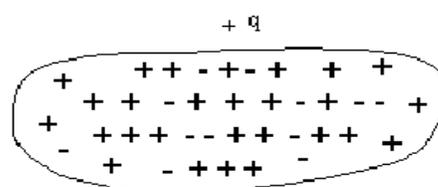


Figura 1.2 Cuerpo cargado positivamente

Ley de Signos de las Cargas: cargas del mismo signo se repelen y cargas de signo contrario se atraen. En la figura 1.3, se ilustra tal situación.

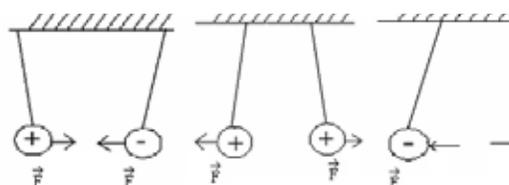


Figura 1.3 Comportamiento de las cargas (Ley de Signos de las Cargas)

Ley de Coulomb

Nos permite calcular la fuerza eléctrica entre dos cargas eléctricas, como se observa en la figura 1.4.

$$\vec{F} = k \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} \hat{r}_{12}$$

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

$$k = 9 \times 10^9 \left[\frac{N \cdot m^2}{C^2} \right]$$

$$\hat{r}_{12} = \frac{\vec{r}_{12}}{|\vec{r}_{12}|}$$

\vec{F} - Fuerza eléctrica [N]

q_1 y q_2 Cargas eléctricas [C]

r_{12} - Distancia entre las cargas [m]

k - Constante de proporcionalidad

$\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \left[\frac{C^2}{N \cdot m^2} \right]$ Permitividad eléctrica del vacío

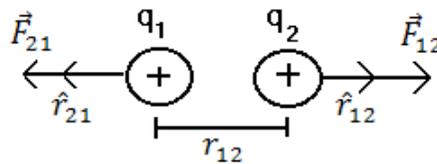


Figura 1.4 Fuerzas eléctrica entre dos cargas puntuales

Si se trata de varias cargas y se requiere encontrar la fuerza resultante sobre una de ellas, debido a las otras cargas, entonces se realiza una suma vectorial de estas (figura 1.5).

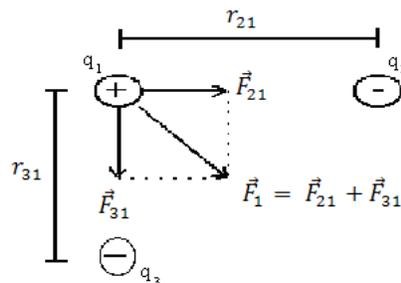


Figura 1.5 Fuerzas eléctrica entre tres cargas puntuales

Generalizando:

$$\vec{F}_1 = \vec{F}_{21} + \vec{F}_{31} + \dots + \vec{F}_{n1}$$

En donde:

$$\vec{F} = F_x \hat{i} + F_y \hat{j} + F_z \hat{k}$$

Por consecuencia:

$$F_R = \sum F_x \hat{i} + \sum F_y \hat{j} + \sum F_z \hat{k}$$

Cuya magnitud es:

$$|\vec{F}_R| = \sqrt{(\sum F_x)^2 + (\sum F_y)^2 + (\sum F_z)^2}$$

Además, los cosenos directores se escriben:

$$\cos\theta_x = \frac{\sum F_x}{|\vec{F}_R|} \quad \cos\theta_y = \frac{\sum F_y}{|\vec{F}_R|} \quad \cos\theta_z = \frac{\sum F_z}{|\vec{F}_R|}$$

Ley de la Conservación de la Carga Eléctrica

La carga no se crea ni se destruye y en el proceso de cargar eléctricamente un material solo se transfiere de un material a otro.

Campo Eléctrico

Si consideramos una carga q en posición fija, y se mueve lentamente a su alrededor una segunda carga q_0 (carga de prueba), se observa que en todas partes existe una fuerza sobre esta carga q_0 . Por tanto se manifiesta la existencia de un campo de fuerza, denominado *campo eléctrico*.

Intensidad de Campo Eléctrico

Definición: la intensidad de campo eléctrico \vec{E} es la fuerza eléctrica por unidad de carga de prueba (figura 1.6).

Campo Eléctrico para cargas puntuales

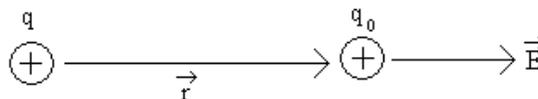


Figura 1.6 Campo eléctrico para una carga puntual

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} \left[\frac{N}{C} \right]$$

\vec{E} .- Campo eléctrico
 \vec{F} .- Fuerza eléctrica
 q_0 .- Carga de prueba

Pero la fuerza para una carga puntual es $\vec{F}_e = k \frac{q q_0}{r^2} \hat{r}$

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} = k \frac{q q_0}{r^2 q_0} \hat{r} \quad \vec{E} = k \frac{q}{r^2} \hat{r}$$

Debido a varias cargas puntuales la intensidad de campo eléctrico resultante en un punto se puede obtener:

$$\vec{E}_p = \vec{E}_{1p} + \vec{E}_{2p} + \vec{E}_{3p} + \dots + \vec{E}_{np}$$

Intensidad de campo eléctrico debido a un dipolo eléctrico (Figura 1.7).

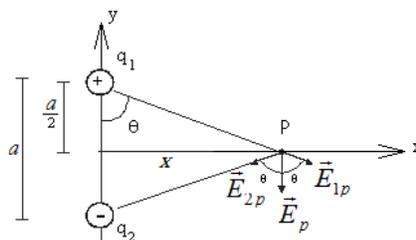


Figura 1.7 Dipolo eléctrico

Donde $|+q_1| = |-q_2| = q$

$$|\vec{E}_p| = |\vec{E}_{1p}| \cos \theta + |\vec{E}_{2p}| \cos \theta$$

donde:

$$E_{1p} = \frac{kq}{\left(x^2 + \left(\frac{a}{2}\right)^2\right)} \quad E_{2p} = \frac{kq}{\left(x^2 + \left(\frac{a}{2}\right)^2\right)} \quad \cos \theta = \frac{\frac{a}{2}}{\sqrt{x^2 + \left(\frac{a}{2}\right)^2}}$$

Obteniendo la suma

$$\vec{E}_{Rp} = k \frac{qa}{\left[x^2 + \left(\frac{a}{2}\right)^2\right]^{3/2}}$$

$P = qa$: se conoce como momento dipolar eléctrico

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{p}{\left[x^2 + \left(\frac{a}{2}\right)^2\right]^{3/2}}$$

Si suponemos que $x \gg a$

$$E = k \frac{p}{x^3}$$

Los campos eléctricos se pueden representar por líneas de fuerza (figura 1.8). Para dibujar las líneas deben cumplir las siguientes características:

- Las líneas de fuerza dan la dirección del campo eléctrico en cualquier punto.
- Las líneas de fuerza se originan en la carga positiva y terminan en la carga negativa.
- Las líneas de fuerza se trazan de tal forma que el número de líneas por unidad de área de sección transversal son proporcionales a la magnitud del campo eléctrico.
- Las líneas tienen dirección normal al área de donde salen o entran y nunca se cruzan.

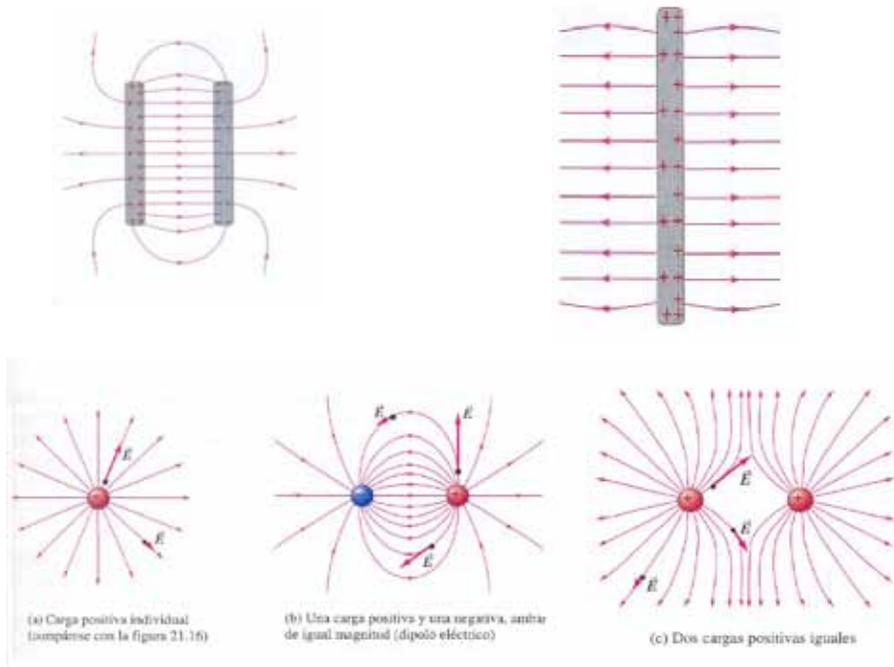


Figura 1.8 Configuraciones del campo eléctrico para diferentes distribuciones de carga

Potencial eléctrico

Se define como el trabajo realizado por una carga para ir de un punto a otro o como la diferencia de la energía potencial eléctrica por unidad de carga de prueba:

$$\Delta V = \frac{\Delta U}{q_0} \quad \text{o bien} \quad V_{ab} = \frac{U_b - U_a}{q_0}$$

ahora si el sistema es conservativo $U_{ab} = w_{ab}$

por tanto

$$V_{ab} = V_b - V_a = \frac{-w_{ab}}{q_0} \quad [\text{V}]$$

$$1 \text{ volt} = \frac{1 \text{ Joule}}{1 \text{ Coulomb}}$$

Potencial eléctrico a partir del campo eléctrico.

$$W_{ab} = \int \vec{F} \cdot d\vec{l} = (-q_0 E)(L) = -q_0 EL$$

$$\frac{W_{ab}}{q_0} = -EL$$

$$V_{ab} = V_b - V_a = -EL [V]$$

Potencial eléctrico debido a una carga puntual (Figura 1.9).

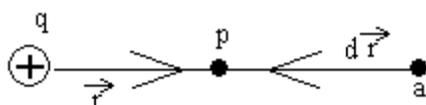


Figura 1.9 Potencial eléctrico debido a una carga puntual

$$V_p - V_a = -\int_a^p \vec{E} d\vec{l} = \int_{r_a}^{r_p} \vec{E} d\vec{r}$$

$$V_p - V_a = -kq \int_a^p \frac{1}{r} dr$$

$$V_p - V_a = -kq \left(\frac{1}{r_p} - \frac{1}{r_a} \right), \text{ si } r_a \rightarrow \infty$$

$$V_p = k \frac{q}{r_p}$$

Cabe recordar que el potencial eléctrico es una magnitud escalar y su valor para “N” cargas aisladas es:

$$V_p = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n$$

Superficies equipotenciales

Son aquellas superficies que en cualquier punto tienen el mismo potencial (figura 1.10).

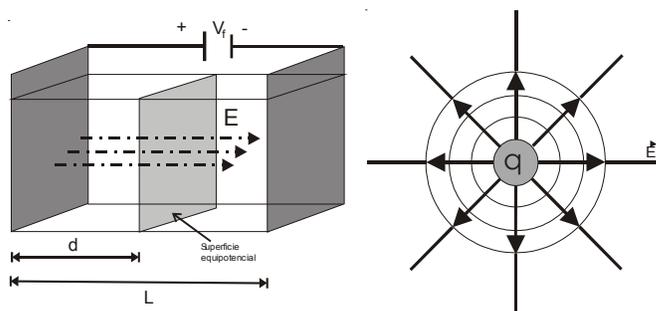


Figura 1.10 Superficies equipotenciales

$$V = EL \quad ; \quad E = \frac{V}{L} \left[\frac{V}{m} \right]$$

Podemos usar el gradiente de potencial para considerar las direcciones de variación máxima del potencial:

si $V(x, y, z)$

entonces $\nabla V(x, y, z) = -\vec{E}$

además $\nabla = \frac{\partial}{\partial x} \hat{i} + \frac{\partial}{\partial y} \hat{j} + \frac{\partial}{\partial z} \hat{k}$

donde

$$E_x = -\frac{\partial V}{\partial x}; E_y = -\frac{\partial V}{\partial y}; E_z = -\frac{\partial V}{\partial z}$$

CONCEPTOS NECESARIOS

1. Carga eléctrica y formas de cargar eléctricamente un cuerpo.
2. Ley de la conservación de la carga eléctrica.
3. Ley de los signos de las cargas eléctricas.
4. Ley de Coulomb.
5. Tipos de distribución de carga.
6. Campo y potencial eléctrico.
7. Superficies equipotenciales.
8. Gradiente de potencial.

MATERIAL Y EQUIPO

- Una piel de conejo.
- Una barra de vidrio.
- Un electroscopio de láminas.
- Un generador Van de Graaff.
- Una caja de acrílico con aceite comestible.
- Electrodo: dos puntuales, cuatro placas planas, dos cilindros huecos y un conductor recto.
- Una caja de acrílico con arena cernida y húmeda.
- Una fuente de poder.
- Cables de conexión.
- Un multímetro digital.
- Dos esferas, una de cargas inducidas y otra de descarga.
- Semillas de pasto.
- Una regla de plástico graduada de 30 cm.
- Un guante de látex.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL Y OBSERVACIONES DEL ESTUDIANTE

Formas de cargar un cuerpo eléctricamente (contacto, frotamiento e inducción)

- a) Explicación por parte del profesor del principio de funcionamiento del electroscopio de láminas.
- b) Frote la piel de conejo con la barra de vidrio y póngala en contacto con el electroscopio de láminas como se muestra en la figura 1.11a.

Sugerencia: usar el guante de látex para tomar la barra de vidrio

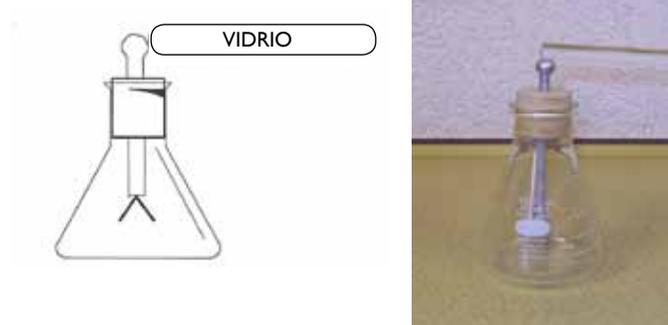


Figura 1.11a Electroscopio de láminas, carga por contacto

1. Explique qué sucede con las hojas del electroscopio en el inciso b).

- c) Frote nuevamente la barra de vidrio con la piel de conejo y acérquela con lentitud al electroscopio de láminas sin que se toque, figura 1.11b.



Figura 1.11b Electroscopio de láminas, carga por inducción

2. ¿Qué sucede con las hojas del electroscopio en el inciso c)?

3. Con respecto a los incisos b) y c), ¿qué formas de cargar un cuerpo observó? Explique.

Operación del Generador Van de Graaff

- d) El instructor explicará el funcionamiento del generador Van de Graaff.
- e) Acerque la esfera de carga inducida al casco del generador Van de Graaff y aproxímela lentamente al electroscopio de láminas (figura 1.12).



Figura 1.12 Generador Van de Graaff

4. En el Generador Van de Graaff, ¿dónde se acumularon las cargas?

Configuración de campo eléctrico

- f) Considerar el siguiente dispositivo figura 1.13.

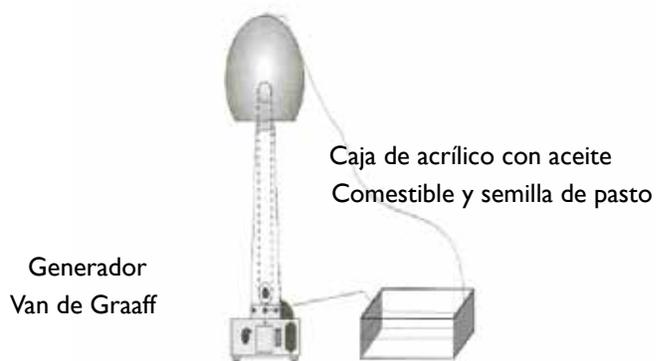


Figura 1.13 Configuración de campo eléctrico

- g) Coloque de manera correspondiente los siguientes electrodos en la caja de acrílico con aceite comestible.
- Un puntual (antes conecte al casco del generador).
 - Un conductor recto (antes conecte al casco del generador).
 - Dos puntuales (conecte uno al casco del generador y el otro a la base del mismo).
 - Una placa plana (conecte al casco del generador).
 - Dos placas planas (conecte una al casco del generador y la otra a la base del mismo), añadiendo posteriormente un cilindro hueco entre ellas.
 - Un cilindro hueco (antes conecte éste al casco del generador).
5. Dibuje, auxiliándose con líneas de fuerza, las configuraciones que representan al campo eléctrico debido a los electrodos utilizados en el inciso g).

Dibuje:

6. Compare sus configuraciones anteriores con las representaciones de su libro de texto. ¿Qué concluye al respecto?

Determinación de superficies equipotenciales debido a un campo eléctrico uniforme existente entre dos placas paralelas.

- h) Arme el dispositivo de la figura 1.14 y aplique un voltaje de 20 [VCD].

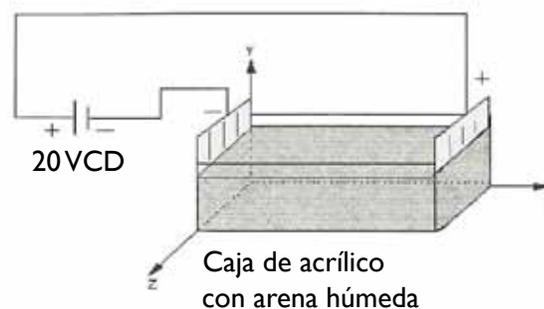
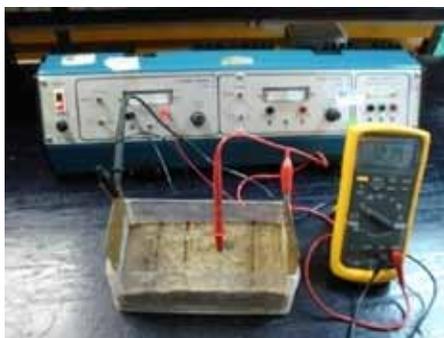


Figura 1.14 Superficies equipotenciales debido a un \vec{E} entre placas planas

Nota: verifique que la arena esté húmeda y las placas libres de aceite.

- i) Con ayuda del multímetro en la función de **voltímetro** localice superficies equipotenciales entre las placas, en donde el voltaje sea constante e igual a 4, 8, 12, 16 y 20 [VCD]. Anote sus resultados en la tabla I.1.

| VOLTAJE [V] | DISTANCIA (EJE X) [m] | CAMPO ELÉCTRICO [V/m] |
|-------------|-----------------------|-----------------------|
| 4 | | |
| 8 | | |
| 12 | | |
| 16 | | |
| 20 | | |

Tabla I.1 Superficies equipotenciales debido a un E entre placas planas

7- Con los datos de la tabla I.1 calcule el campo eléctrico para cada caso y concentre sus resultados en la misma.

8.- El campo eléctrico calculado en la tabla I.1, ¿se comportó de manera uniforme? Explique.

9. Represente en tres dimensiones, por medio de un diagrama, las superficies equipotenciales correspondientes a la tabla I.1.

Dibuje:

10. ¿Qué sucede con el campo eléctrico respecto a los demás ejes en el inciso i)?

j) Introduzca un cilindro electrostático centrándolo en la caja de superficies equipotenciales según se muestra en la figura I.15.

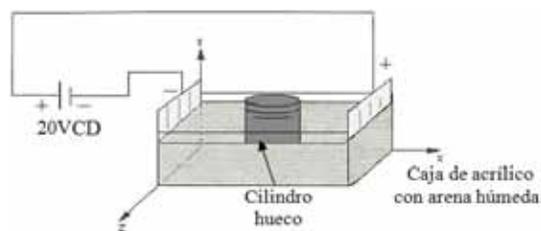
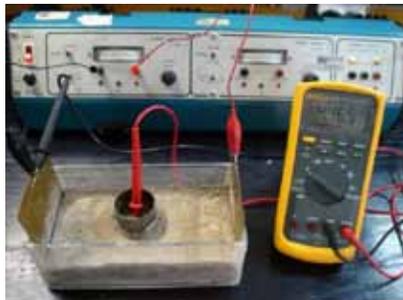


Figura I.15 Superficies equipotenciales al insertar un cilindro

Nota: verifique que la arena esté húmeda y el cilindro libre de aceite.

- k) Con ayuda del multímetro en la función de **voltímetro**, mida en dos puntos diferentes dentro del cilindro y anote el valor en la siguiente tabla:

| LECTURAS | VOLTAJE |
|----------|---------|
| 1 | |
| 2 | |

Tabla 1.2 Superficies equipotenciales con cilindro

ESCRIBA SUS CONCLUSIONES Y COMENTARIOS DE LA PRÁCTICA CORRESPONDIENTE.

LABORATORIO DE ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO

PRÁCTICA No. 2
CAPACITANCIA Y CAPACITORES

CONTENIDO PROGRAMÁTICO RELACIONADO:

TEMA II. CAPACITANCIA
SUBTEMAS II.1, II.2 y II.3

SEMESTRE LECTIVO: _____

| | | |
|-----------------|-------------------------|--------------|
| ALUMNO | NÚMERO DE CUENTA | GRUPO |
| | | |
| PROFESOR | | FIRMA |
| | | |

| CONCEPTO | CALIFICACIÓN |
|---------------------------|---------------------|
| Cuestionario Previo (30%) | |
| Desarrollo (35%) | |
| Cuestionario Final (35%) | |
| Calificación Práctica 2 | |

**LABORATORIO DE ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO
DEPARTAMENTO DE FÍSICA**

**PRÁCTICA No. 2
CAPACITANCIA Y CAPACITORES**

CUESTIONARIO PREVIO

1. Defina el concepto de capacitancia eléctrica, además describa los elementos fundamentales que forman un capacitor.
2. ¿Cuántos tipos de capacitores existen? Dé una clasificación de acuerdo al material dieléctrico empleado entre sus placas, además indique cuáles son los capacitores polarizados y no polarizados.
3. ¿Cuál es el código de colores para los capacitores?
4. ¿Qué es un LED y cómo se conecta? Además dibuje su símbolo eléctrico.
5. Al conectarse un capacitor a las terminales de una batería de fuerza electromotriz (fem):
 - a) ¿Por qué cada placa adquiere una carga de la misma magnitud exactamente?
 - b) ¿En qué situación se considera que el capacitor adquirió su carga máxima?
6. Una vez que se ha cargado por completo un capacitor, ¿en dónde almacena su energía acumulada?
7. ¿Qué parámetros se deben cuidar para no dañar un capacitor?
8. Deduzca la relación que cuantifica un arreglo de capacitores en paralelo. ¿Qué relación guardan entre sí los voltajes entre placas de cada capacitor en este tipo de arreglo?
9. Deduzca la relación que cuantifica un arreglo de capacitores en serie. ¿Qué relación guardan entre sí las cargas en las placas de los capacitores en este tipo de arreglo?
10. Mencione tres aplicaciones de capacitores.

OBJETIVOS

- I. Distinguirá los diferentes tipos de capacitores y sus características.
- II. Verificará que los capacitores almacenan energía.
- III. Verificará la relación que cuantifica la carga y el voltaje en un arreglo de capacitores en sus diferentes tipos de conexión.

INTRODUCCIÓN

Capacitancia y capacitores

El capacitor es un dispositivo que nos permite almacenar energía eléctrica. La figura 2.1a muestra la constitución básica del capacitor y la figura 2.1b sus diferentes representaciones gráficas.

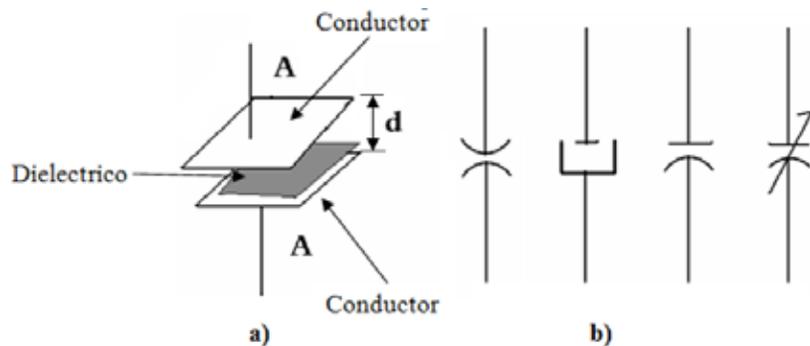


Figura 2.1 Constitución de un capacitor (a) y Simbología de capacitores (b)

El símbolo del capacitor es la letra **C**. El símbolo gráfico que se utiliza depende de la construcción particular del capacitor, como se explicará más adelante. La unidad de capacitancia es el faradio, que se simboliza **F**, el faradio es una unidad demasiado grande, por lo que se acostumbra utilizar unidades menores como el microfaradio [mF] y el picofaradio [pF].

$$1[\mu F] = 10^{-6}[F] ; 1[pF] = 10^{-12}[F]$$

En principio, el capacitor está constituido por dos placas metálicas, separadas por un material aislante que puede ser aire o cualquier otro material dieléctrico (figura 2.1a).

La capacitancia de un capacitor está determinada por tres factores:

La superficie (A) de las placas conductoras.

La distancia (d) entre las placas.

La constante dieléctrica K_e o ϵ_r , la cual es una característica del tipo de material aislante entre las placas.

La expresión matemática de la capacitancia en función de los tres factores mencionados está dada en la siguiente ecuación:

$$C = \epsilon \frac{A}{d}$$

En donde: A [m²]

d [m]

C [F]

Siendo:

$$\epsilon = \epsilon_r \epsilon_0 \quad \text{o} \quad \epsilon = K_e \epsilon_0$$

ϵ_0 – Permitividad del vacío;

$$\epsilon_0 \left[\frac{C^2}{Nm^2} \right] \quad \text{o} \quad \left[\frac{F}{m} \right]$$

Los capacitores de bajo valor de capacitancia (picofaradios) tienen aislamiento pasivo, tal como papel impregnado en aceite y varios materiales plásticos y sintéticos. Los capacitores de valores elevados de capacitancia (microfaradios) tienen por lo general aisladores activos, basados en procesos químicos. Esta sustancia se llama “electrolito” por lo que tales capacitores se denominan electrolíticos. Existe una diferencia fundamental entre un capacitor común y un capacitor electrolítico, desde el punto de vista de su conexión al circuito eléctrico. En un capacitor común, la polaridad no tiene importancia. Un capacitor electrolítico tiene polaridad, positiva y negativa, marcados con (+) y (-) respectivamente. Se debe conectar la terminal positiva del capacitor a la terminal de mayor potencial en el circuito eléctrico y de manera inversa en lo que respecta a la terminal negativa. Cuando se conecta un capacitor con la polaridad invertida, no sólo el electrolito no es activado, sino que existe la posibilidad de que el capacitor se deteriore por lo que puede quedar en forma permanente dañado (explote).

Otro tipo de capacitor de mucho uso es el que tiene aire como dieléctrico. La mayoría de estos son de capacitancia variable, por lo que se les llama “capacitores variables”. La capacitancia varía cambiando la superficie superpuesta de las placas. Los capacitores variables son utilizados en circuitos en los cuales el valor de la capacitancia debe ser cambiada con exactitud a fin de adaptarse a los parámetros del circuito requerido, antes o durante el funcionamiento del circuito (ejemplo: para sintonizar frecuencias en el receptor de radio).

Voltaje del capacitor en función de la carga y la capacitancia

La carga que se acumula en el capacitor provoca una diferencia de potencial entre sus placas. Cuanto mayor es la carga, mayor será el voltaje sobre el capacitor; es decir, la carga Q y el voltaje V son directamente proporcionales entre sí. Por otra parte, la capacitancia C tiene influencia inversa sobre el voltaje; una cierta carga eléctrica en un capacitor de baja capacidad producirá un voltaje mayor si la misma carga se encontrase en un capacitor de capacitancia elevada.

La relación entre la carga y el voltaje en un capacitor está dada por la siguiente ecuación:

$$V = \frac{Q}{C}$$

Donde: V es el voltaje entre placas del capacitor [V]

Q es la carga [C]

C es la capacitancia

Conexión de capacitores

Los capacitores pueden ser conectados en serie, en paralelo y en combinaciones serie-paralelo. El cálculo de la capacitancia está basado en la ecuación anterior que da el voltaje en función de la carga y de la capacitancia del capacitor.

La figura 2.2 muestra un circuito de dos capacitores conectados en paralelo.

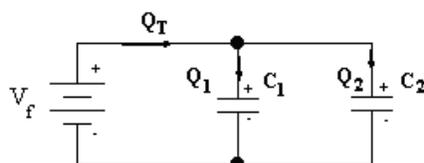


Figura 2.2 Conexión de capacitores en paralelo

La ecuación que da la carga total Q_T que es transferida de la fuente V_f a los “n” capacitores conectados en paralelo es la siguiente:

$$Q_t = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n$$

En el caso particular de dos capacitores en paralelo obtendremos:

$$Q_t = Q_1 + Q_2$$

Si sustituimos la ecuación anterior en la relación entre la carga y el voltaje en un capacitor (en este caso $V_f = V$) obtenemos:

$$Q_t = Q_1 + Q_2 = VC_1 + VC_2 = V(C_1 + C_2)$$

De la anterior ecuación se puede llegar a la conclusión de que cuando se conectan “n” capacitores en paralelo se obtiene la siguiente relación:

$$C_t = C_1 + C_2 + \dots + C_n$$

Es decir, la capacitancia total de la conexión en paralelo es igual a la suma de las capacitancias de los capacitores conectados.

Analicemos ahora un circuito eléctrico con capacitores conectados en serie según se muestra en la figura 2.3.

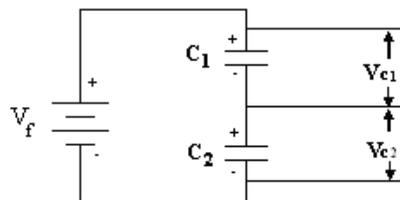


Figura 2.3 Conexión de capacitores en serie

En la conexión paralelo de capacitores, el voltaje es el mismo entre terminales de cada capacitor. En la conexión serie de capacitores, la carga es la misma en cada placa de cada capacitor.

De acuerdo con la ley de voltajes de Kirchhoff, la suma de las caídas de voltaje en un circuito serie es igual al voltaje de la fuente:

$$V_f = V_{C1} + V_{C2} + \dots + V_{Cn}$$

Sustituyendo la relación entre la carga y el voltaje en un capacitor en la ecuación anterior obtenemos:

$$V_f = \frac{Q_1}{C_1} + \frac{Q_2}{C_2} + \dots + \frac{Q_n}{C_n}$$

$$Q_1 = Q_2 = \dots = Q_n = Q$$

De donde se obtiene:

$$\frac{V_f}{Q} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

Además

$$\frac{V_f}{Q} = \frac{1}{C_T}$$

Por tanto:

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

En el caso particular de dos capacitores en serie obtenemos:

$$C_T = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

Almacenamiento de energía en un capacitor

La diferencia de potencial entre las placas es $V = q / C$, pero al transferir un elemento diferencial de carga dq , el cambio dU resultante en la energía potencial eléctrica es de acuerdo a la ecuación: $dU = Vdq$ y que al sustituir $V = \frac{q}{C}$ tenemos:

$$dU = \frac{q}{C} dq$$

Integrando

$$U = \int_0^q dU = \int_0^q \frac{q}{C} dq$$

Se obtiene:

De la relación $Q = CV$ obtenemos:

$$U = \frac{Q^2}{2C} [J]$$

$$U = \frac{1}{2} CV^2 [J]$$

El capacitor real

Hasta ahora hemos considerado al capacitor como elemento ideal, no obstante sabemos que los capacitores reales no son ideales: la resistencia del material dieléctrico entre las placas no es infinita, por esta razón existe una resistencia entre las placas del capacitor por la que fluye corriente. Esta resistencia es llamada “resistencia de pérdidas” y su símbolo es R_{LK} .

El capacitor puede ser representado eléctricamente por un circuito equivalente que contiene un elemento capacitivo en paralelo con una resistencia de pérdidas (figura 2.4).

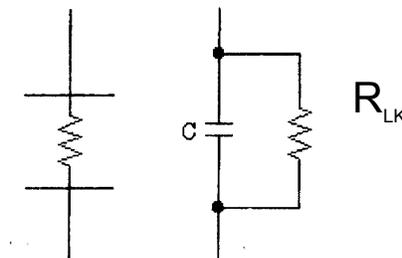


Figura 2.4 Capacitor real

CONCEPTOS NECESARIOS

1. Capacitor y capacitancia.
2. Clasificación de capacitores.
3. Arreglo de capacitores en serie y paralelo.
4. Energía almacenada en los capacitores.

MATERIAL Y EQUIPO

- Una bocina.
- Un generador digital de señales.
- Un tablero con muestras de capacitores.
- Una fuente de poder de CD.
- Un multímetro.
- Capacitores de 2200 mF a 16V, 500 mF a 50V, 100 mF a 16V, 47 mF a 16V y 22 mF a 16V.
- Un Capacitor de 22 mF a 16V para prueba destructiva.
- Una caja de acrílico.
- Diez cables de conexión tipo bula.
- Cables de conexión.
- Un LED a 3V.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL Y OBSERVACIONES DEL ESTUDIANTE

Tipos de capacitores y sus características

- a) Explicación por parte del profesor, con ayuda del tablero de muestra de capacitores, de los diferentes tipos y sus características (figura 2.5).



Figura 2.5 Tablero de capacitores

1.- Con base en la explicación y a lo observado, ¿qué parámetros debe especificar el fabricante de un capacitor?

Prueba destructiva de capacitores

- b) Arme el circuito de la figura 2.6, observe que en la conexión de la polaridad del capacitor está invertida y además tiene un voltaje mayor al voltaje de trabajo. Antes de energizar el circuito debe estar puesta la caja de acrílico
- c) Energice el circuito, déjelo conectado por un lapso y observe lo que sucede.

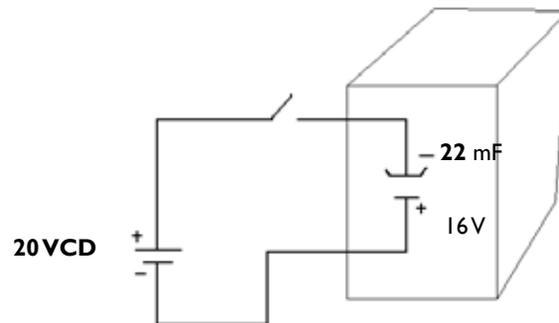


Figura 2.6 Prueba destructiva de capacitor

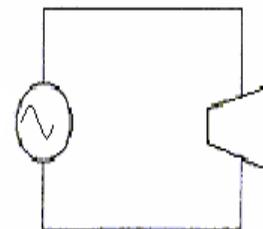
2.- ¿Por qué debemos respetar el valor del voltaje y la polaridad especificados en los capacitores?

Capacitor como filtro de señal de audio

- d) Explicación por parte del profesor del funcionamiento de un capacitor como filtro de señal de audio.
- e) Arme el circuito de la figura 2.7.



Generador de funciones



Bocina

Figura 2.7 Circuito de audio

- f) Varíe la frecuencia en el generador, hasta escuchar un sonido y siga incrementándola hasta que se deje de oír.
- 3.- De acuerdo a lo escuchado, ¿cuál es el rango de la frecuencia audible?

- g) Mantenga una frecuencia audible y a continuación agregue un capacitor que sirva como filtro, según se muestra en la figura 2.8 y escuche el cambio de sonido.

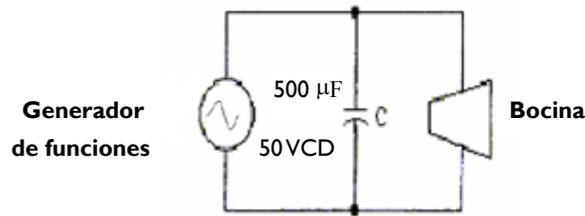


Figura 2.8 Circuito de audio con capacitor (filtro)

- 4.- ¿Cómo funciona un capacitor como filtro para señales de audio y qué concluye respecto a lo sucedido?

Almacenamiento de energía en un capacitor

- h) Verifique que el capacitor de 2200 mF se encuentre descargado y posteriormente conéctelo a la fuente de poder, como se indica en la figura 2.9.

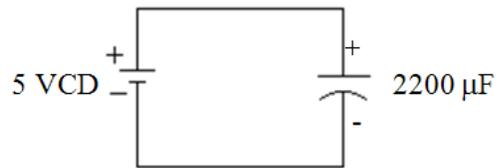
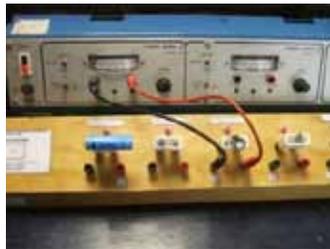


Figura 2.9 Energización de un capacitor

- i) Desconecte el capacitor, teniendo cuidado de no tocar sus terminales y conéctelo a las terminales del voltímetro según se muestra en la figura. 2.10.



Figura 2.10 Desenergización de un capacitor

- 5.-De acuerdo a lo sucedido, explique por qué el voltímetro marca un voltaje al conectarse al capacitor.

- j) Repita el inciso h), pero ahora conecte un LED (diodo emisor de luz) a las terminales del capacitor, cuidando su polaridad, como se indica en la figura 2.11 y observe lo que sucede.

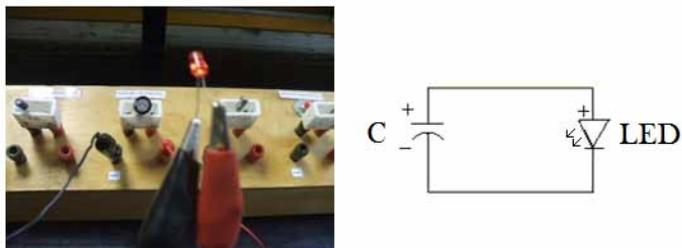


Figura 2.11 Desenergización de un capacitor con LED

6.- ¿Qué concluye de acuerdo a lo observado en el inciso anterior?

Circuitos con capacitores

- k) Arme el circuito de la figura 2.12, cuidando la polaridad de los capacitores.

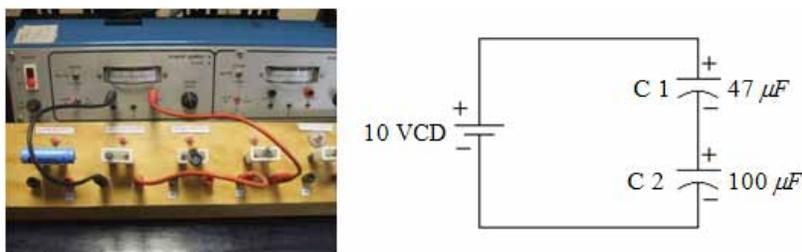


Figura 2.12. Capacitores en serie

- l) Mida el voltaje en los capacitores C_1 y C_2 , anotando los valores obtenidos en la tabla 2.1.

- m) Arme el circuito de la figura 2.13.

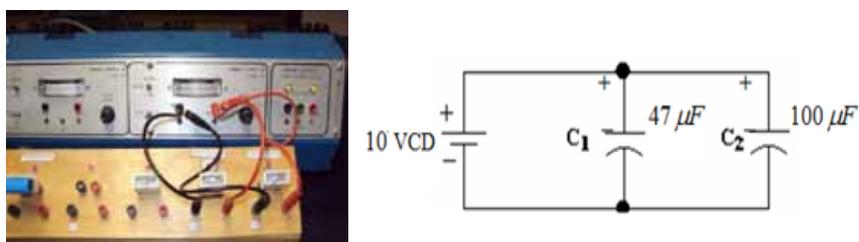


Figura 2.13 Capacitores en paralelo

- n) Mida el voltaje en cada capacitor C_1 y C_2 y concentre sus resultados en la tabla 2.1.
- ñ) Arme el circuito de la figura 2.14.

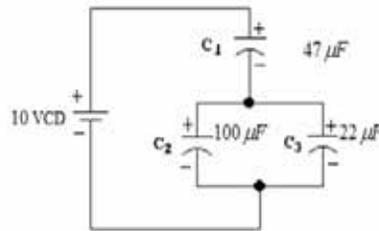


Figura 2.14 Capacitores serie-paralelo

- o) Mida el voltaje en cada capacitor C_1 , C_2 y C_3 concentrando sus resultados en la tabla 2.1.

| CIRCUITO | V_{C_1} [V] | V_{C_2} [V] | V_{C_3} [V] |
|-------------|---------------|---------------|---------------|
| Figura 2.12 | | | |
| Figura 2.13 | | | |
| Figura 2.14 | | | |

Tabla 2.1 Concentrado de voltajes en capacitores

7.- A partir de la tabla 2.1, diga si se cumple o no la relación de carga igual en capacitores en serie y justifique su respuesta con cálculos.

Cálculos:

8.- Para capacitores conectados en paralelo el voltaje es igual entre sus terminales. De acuerdo a los valores de la tabla 2.1, ¿se cumple para los circuitos de las figuras, 2.13 y 2.14?

9.- De acuerdo a las mediciones de la figura 2.12 y 2.13, ¿en qué circuito se almacena una mayor energía? Justifique su respuesta con cálculos.

Cálculos:

ESCRIBA SUS CONCLUSIONES Y COMENTARIOS DE LA PRÁCTICA CORRESPONDIENTE.

LABORATORIO DE ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO

PRÁCTICA No. 3
CONSTANTES DIELECTRICAS Y RIGIDEZ DIELECTRICA

CONTENIDO PROGRAMÁTICO RELACIONADO:

TEMA II. CAPACITANCIA Y DIELECTRICOS
SUBTEMAS: II.4, II.5, II.6 y II.7

SEMESTRE LECTIVO: _____

| | | |
|-----------------|-------------------------|--------------|
| ALUMNO | NÚMERO DE CUENTA | GRUPO |
| | | |
| PROFESOR | | FIRMA |
| | | |

| CONCEPTO | CALIFICACIÓN |
|---------------------------|---------------------|
| Cuestionario Previo (30%) | |
| Desarrollo (35%) | |
| Cuestionario Final (35%) | |
| Calificación Práctica 3 | |

**LABORATORIO DE ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO
DEPARTAMENTO DE FÍSICA**

**PRÁCTICA No. 3
CONSTANTES DIELECTRICAS Y RIGIDEZ DIELECTRICA**

CUESTIONARIO PREVIO

1. Describir el fenómeno de polarización para un material conductor al introducirlo dentro de un campo eléctrico uniforme; auxíliese por medio de figuras.
2. Describa el fenómeno de polarización para un material dieléctrico al introducirlo dentro de un campo eléctrico uniforme; auxíliese por medio de figuras.
3. Deducir la expresión matemática para la capacitancia de un capacitor de placas planas paralelas.
4. ¿Qué sucede al introducir un dieléctrico entre las placas de un capacitor, aumenta o disminuye su capacitancia? ¿Por qué sucede este fenómeno?
5. Para una diferencia de potencial dada, ¿cómo es la carga que almacena un capacitor con dieléctrico con respecto a la que almacena sin dieléctrico (en vacío), mayor o menor? Justifique su respuesta.
6. Defina la constante dieléctrica de un material e indique su expresión matemática.
7. ¿Qué se entiende por rigidez dieléctrica?
8. Al aplicar una diferencia de potencial a dos placas circulares paralelas, separadas una distancia “d” entre ellas, se da origen a un campo eléctrico entre placas. ¿Cómo se calcula la intensidad de tal campo eléctrico? Indique sus unidades.
9. Elabore una tabla con diez materiales dieléctricos con su respectiva constante dieléctrica y valor máximo de campo eléctrico de ruptura (valor de campo eléctrico antes de la ruptura de rigidez dieléctrica).
10. Defina qué es un transformador eléctrico y qué se entiende como relación de transformación. Indique su expresión matemática. (auxíliese de la introducción de la práctica número 9).

OBJETIVOS

- I. Determinar experimentalmente la constante de la permitividad del aire.
- II. Determinar experimentalmente las constantes dieléctricas de algunos materiales.
- III. Obtener experimentalmente la rigidez dieléctrica del aire, de algunos materiales sólidos y líquidos.

INTRODUCCIÓN

Constantes dieléctricas y rigidez dieléctrica

Cuando un material conductor o no conductor se coloca dentro de un campo eléctrico, se produce siempre una redistribución de las cargas del material (este desplazamiento de cargas resultante del campo exterior aplicado, se llama polarización del material). Si el material es conductor, los electrones libres situados dentro de él se mueven de modo que en el interior del conductor el campo eléctrico se anule y constituya un volumen equipotencial. Si el material es dieléctrico, los electrones y los núcleos de cada molécula (átomo) se desplazan por la acción del campo eléctrico, pero puesto que no hay cargas libres que puedan moverse indefinidamente, el interior del material no se convierte en un volumen equipotencial.

Los dieléctricos se clasifican en polares y no polares. Molécula polar (dipolo eléctrico permanente) es aquella en la cual los centros de gravedad de los protones y electrones no coinciden, además al introducirse en un campo eléctrico ésta se orienta en la dirección del campo eléctrico (figura 3.1).

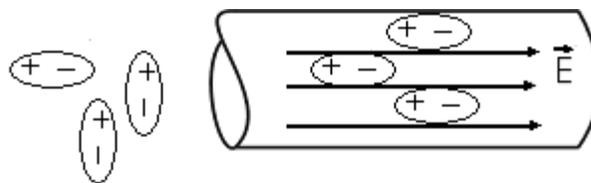


Figura 3.1 Molécula polar

Molécula no polar (dipolo eléctrico inducido). Es aquella en la cual los centros de gravedad de los protones y electrones coinciden, además al introducirse en un campo eléctrico los protones y electrones sufren un desplazamiento orientándose en la dirección del campo eléctrico (figura 3.2).

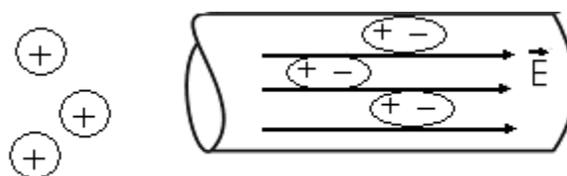


Figura 3.2 Molécula no polar

Se define momento dipolar eléctrico como el producto de una de las cargas por la distancia de separación entre ellas, denotada por $\vec{p} = q\vec{\ell}$ [C • m] cuya dirección se indica en la figura 3.3.

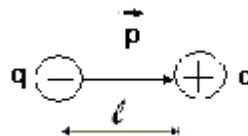


Figura 3.3 Momento dipolar

Si consideramos un bloque de material dieléctrico polarizado según se muestra en la figura 3.4 y aplicando el teorema de Gauss, se obtiene el campo eléctrico en el material dieléctrico.

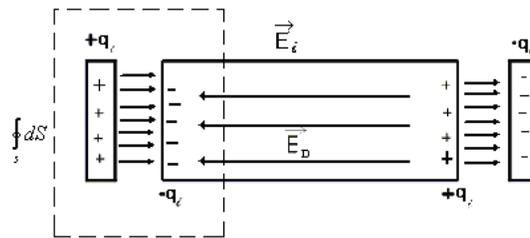


Figura 3.4 Polarización de un material dieléctrico

$$\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{s} = \frac{q_N}{\epsilon_0} = \iint_S \vec{E} \cdot d\vec{s} = \frac{q_N}{\epsilon_0} \text{ Se tiene } E_D = \frac{q_i - q_l}{\epsilon_0 S}$$

o bien $\vec{E}_D = \vec{E}_\ell - \vec{E}_i$

Donde: \vec{E}_D Campo eléctrico resultante en el material dieléctrico

\vec{E}_ℓ Campo eléctrico debido a la carga libre (q_l)

\vec{E}_i Campo eléctrico debido a la carga inducida (q_i)

Ahora, si consideramos la carga en función de la densidad superficial de carga $q = \sigma S$ por tanto

$$\vec{E}_D = \frac{\sigma_\ell - \sigma_i}{\epsilon_0}$$

También se define la razón del momento dipolar a la unidad de volumen como el vector polarización dado por:

$$\vec{p} = \frac{\vec{P}}{v}$$

Al sustituir

$$\vec{p} = q\vec{\ell} = (\sigma S)\vec{\ell}$$

Se tiene:

$$\vec{p} = \sigma \left[\frac{C}{m^2} \right]$$

En particular para materiales dieléctricos se tiene la relación lineal:

$$\vec{p} = X_e \epsilon_0 \vec{E}_D$$

En donde X_e susceptibilidad eléctrica del material es una medida de lo susceptible (o sensible) que es un dieléctrico determinado a los campos eléctricos. Por tanto en la ecuación del campo eléctrico en función de la densidad superficial de carga se tiene:

$$\vec{E}_D = \frac{\sigma_\ell - X_e \epsilon_0 \vec{E}_D}{\epsilon_0}$$

Donde

$$E_D = \frac{\sigma_\ell}{\epsilon_0 (1 + X_e)}$$

Denotando ϵ_R ó $K_R = 1 + X_e$ la permitividad relativa o constante dieléctrica, se tiene:

$$E_D = \frac{\sigma_l}{\epsilon_0 \epsilon_R} = \frac{\sigma_l}{\epsilon}$$

Donde $\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_R$ es la permitividad eléctrica absoluta del material dieléctrico.

Además de $\epsilon_R = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}$ se tiene:

$$\epsilon_R \text{ ó } K_R = \frac{C_D}{C_0}$$

Para mismas dimensiones geométricas (superficie y separación entre placas) de capacitores con dieléctrico (C_D) y sin dieléctrico (C_0).

CONCEPTOS NECESARIOS

1. Materiales conductores y dieléctricos.
2. Polarización de la materia.
3. Capacitancia de dos placas planas paralelas.
4. Constantes dieléctricas.
5. Rigidez dieléctrica.

MATERIAL Y EQUIPO

- Un medidor de capacitancia.
- Un capacitor de placas circulares.
- Muestras circulares de: madera, papel cascaron, hule y fibra de vidrio.
- Un transformador eléctrico.
- Una caja para ruptura de rigidez dieléctrica.
- Un autotransformador variable (variac).
- Un multímetro.
- Muestras cuadradas de: madera, papel cascarón, plástico, vidrio y hule.
- Caja de acrílico con aceite comestible nuevo.
- Caja de acrílico con aceite del número 40.
- Cables de conexión.
- Una regla graduada de 30 cm.
- Un vernier.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL Y OBSERVACIONES DEL ESTUDIANTE

Determinación de la permitividad del aire

- a) Con ayuda del profesor mida la capacitancia del capacitor de placas paralelas, separadas 1mm, como se indica en la figura 3.5.

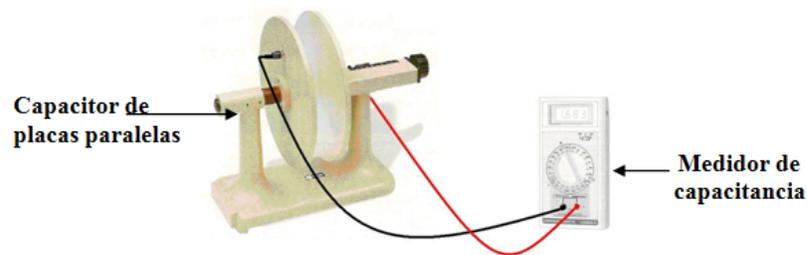


Figura 3.5 Medición de capacitancia

b) Obtenga los valores de capacitancia requeridos en la tabla 3.1.

| d [mm] | C [F] | ϵ_0 (aire) |
|--------|-------|---------------------|
| 1 | | |
| 2 | | |
| 3 | | |
| 4 | | |
| 5 | | |

Tabla 3.1 Constante de permitividad eléctrica

Nota: para calcular la constante de permitividad eléctrica del aire, considere que el diámetro de las placas circulares es de 25.4 cm.

1. Con los valores obtenidos en la tabla 3.1, determine el valor de la permitividad del aire y compárelo con la permitividad del vacío.

Determinación de las constantes dieléctricas

c) Haciendo referencia a la figura 3.5, coloque entre las placas del capacitor, madera, papel cascarón, hule y fibra de vidrio (una a la vez); midiendo la capacitancia en cada caso, primero con dieléctrico y luego sin él, conservando la distancia al sacar el dieléctrico, concentre sus mediciones en la tabla 3.2.

| MATERIAL | C (CON DIELECTRICO) | C (CON AIRE) | Kr |
|-----------------|---------------------|--------------|----|
| Madera | | | |
| Papel cascarón | | | |
| Hule | | | |
| Fibra de vidrio | | | |

Tabla 3.2 Constantes dieléctricas

2. Atendiendo a las mediciones de la tabla 3.2, calcule la constante dieléctrica de cada muestra. Anote sus resultados en la misma.

Rigidez dieléctrica

- d) Arme el dispositivo de la figura 3.6.

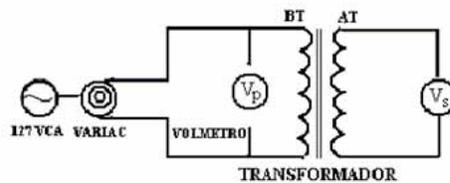


Figura 3.6 Dispositivo para determinar la relación de transformación

- e) Encontrar el voltaje del secundario (V_s) del transformador para los diferentes valores de voltaje del primario (V_p) según muestra la tabla 3.3.

| V_p [V] | V_s [V] | RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN $a = \frac{V_p}{V_s}$ |
|-----------|-----------|---|
| 1 | | |

Tabla 3.3 Relación de transformación

- f) Con ayuda del profesor arme el dispositivo de la figura 3.7.

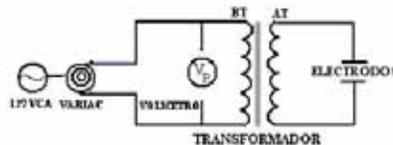


Figura 3.7 Dispositivo de ruptura de rigidez dieléctrica

Precaución: la caja del probador de ruptura debe estar cerrada al aplicar el voltaje

- g) Fije una separación de 10 mm entre electrodos e incremente lentamente la diferencia de potencial con ayuda del variac como se muestra en la figura 3.8, hasta que se produzca la ruptura de rigidez dieléctrica.

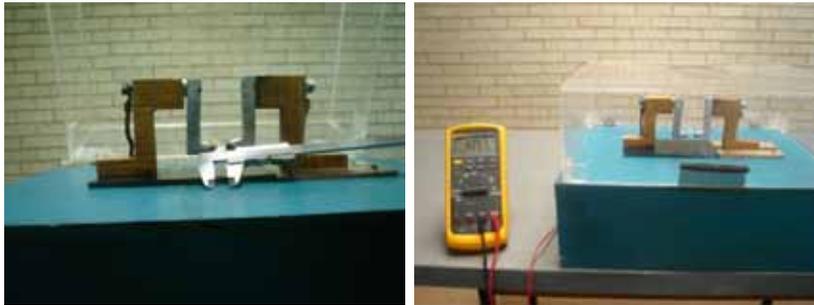


Figura 3.8 Ruptura de rigidez dieléctrica del aire

- h) Realice varias pruebas de acuerdo a la tabla 3.4 y concentre sus lecturas en la misma.

| DISTANCIA [mm] | VOLTAJE DEL PRIMARIO (Vp) [V] | VOLTAJE DE RUPTURA $V_s = V_R = \frac{V_p}{a}$ [V] | CAMPO ELÉCTRICO $E_R = \frac{V_R}{d}$ [V/m] |
|-------------------|-------------------------------------|--|--|
| 10 | | | |
| 8 | | | |
| 6 | | | |
| 4 | | | |
| | | | $E_{R (PROM)} =$ |

Tabla 3.4 Rigidez dieléctrica del aire

3. Calcule el campo eléctrico de ruptura para cada distancia, anote sus resultados en la tabla 3.4 y calcule el valor promedio de E_R (campo eléctrico mínimo de ruptura).

Cálculos:

- i) Con ayuda del dispositivo de la figura 3.9 y de acuerdo a la tabla 3.5 introduzca las muestras de dieléctrico (una a la vez) juntando los electrodos de tal manera que la muestra quede fija entre ellos; incremente con lentitud la diferencia de potencial y determine el voltaje de ruptura correspondiente, concentre sus mediciones en la misma.

| DIELÉCTRICO | DISTANCIA (ESPESOR) [m] | ¿OCURRIÓ RUPTURA? | VOLTAJE DE RUPTURA [V] | CAMPO ELÉCTRICO DE RUPTURA [V/m] |
|-------------------|-------------------------|-------------------|------------------------|----------------------------------|
| Madera | | | | |
| Papel cascarón | | | | |
| Plástico | | | | |
| Hule | | | | |
| Vidrio | | | | |
| Aceite comestible | | | | |
| Aceite #40 | | | | |

Tabla 3.5 Rigidez dieléctrica de varios materiales

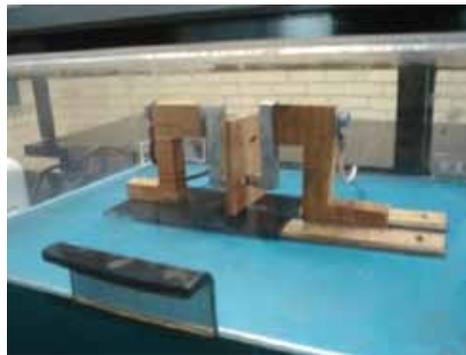


Figura 3.9 Ruptura de rigidez dieléctrica de diferentes materiales

- j) Ahora, respecto a la tabla 3.5 considerando los aceites, sumerja por completo los electrodos en cada caso (figura 3.10); mantenga una separación entre ellos de 2 mm, incremente de forma lenta la diferencia de potencial hasta lograr la ruptura de rigidez dieléctrica y concentre sus resultados en la misma tabla.

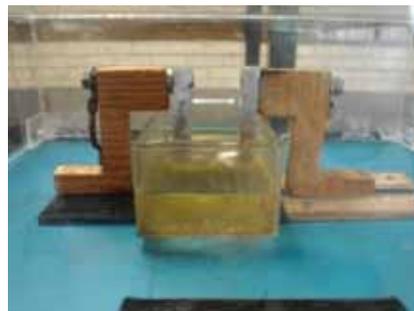


Figura 3.10 Ruptura de rigidez dieléctrica de diferentes aceites

4. Atendiendo a la tabla 3.5, ¿por qué algunos materiales no rompen su rigidez dieléctrica?

5. A partir de los resultados anotados en la tabla 3.5, ¿qué dieléctrico sólido y que dieléctrico líquido es el mejor, considerando el voltaje de ruptura y la rigidez dieléctrica?

6. Dé ejemplos en los cuales se apliquen pruebas de ruptura de rigidez dieléctrica.

ESCRIBA SUS COMENTARIOS Y CONCLUSIONES DE LA PRÁCTICA CORRESPONDIENTE.

LABORATORIO DE ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO

PRÁCTICA No. 4
RESISTENCIA ÓHMICA, RESISTIVIDAD Y LEY DE OHM

CONTENIDO PROGRAMÁTICO RELACIONADO:

TEMA III. CIRCUITOS ELÉCTRICOS
SUBTEMAS: III.1, III.2 y III.3

SEMESTRE LECTIVO: _____

| ALUMNO | NÚMERO DE CUENTA | GRUPO |
|----------|------------------|-------|
| | | |
| PROFESOR | | |
| | FIRMA | |

| CONCEPTO | CALIFICACIÓN |
|---------------------------|--------------|
| Cuestionario Previo (30%) | |
| Desarrollo (35%) | |
| Cuestionario Final (35%) | |
| Calificación Práctica 4 | |

**LABORATORIO DE ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO
DEPARTAMENTO DE FÍSICA**

**PRÁCTICA No. 4
RESISTENCIA ÓHMICA, RESISTIVIDAD Y LEY DE OHM**

CUESTIONARIO PREVIO

1. Enuncie la Ley de Ohm en su forma escalar, describiendo sus variables y unidades correspondientes.
2. Los valores de resistencia óhmica se pueden obtener a través de un código de colores. Investigue y muestre en una tabla el mismo.
3. Atendiendo al punto 2 indique el valor de las siguientes resistencias:

| Resistencias | Primera | Bandas Segunda | Tercera | Cuarta |
|--------------|----------|-------------------|---------|--------|
| 1 | Café | Negro | Rojo | Oro |
| 2 | Rojo | Violeta | Rojo | Oro |
| 3 | Café | Negro | Naranja | Plata |
| 4 | Amarillo | Violeta | Naranja | Plata |
| 5 | Rojo | Rojo | Verde | Rojo |
| 6 | Café | Negro | Negro | Oro |

4. ¿Qué características nominales proporciona el fabricante de una resistencia óhmica?
5. Considerando los valores nominales de resistencia óhmica, a partir de la expresión de potencia eléctrica, deduzca la fórmula que cuantifique el voltaje máximo que se puede aplicar a la misma.
6. Defina los conceptos conductividad eléctrica y resistividad eléctrica.
7. ¿De qué parámetros geométricos y físicos depende la resistencia óhmica de un alambre conductor? Indique la ecuación de resistencia óhmica en función de estos parámetros.
8. Defina el concepto densidad de corriente eléctrica y escriba su expresión correspondiente.
9. Enuncie la Ley de Ohm en su forma vectorial, describiendo sus variables y unidades correspondientes
10. Escriba la expresión matemática de variación de la resistencia con respecto a la temperatura y defina cada término.

OBJETIVOS

- I. Aplicar el método del Puente de Wheatstone para medición de resistencia óhmica.
- II. Método de caída de potencial (Ley de Ohm) para medición de resistencia óhmica.
- III. Determinar la conductividad y resistividad de un material a partir de la Ley de Ohm en su forma vectorial.
- IV. Verificar la dependencia de la resistencia respecto a: la longitud, el área de sección transversal y la resistividad.
- V. Observar la variación de la resistencia óhmica en función de la temperatura.

INTRODUCCIÓN

Resistencia óhmica, resistividad y Ley de Ohm

Se recordará que un conductor es un material en cuyo interior hay electrones libres que se mueven por la fuerza ejercida sobre ellas por un campo eléctrico. El movimiento de las cargas constituye una corriente. Si deseamos que circule una corriente permanente en un conductor, se debe mantener continuamente un campo o un gradiente de potencial eléctrico dentro de él. Consideremos la figura 4.1: si hay “ n ” electrones libres por unidad de volumen, la carga total (dq) que atraviesa el área (s) en el tiempo (dt) y con una velocidad (v) es:

$$dq = nesvdt$$

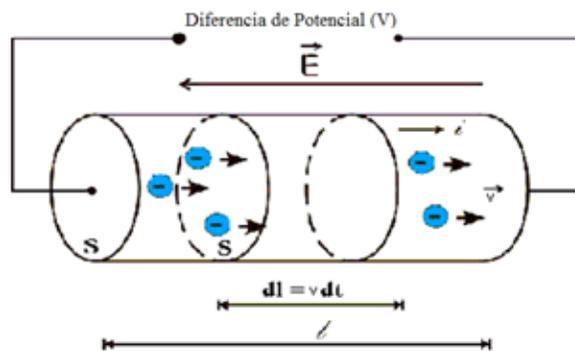


Figura 4.1 Hilo conductor

La cantidad de carga que atraviesa una sección de hilo conductor por unidad de tiempo, o sea, (dq/dt), se denomina intensidad de corriente (i), dada por:

$$i = \frac{dq}{dt} \left[\frac{\text{coulomb}}{s}; \text{Ampere}; A \right]$$

Ahora bien, de las ecuaciones anteriores de la carga total (dq) y de intensidad de corriente (i) se tiene:

$$i = nev$$

Se define densidad de corriente eléctrica (J) como la razón de la intensidad de la corriente a la sección transversal, así:

$$J = \frac{i}{s} \quad \left[\frac{\text{ampere}}{\text{metro}^2}; \frac{A}{m^2} \right]$$

Cabe mencionar que para materiales conductores se tiene la relación lineal $\vec{J} = \sigma \vec{E}$ (expresión vectorial de la Ley de Ohm) en que σ es la conductividad propia del material.

Recordando:

$$V = -\int \vec{E} \cdot d\vec{l} \quad \text{Se tiene } V = \frac{1}{\sigma} \int \vec{J} \cdot d\vec{l} \quad V = \frac{J}{\sigma} l$$

donde para el hilo conductor de la figura 4.1, y de la ecuación de densidad de corriente eléctrica (J) tenemos $V = \frac{l}{\sigma s} i$, o bien $V = \frac{\rho l}{s} i$,

y definiendo $R = \rho \frac{l}{s}$ resistencia eléctrica (óhmica) del conductor, $V = Ri$ Ley de Ohm,
Donde:

V = Voltaje aplicado [Volt, V]

i = Intensidad de corriente [Ampere, A]

R = Resistencia eléctrica [Ohm, W] $\left[\frac{1}{\text{ohm} \cdot \text{metro}}, \frac{1}{\Omega \text{m}} \right]$

σ = Conductividad propia del material $\left[\frac{1}{\text{ohm} \cdot \text{metro}}, \frac{1}{\Omega \text{m}} \right]$

ρ = Resistividad propia del material [Ohm metro, W m], donde $\rho = \frac{1}{\sigma}$

l = Longitud del hilo conductor [m]

s = área de sección transversal del hilo conductor [m²]

También la resistencia eléctrica de los materiales conductores varía con la temperatura y se da por la expresión:

$$R = R_0 [1 \pm \alpha(T - T_0)]$$

Donde:

R = resistencia a la temperatura T

R_0 = resistencia a la temperatura T_0

α = coeficiente de variación de la resistencia con la temperatura

Se define potencia eléctrica (P) como la razón de energía (U) a la unidad de tiempo dada

por $P = \frac{dU}{dt}$ y si recordamos ($U = W$) para campos conservativos,

se tiene $P = \frac{Vdq}{dt} = Vi$ [watts, W] .

Para una resistencia en particular: $P_R = Ri_R^2$ o $P_R = \frac{V_R^2}{R}$ en que podemos escribir: $P_R = \frac{dH}{dt} = Ri_R^2$ [W]

indicando que la cantidad de calor producido por segundo es directamente proporcional al cuadrado de la corriente, por tanto:

$$H = R \int i_R^2 dt \quad [\text{joules, J}]$$

Ley de Joule.

CONCEPTOS NECESARIOS

1. Resistencia óhmica.
2. Ley de Ohm en su forma vectorial y escalar.
3. Caída de potencial.
4. Puente de Wheatstone.
5. Resistividad y conductividad.
6. Variación de la resistividad con la temperatura.

MATERIAL Y EQUIPO

- Dos multímetros.
- Un puente de Wheatstone.
- Una fuente de poder.
- Tres resistencias (100 W, 2.7 KW, 47 KW, todas a 1/2 W).
- Cables de conexión.
- Un hilo conductor de alambre con su base.
- Un tablero con conductores de alambre magneto de diferentes calibres.
- Tres minas de carbón de diferente dureza (HB, 2H y 4H) y longitud igual.
- Un termistor.
- Una parrilla.
- Un soporte universal y sus accesorios.
- Un vaso Pírex.
- Un termómetro digital y/o de bulbo de mercurio.
- Un vernier.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL Y OBSERVACIONES DEL ESTUDIANTE

Medición de Resistencia Óhmica por diferentes métodos:

Código de colores

- a) Usando el código de colores (figura 4.2) identifique los valores de tres resistencias y concentre los resultados en la tabla 4.1.

| Color de la banda | Valor de la 1ª cifra significativa | Valor de la 2ª cifra significativa | Multiplicador | Tolerancia |
|-------------------|------------------------------------|------------------------------------|---------------|------------|
| Negro | - | 0 | 1 | |
| Marrón | 1 | 1 | 10 | ±1% |
| Rojo | 2 | 2 | 100 | ±2% |
| Naranja | 3 | 3 | 1 000 | |
| Amarillo | 4 | 4 | 10 000 | |
| Verde | 5 | 5 | 100 000 | |
| Azul | 6 | 6 | 1 000 000 | |
| Violeta | 7 | 7 | - | |
| Grís | 8 | 8 | - | |
| Bianco | 9 | 9 | - | |
| Dorado | - | - | 0,1 | ±5% |
| Plataado | - | - | 0,01 | ±10% |
| Ninguno | - | - | - | ±20% |

Figura 4.2 Código de colores para resistencias de carbón

Equipo puente de Wheatstone

b) El profesor describirá el uso y manejo del equipo puente de Wheatstone (figura 4.3).



Figura 4.3 Equipo puente de Wheatstone

c) Realice con el puente de Wheatstone la medición de las tres resistencias indicadas en la tabla 4.1 y concentre sus resultados en la misma.

Óhmetro

d) Utilice el multímetro en su función de óhmetro (figura 4.4), para medir las mismas resistencias anteriores y concentre sus valores en la tabla 4.1.



Figura 4.4 Medición de resistencia con multímetro

| RESISTENCIA | CÓDIGO DE COLORES [Ω] | PUENTE DE WHEATSTONE [Ω] | OHMETRO [Ω] |
|-------------------|-----------------------|--------------------------|-------------|
| $R_1=100 \Omega$ | | | |
| $R_2=2.7 K\Omega$ | | | |
| $R_3=47 K\Omega$ | | | |

Tabla 4.1 Medición de resistencia óhmica

1. ¿Qué condiciones se deben cumplir para medir el valor de la resistencia desconocida por medio del puente de Wheatstone.

Potencial inducido

- e) Considerando los valores de resistencia dados por el código de colores, calcular el voltaje máximo ($V_{MAX} = \sqrt{R R}$) que se puede aplicar a cada una de ellas y concenre sus resultados en la tabla 4.2.

| R | Vmáx [V] |
|-------------------|----------|
| $R_1=100 \Omega$ | |
| $R_2=2.7 K\Omega$ | |
| $R_3=47 K\Omega$ | |

Tabla 4.2 Voltaje máximo aplicable a cada resistencia

- f) Arme el circuito de la figura 4.5, considerando las resistencias empleadas en el inciso a) una a la vez.

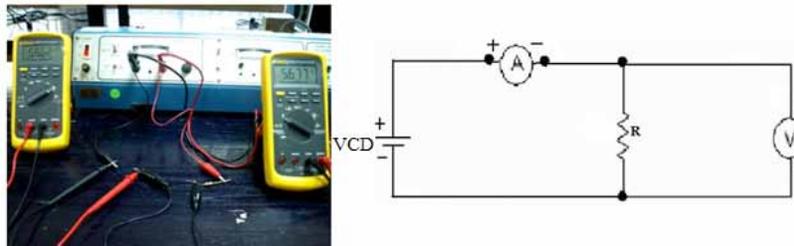


Figura 4.5 Medición de resistencia por potencial inducido

- g) Alimente el circuito de la figura 4.5 con un voltaje menor o igual al calculado en la tabla 4.2 para cada resistencia y realice mediciones de voltaje e intensidad de corriente y concenre sus resultados en la tabla 4.3.

| RESISTENCIA | VOLTAJE [V] | CORRIENTE [A] | RESISTENCIA [Ω] |
|-------------------|-------------|---------------|--------------------------|
| $R_1=100 \Omega$ | | | |
| $R_2=2.7 K\Omega$ | | | |
| $R_3=47 K\Omega$ | | | |

Tabla 4.3 Cálculo de resistencia por potencial inducido

2. Aplicando la Ley de Ohm, encuentre el valor para cada una de las resistencias de la tabla 4.3, y concentre sus resultados en la misma.
3. ¿Con qué método obtuvo mayor exactitud en la medición de resistencia óhmica? (tome como referencia el valor obtenido por código de colores, sin considerar la tolerancia).

Potencia eléctrica en una resistencia

h) Arme el circuito mostrado en la figura 4.6.

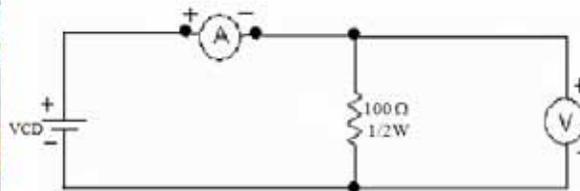


Figura 4.6. Potencia eléctrica en una resistencia

i) Para cada caso de voltaje indicado en la tabla 4.4 mida la corriente eléctrica y concentre sus mediciones en la misma.

| VOLTAJE [V] | CORRIENTE [A] | POTENCIA [W] |
|-------------|---------------|--------------|
| 2 | | |
| 4 | | |
| 6 | | |
| 8 | | |
| 10 | | |
| 12 | | |
| 14 | | |
| 16 | | |
| 18 | | |
| 20 | | |

Tabla 4.4 Potencia eléctrica

4. Tomando los valores de corriente y voltaje de la tabla 4.4, calcule la potencia y concentre sus resultados en la misma. ¿Coincide la potencia calculada con la especificada por el fabricante? Explique.
5. Realice una gráfica de voltaje contra corriente, tomando como referencia los valores obtenidos en la tabla 4.4.

Dibuje:

Medición de la resistencia óhmica en función de la longitud del conductor

j) Conecte los elementos como se muestra en la figura 4.7.

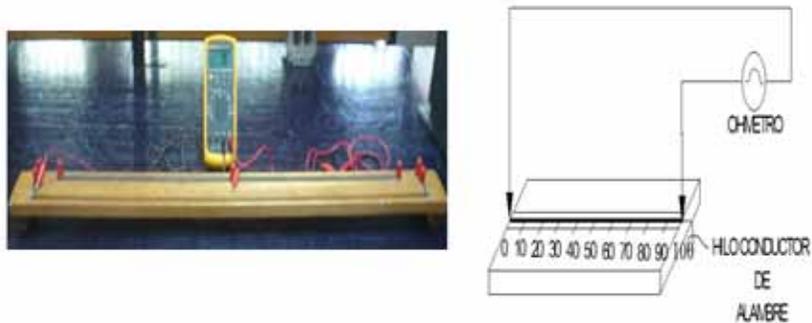


Figura 4.7. Medición de la resistencia óhmica en función de la longitud

k) De acuerdo a la tabla 4.5 mida la resistencia óhmica en cada caso y concentre los resultados en la misma.

| LONGITUD [cm] | RESISTENCIA [Ω] |
|---------------|--------------------------|
| 0 | |
| 10 | |
| 20 | |
| 30 | |
| 40 | |
| 50 | |
| 60 | |
| 70 | |
| 80 | |
| 90 | |
| 100 | |

Tabla 4.5 Resistencia óhmica en función de la longitud

6. Realice una gráfica de resistencia contra longitud, a partir de los valores obtenidos en la tabla 4.5.

Dibuje:

7. ¿Qué relación nos muestra la gráfica y la tabla 4.5 respecto a resistencia contra longitud?

Determinación de la resistencia óhmica en función del área de sección transversal del alambre conductor

l) Mida el diámetro de sección transversal de los conductores, llene las columnas correspondientes al diámetro y al área en la tabla 4.6.

Nota: los diámetros considerados son sin aislante.

m) Mida la resistencia óhmica de cada uno de los conductores contenidos en el tablero (figura 4.8) y concentre sus valores obtenidos en la tabla 4.6.



Figura 4.8 Medición de la resistencia óhmica de conductores de diferentes calibres

| CALIBRE # | DIÁMETRO [mm] | ÁREA [mm ²] | RESISTENCIA [Ω] |
|-----------|---------------|-------------------------|--------------------------|
| 15 | | | |
| 22 | | | |
| 30 | | | |

Tabla 4.6 Resistencia óhmica en función del área de sección transversal

8.- ¿Coinciden los datos obtenidos de diámetro y área de los conductores con la tabla de datos del fabricante de conductores de cobre?

9.- Con los valores de la tabla 4.6, realice una gráfica de resistencia contra área.

Dibuje:

10.- ¿Qué relación de proporcionalidad observa a partir de la gráfica elaborada en la pregunta 9?

Determinación de la resistencia respecto a la conductividad de los conductores

n) Conecte las minas, una a la vez como se muestra en la figura 4.9.

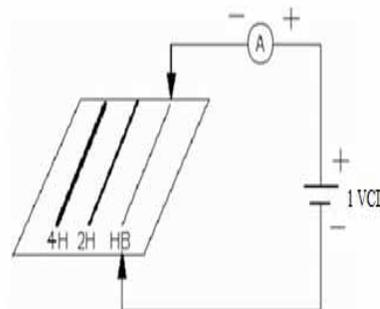


Figura 4.9 Medición de conductividad y resistividad eléctrica.

o) Aplique una diferencia de potencial de 1 [V] a cada una de las minas de carbón, mida la intensidad de corriente eléctrica y concentre sus mediciones en la tabla 4.7, calculando lo que se indica.

| Minas de Carbón | Longitud [m] | Diámetro [m] | Área [m ²] | Corriente [A] | Densidad de Corriente [A/m ²] | Campo Eléctrico [V/m] | Resistividad [Ω -m] | Conductividad [1/Ω -m] |
|-----------------|--------------|----------------|-------------------------|---------------|---|-----------------------|---------------------|------------------------|
| HB | | | | | | | | |
| 2H | | | | | | | | |
| 4H | | | | | | | | |

Tabla 4.7 Conductividad y resistividad eléctrica

Determinación de la resistencia debido a la variación de la temperatura

- p) Arme el dispositivo que se muestra en la figura 4.10, cuidando de ubicar el sensor de temperatura junto al termistor.

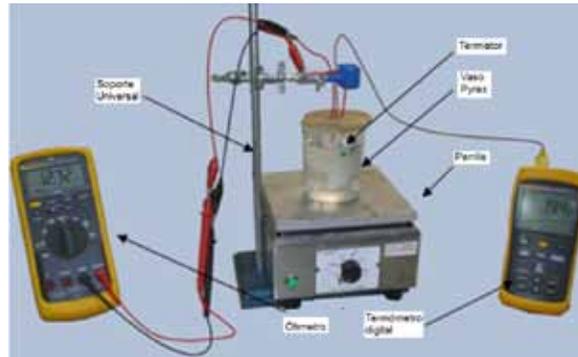


Figura 4.10 Resistencia en función de la temperatura

- q) Con el multímetro usado como óhmetro, tome el valor de la resistencia del termistor de acuerdo a los valores de temperatura de la tabla 4.8 y concentre sus resultados en la misma.

| T [°C] | R [Ω] |
|---------------------|-------|
| Temperatura inicial | |
| 30 | |
| 35 | |
| 40 | |
| 45 | |
| 50 | |
| 55 | |
| 60 | |
| 65 | |
| 70 | |

Tabla 4.8 Resistencia en función de la temperatura

11.- Elabore una gráfica resistencia contra temperatura con los datos de la tabla 4.8.

Dibuje:

12.- En el caso de un conductor, ¿cómo varía la resistencia en función de la temperatura y por qué?

ESCRIBA SUS COMENTARIOS Y CONCLUSIONES DE LA PRÁCTICA CORRESPONDIENTE.

LABORATORIO DE ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO

PRÁCTICA No. 5
FUENTES DE FUERZA ELECTROMOTRIZ (PARTE I)
(USO Y MANEJO DEL OSCILOSCOPIO)

CONTENIDO PROGRAMÁTICO RELACIONADO:

TEMA III. CIRCUITOS ELÉCTRICOS
SUBTEMA: III.7

SEMESTRE LECTIVO: _____

| | | |
|-----------------|-------------------------|--------------|
| ALUMNO | NÚMERO DE CUENTA | GRUPO |
| | | |
| PROFESOR | | FIRMA |
| | | |

| CONCEPTO | CALIFICACIÓN |
|---------------------------|---------------------|
| Cuestionario Previo (30%) | |
| Desarrollo 35%) | |
| Cuestionario Final (35%) | |
| Calificación Práctica 5 | |

**LABORATORIO DE ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO
DEPARTAMENTO DE FÍSICA**

**PRÁCTICA No. 5
FUENTES DE FUERZA ELECTROMOTRIZ
(PARTE I)
(USO Y MANEJO DEL OSCILOSCOPIO)**

CUESTIONARIO PREVIO

1. Describa brevemente el principio básico del osciloscopio.
2. ¿Qué diferencias existen entre los osciloscopios analógicos y digitales?
3. ¿Qué tipo de mediciones se pueden realizar con el osciloscopio?
4. Mencione algunas aplicaciones en las cuales se requiere el uso del osciloscopio.
5. Mencione las características de voltaje de corriente alterna, continua y directa.
6. Para una señal periódica defina los conceptos de amplitud, periodo y frecuencia.
7. Dibuje algunas formas de ondas periódicas.

OBJETIVOS

- I. Se capacitará en el uso y manejo del osciloscopio.
- II. Realizar mediciones de los parámetros de los diferentes tipos de onda, usando el osciloscopio.

INTRODUCCIÓN

Para los propósitos de esta práctica, en la cual se tratan parámetros de C.A. (cuyos valores varían con el tiempo) y C.C. (cuyos valores son constantes en el tiempo), el osciloscopio es el instrumento de medida más apropiado.

- Posibilita mediciones de precisión de magnitudes eléctricas.
- El osciloscopio permite representar de manera gráfica la magnitud medida, así como también su variación en el tiempo.

Formas de onda

Si se conecta un generador de funciones al osciloscopio y se calibra correspondientemente la base de tiempo, se visualizará en la pantalla del osciloscopio una representación gráfica de la señal. En la figura 5.1 se muestran varias formas de ondas comunes.

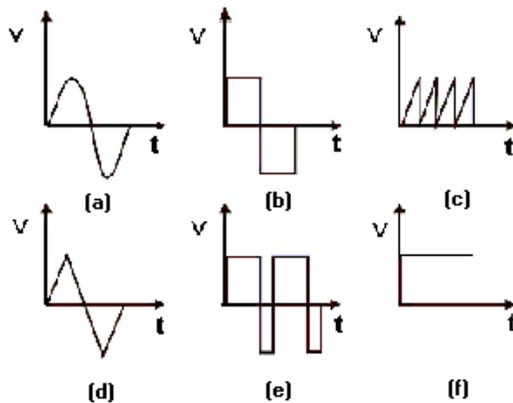


Figura 5.1 Formas de onda

- | | |
|----------------------|----------------------|
| a - Senoidal | b - Cuadrada |
| c - Diente de sierra | d - Triangular |
| e - Rectangular | f - Voltaje continuo |

De acuerdo a la figura 5.1, se puede distinguir entre C.C, C.D. y C.A., así como definir las:

- Señal continua (C.C.): es una señal de amplitud fija. Está representada gráficamente a lo largo del eje de tiempo (f).
- Señal directa (C.D.): es una señal que varía en amplitud pero no cambia de polaridad con respecto al eje del tiempo (c).
- Señal alterna (C.A.): es una señal de amplitud variable y que cambia de polaridad a lo largo del eje de tiempo y está representada gráficamente en el mismo eje (a), (b), (d) y (e).

Medición del periodo de una onda

Definición de parámetros

Ciclo: perfil de una onda periódica sin repetirse.

Periodo (T): es el tiempo en segundos que tarda una onda en completar un ciclo.

La figura 5.2 muestra diversas posibilidades para la medición del periodo de una onda senoidal.

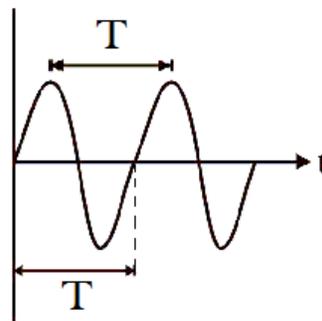


Figura 5.2 Onda senoidal

El número de ciclos en un segundo se denomina “frecuencia” (f) y la unidad es el Hertz [Hz]. La relación matemática entre el periodo y la frecuencia está dada por la siguiente ecuación:

$$f = \frac{1}{T} \quad (1)$$

Donde: f es la frecuencia [s^{-1}] o Hertz [Hz]
 T es el periodo, en segundos [s]

Utilización del osciloscopio para medir el periodo de una onda

Para medir el periodo de una forma de onda particular, se debe calibrar el eje horizontal (eje X) del osciloscopio en unidades de tiempo (tiempo/división).

El control de la base de tiempo posibilita la elección de milisegundos [ms], microsegundos [μs], etc.

Para simplificar la medición, la pantalla del osciloscopio está reticulada. La figura 5.3 muestra cómo aparece una onda senoidal en la pantalla de un osciloscopio, con base de tiempo fijada en 1 ms; es decir, que cada división representa un microsegundo.

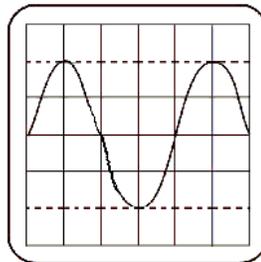


Figura 5.3 Pantalla del osciloscopio mostrando onda senoidal

El periodo se calcula basándose en la representación en la pantalla del osciloscopio, de la siguiente manera:

Periodo = Número de divisiones (en un ciclo) x posición del selector de la base de tiempo.

Para la forma de onda que se muestra en la figura 5.3 se obtiene:

$$T = 4 \times 1 [\mu s] = 4 [\mu s]$$

La frecuencia se obtiene de la ecuación (1):

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{4 [\mu s]} = 250 [\text{KHz}]$$

Medición de los parámetros de corriente alterna

La amplitud.

Es la altura máxima de una onda (cresta), o la profundidad máxima (valle) respecto al nivel de referencia.

La señal alterna está definida por tres parámetros:

- a) Voltaje pico a pico (V_{pp}).

Se mide con el osciloscopio, desde el pico positivo hasta el pico negativo de la onda, puesto que es la distancia vertical (sobre el eje Y).

- b) Voltaje pico (V_p).

Este valor se mide desde el eje de simetría de la onda hasta uno de los picos. Numéricamente es igual a la mitad del valor pico a pico.

- c) Voltaje eficaz (V_{RMS} o V_{EF}).

Es la parte de la señal que realmente se aprovecha.

Ejemplo:

Para un voltaje senoidal, existe la siguiente relación matemática:

$$V_{RMS} = V_{EF} = \frac{V_p}{\sqrt{2}} = 0.707V_p \quad [V] \quad (2)$$

Donde:

V_p = es el valor de pico en volt

V_{EF} = es el valor eficaz en volt

El valor eficaz es denominado también “Valor cuadrático medio” RMS (“Root Mean Square”).

El valor de un voltaje senoidal se mide con el osciloscopio según lo indicado en la figura 5.4

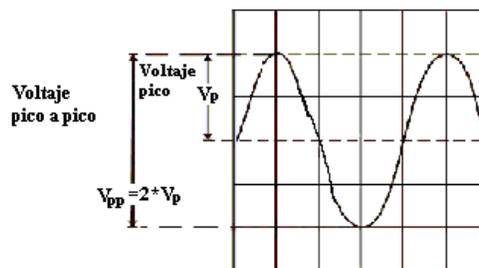


Figura 5.4 Onda senoidal con parámetros

Antes de la medición se debe calibrar el eje vertical (Y) en unidades de volt por división (Volt/división). En la figura 5.4 cada división representa un volt, por lo tanto el voltaje pico (V_p) de la onda en la figura 5.4 es igual a 2 volt. El voltaje pico a pico (V_{pp}) es de 4 volt. Substituyendo los valores en la ecuación 2 se obtiene el valor eficaz.

$$V_{RMS} = 0.707V_p = 0.707 \times 2 = 1.414[V]$$

Nota: la ecuación de voltaje eficaz se cumple únicamente para una señal senoidal pura. Para otras formas de onda se necesitan métodos más complicados para los cálculos, lo cual está fuera del alcance de conocimientos requeridos en esta práctica.

CONCEPTOS NECESARIOS

1. Señales de C.A., C.D. y C.C.
2. Voltaje eficaz y voltaje pico a pico.
3. Frecuencia y periodo.

MATERIAL Y EQUIPO

- Dos osciloscopios y accesorios (un digital y un analógico).
- Un multímetro.
- Un generador de señales.
- Una fuente escalonada.
- Cables de conexión.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL Y OBSERVACIONES DEL ESTUDIANTE**Osciloscopio analógico**

- a) El profesor explicará el funcionamiento y uso del osciloscopio analógico.

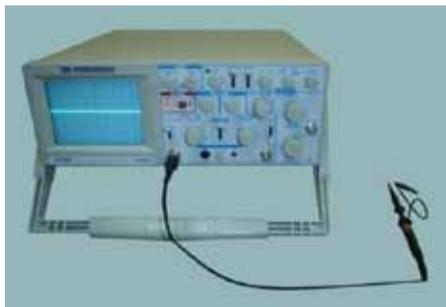


Figura 5.5 Osciloscopio analógico

Determinación de la frecuencia mediante la medición del periodo

- b) Conecte la señal de salida (50Ω) del generador de señales a la entrada del osciloscopio, como se muestra en la figura 5.6.



Figura 5.6 Conexión del generador de señales al osciloscopio

- c) Obtenga una señal senoidal con un voltaje de salida de 2.5 [V_p] para cada una de las frecuencias indicadas en la tabla 5.1, midiendo el periodo y concéntrelo en la misma.

| Frecuencia de entrada [Hz] | Periodo[s] | Frecuencia calculada [Hz] |
|----------------------------|------------|---------------------------|
| 1000 | | |
| 2000 | | |
| 3000 | | |

Tabla 5.1 Medición de periodo y frecuencia

l. Atendiendo a los valores del periodo registrados en la tabla 5.1 determine la frecuencia.

Medición de ondas de C.A.

- d) Conecte la señal de salida de C.A de la fuente escalonada a la entrada del osciloscopio como se muestra en la figura 5.7.

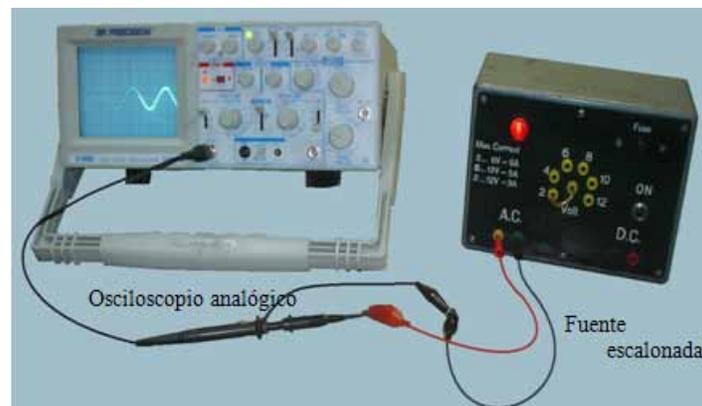


Figura 5.7 Medición de onda de C.A.

- e) De acuerdo a los valores dados en la tabla 5.2 mida la amplitud de los voltajes: V_p y V_{pp} y regístrelos en la misma.
- f) Mida el valor eficaz con el multímetro para cada uno de los valores dados en la tabla 5.2 y regístrelo en la columna correspondiente.

| Señal senoidal de corriente alterna [V] | Voltaje pico (Vp) [V] | Voltaje pico a pico (Vpp) [V] | Valor eficaz medido [V] | Valor eficaz calculado [V] |
|---|-----------------------|-------------------------------|-------------------------|----------------------------|
| 2 | | | | |
| 4 | | | | |
| 6 | | | | |
| 8 | | | | |
| 10 | | | | |

Tabla 5.2 Medición de voltaje de corriente alterna

2. Calcule el valor eficaz pedido en la tabla 5.2.

3. ¿Difieren los valores de voltaje eficaz medido y calculado en la tabla 5.2?

Explique.

Osciloscopio digital

g) El profesor explicará el funcionamiento y uso del osciloscopio digital.



Figura 5.8 Osciloscopio digital

Medición de los parámetros de una señal de voltaje senoidal de C.A. utilizando el Osciloscopio digital

- h) Conecte la señal de salida de C.A. de la fuente escalonada a la entrada del osciloscopio como se muestra en la figura 5.9.

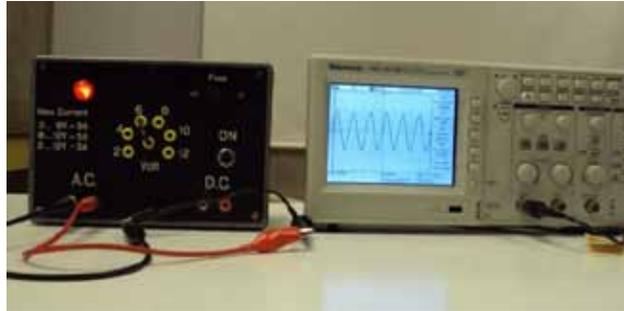


Figura 5.9 Osciloscopio digital, midiendo señal de C.A.

- i) De acuerdo a los valores dados en la tabla 5.3 mida los parámetros indicados y regístrelos en la misma.

| Señal senoidal de corriente alterna [V] | Periodo [s] | Frecuencia [Hz] | Voltaje pico a pico (V_{PP}) [V] | Voltaje pico (V_p) [V] | Voltaje Eficaz (V_{RMS}) [V] |
|---|-------------|-----------------|--------------------------------------|----------------------------|----------------------------------|
| 2 | | | | | |
| 4 | | | | | |
| 6 | | | | | |
| 8 | | | | | |
| 10 | | | | | |

Tabla 5.3 Medición de voltaje y frecuencia de C.A.

ESCRIBA SUS COMENTARIOS Y CONCLUSIONES DE LA PRÁCTICA CORRESPONDIENTE.

LABORATORIO DE ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO

PRÁCTICA No. 6
FUENTES DE FUERZA ELECTROMOTRIZ (PARTE 2)

CONTENIDO PROGRAMÁTICO RELACIONADO:

TEMA III. CIRCUITOS ELÉCTRICOS
SUBTEMAS III.5 y III.7

SEMESTRE LECTIVO: _____

| | | |
|-----------------|-------------------------|--------------|
| ALUMNO | NÚMERO DE CUENTA | GRUPO |
| | | |
| PROFESOR | | FIRMA |
| | | |

| CONCEPTO | CALIFICACIÓN |
|---------------------------|---------------------|
| Cuestionario Previo (30%) | |
| Desarrollo 35%) | |
| Cuestionario Final (35%) | |
| Calificación Práctica 6 | |

**LABORATORIO DE ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO
DEPARTAMENTO DE FÍSICA**

**PRÁCTICA No. 6
FUENTES DE FUERZA ELECTROMOTRIZ
(PARTE 2)**

CUESTIONARIO PREVIO

1. Explique qué es una fuente de fuerza electromotriz.
2. Enuncie cuatro tipos diferentes de fuentes de fuerza electromotriz e indique su conversión de energía.
3. ¿Qué es un electrolito? Mencione ejemplos de soluciones usadas como electrolito.
4. ¿Por qué para una misma densidad de electrolito, la diferencia de potencial de cada electrodo es diferente?
5. Explique el fenómeno de electrólisis en una batería.
6. ¿En qué afecta la resistencia interna a una fuente de fuerza electromotriz?

OBJETIVOS

- I. Distinguirá las diferentes fuentes de fuerza electromotriz de corriente continua y alterna.
- II. Obtendrá la diferencia de potencial de la combinación de electrodos de diferentes materiales en solución electrolítica.
- III. Determinará la resistencia interna de una fuente de fuerza electromotriz.
- IV. Realizará diferentes conexiones de pilas.

INTRODUCCIÓN

Fuentes de Fuerza Electromotriz (FEM) y su Resistencia Interna

Fuente de fuerza electromotriz (fem, \mathcal{E}) es todo dispositivo capaz de transformar algún tipo de energía a energía eléctrica. Como ejemplos, el generador eléctrico que transforma energía mecánica en energía eléctrica; la pila (batería) que transforma energía química en energía eléctrica.

Una fuente de voltaje ideal mantiene constante su voltaje independientemente de la corriente que fluye en ella. Sin embargo, las fuentes de voltaje ideales no existen, pues todas las fuentes poseen una resistencia interna. Consideramos el circuito de la figura 6.1^a, para tal circunstancia la lectura del voltímetro es la fuerza electromotriz (\mathcal{E}) de la pila.

Ahora bien, para la figura 6.1b la lectura del voltímetro es la diferencia de potencial en terminales de la resistencia (V_R).

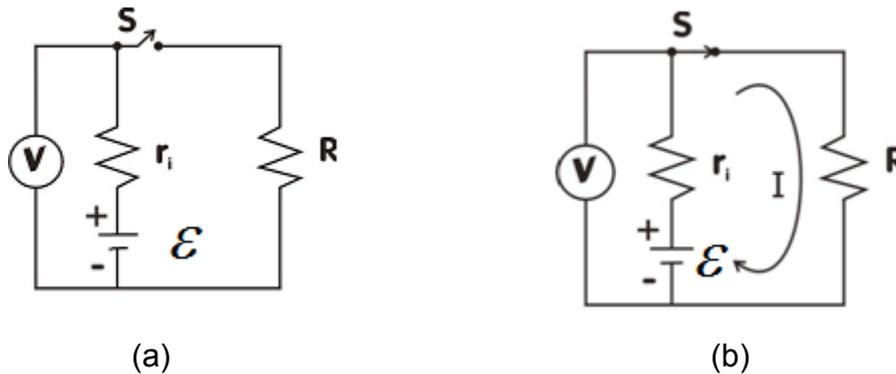


Figura 6.1 Resistencia interna de una fuente de FEM

Si aplicamos el principio de conservación de la energía al circuito de la figura 6.1; es decir, la suma de potencias debido a elementos activos (fuentes) igual a la suma de potencias en elementos pasivos (resistencias).

Se tiene

$$P_{\mathcal{E}} = P_{r_i} + P_R$$

Y en términos de voltaje y corriente

$$\mathcal{E}I = r_i I^2 + RI^2$$

Por tanto al despejar

$$r_i = \frac{\mathcal{E} - RI}{I} = \frac{\mathcal{E} - V_R}{I} \quad [\Omega]$$

Tenemos:

$$r_i = \left(\frac{\mathcal{E} - V_R}{I} \right) \frac{R}{R} = \left(\frac{\mathcal{E} - V_R}{IR} \right) R$$

Finalmente:

$$r_i = \left(\frac{\mathcal{E} - V_R}{V_R} \right) R \quad [\Omega]$$

El valor de la resistencia interna de la pila se obtiene conociendo la FEM (\mathcal{E}), resistencia de carga (R) y el voltaje (V_R).

CONCEPTOS NECESARIOS

1. Fuentes de fuerzas electromotriz
2. Resistencia interna de una fuente de fuerza electromotriz
3. Conexiones de pilas.

MATERIAL Y EQUIPO

- Un osciloscopio con accesorios.
- Un generador eléctrico.
- Una celda fotovoltaica.
- Una fuente escalonada.
- Un multímetro.
- Cuatro electrodos de cobre, plomo, carbón y aluminio.
- Un recipiente con electrolito.
- Cuatro pilas de 1.5 [V] (una nueva).
- Una resistencia de 10 [W] a 1/2 [W].
- Cables para conexión.
- Un termopar.
- Un encendedor o mechero de alcohol.
- Dos guantes de látex.
- Papel secante.
- Un switch un polo un tiro.
- Porta pilas.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL Y OBSERVACIONES DEL ESTUDIANTE

Fuentes de Fuerza Electromotriz

- a) Utilizando el osciloscopio observe las formas de onda de las siguientes fuentes de fuerza electromotriz (FEMs): celda fotovoltaica, termopar, pila y generador eléctrico.

Nota: el generador se conecta a c.d.

1. Clasifique con base en lo observado en el inciso a), el tipo de voltaje que genera cada fuente de FEM y realice la gráfica correspondiente.

Diferencia de potencial entre electrodos

b) Arme el dispositivo de la figura 6.2.



Figura 6.2 Diferencia de potencial entre electrodos

Nota: use los guantes de látex para la manipulación de los electrodos.

c) Coloque dos electrodos de diferente material según se indica en la tabla 6.1, mida la diferencia de potencial y observe la polaridad en cada uno, concentrando los resultados en la misma.

| ELECTRODOS | POLARIDAD (+ o -) | | VOLTAJE [V] |
|-------------------|-------------------|----|-------------|
| cobre - plomo | Cu | Pb | |
| cobre - carbón | Cu | C | |
| cobre - aluminio | Cu | Al | |
| plomo - carbón | Pb | C | |
| plomo - aluminio | Pb | Al | |
| carbón - aluminio | C | Al | |

Tabla 6.1 Diferencia de potencial entre electrodos

2. Tomando como referencia los resultados de la tabla 6.1, ¿qué combinación de electrodos dio la máxima diferencia de potencial?

Resistencia interna de una fuente

d) Arme el circuito de la figura 6.3.

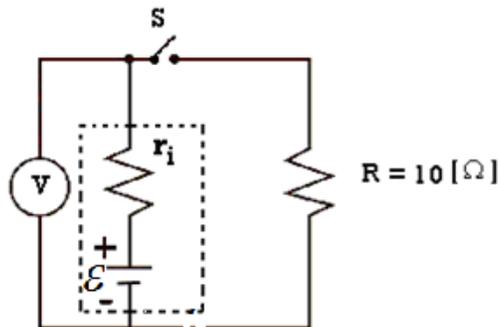


Figura 6.3 Circuito para obtener la resistencia interna

- e) Mida el voltaje \mathcal{E} , de la pila nueva en vacío (sin carga), con el interruptor “S” abierto, concentre su medición en la tabla 6.2.
- f) Ahora cierre el interruptor “S” y a continuación mida el voltaje (V_R) y regístrelo en la tabla 6.2.
- g) Cambie la pila nueva por la pila usada en el circuito de la figura 6.3 y repita los pasos indicados en los incisos e) y f).

| PILA | R [Ω] | \mathcal{E} [V] | V_R [V] | r_i [Ω] |
|-------|-------|-------------------|-----------|-----------|
| NUEVA | 10 | | | |
| USADA | 10 | | | |

Tabla 6.2 Resistencia interna

3. Considerando los valores obtenidos en la tabla 6.2, calcule la resistencia interna de las pilas nueva y usada, empleando la siguiente fórmula:

$$r_i = \left(\frac{\mathcal{E} - V_R}{V_R} \right) R \text{ [}\Omega\text{]}$$

Conexión de pilas

h) Mida el voltaje de cada pila y anote sus lecturas en la tabla 6.3 (identifique cada pila).

| Pila | A | B | C | D |
|---------------|---|---|---|---|
| Voltaje [V] | | | | |

Tabla 6.3 Medición de voltaje de cada pila

- i) Conecte dos pilas (serie aditiva) según se muestra en la figura 6.4, mida y anote en la tabla 6.4 el voltaje total entre terminales; a continuación repita el mismo procedimiento con 3 y 4 pilas.

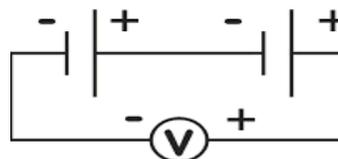


Figura 6.4 Pilas conectadas en serie aditiva

| Número de pilas | Voltaje [V] | |
|-----------------|---------------|----------|
| | Serie | Paralelo |
| 2 | | |
| 3 | | |
| 4 | | |

Tabla 6.4 Conexiones de pilas en serie y paralelo

- j) Conecte dos pilas en paralelo según se muestra en la figura 6.5, mida y anote en la tabla 6.4 el voltaje total entre terminales y a continuación repita lo mismo con 3 y 4 pilas.

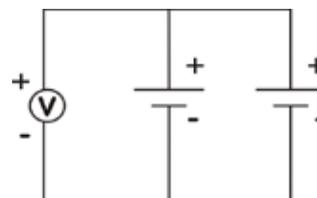
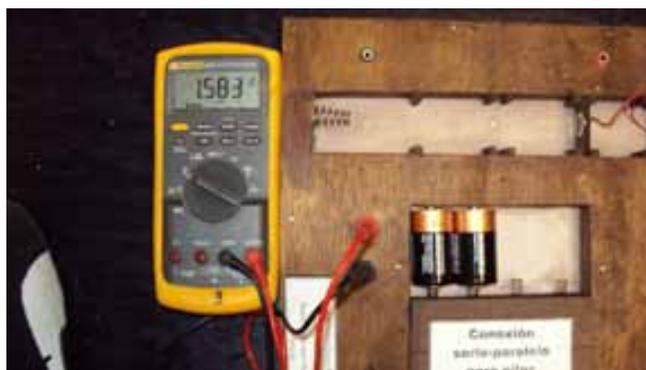


Figura 6.5 Conexión de pilas en el paralelo de pilas

k) Conecte las pilas como se indica en la figura 6.6 (conexión serie sustractiva), mida y anote en la tabla 6.5 el voltaje total entre terminales.

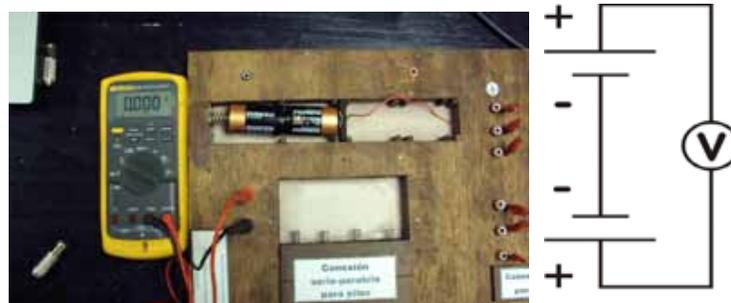


Figura 6.6a Conexión de pilas en serie sustractiva



Figura 6.6b Conexión serie sustractiva

| Número de pilas | Voltaje [V] | |
|-----------------|-------------|-----------|
| | Lectura 1 | Lectura 2 |
| 2 | | |

Tabla 6.5 Conexión de pilas en serie sustractivo.

4. Explique por qué son iguales los valores obtenidos en la tabla 6.5.

ESCRIBA SUS COMENTARIOS Y CONCLUSIONES DE LA PRÁCTICA CORRESPONDIENTE.

LABORATORIO DE ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO

PRÁCTICA No. 7
LEYES DE KIRCHHOFFY CIRCUITO R.C.

CONTENIDO PROGRAMÁTICO RELACIONADO:

TEMA III. CIRCUITOS ELÉCTRICOS
SUBTEMA: III.6

SEMESTRE LECTIVO: _____

| | | |
|-----------------|-------------------------|--------------|
| ALUMNO | NÚMERO DE CUENTA | GRUPO |
| | | |
| PROFESOR | | FIRMA |
| | | |

| CONCEPTO | CALIFICACIÓN |
|------------------------------|---------------------|
| Cuestionario Previo (30%) | |
| Desarrollo (35%) | |
| Cuestionario Final (35%) | |
| Calificación Práctica 7 | |

**LABORATORIO DE ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO
DEPARTAMENTO DE FÍSICA**

**PRÁCTICA No. 7
LEYES DE KIRCHHOFF Y CIRCUITO R.C.**

CUESTIONARIO PREVIO

1. Enuncie la ley de corrientes de Kirchhoff, así como su expresión matemática.
2. Enuncie la ley de voltajes de Kirchhoff, así como su expresión matemática.
3. Explique si se cumple el principio de conservación de energía para las dos leyes anteriores.
4. Para el circuito de la figura 7.2 de los fundamentos teóricos deduzca la ecuación $V_R(t)$ en el proceso de carga y descarga del capacitor (posición a y b respectivamente) y realice las gráficas correspondientes para cada caso.
5. Represente el significado de la constante de tiempo para un circuito RC auxiliándose por medio de la gráfica de voltaje de carga en un capacitor.

OBJETIVOS

- I. Verificará experimentalmente las leyes de Kirchhoff aplicadas a circuitos de corriente directa.
- II. Efectuará mediciones de voltaje en el capacitor y la resistencia durante la carga y descarga en el desarrollo experimental del circuito RC.
- III. Medirá la constante de tiempo de un circuito RC.

INTRODUCCIÓN

Circuitos básicos de corriente directa

Los circuitos en los cuales las resistencias no están en conexiones sencillas (en serie o en paralelo) y hay fuentes de fuerza electromotriz en diferentes ramas, no pueden resolverse en general por el método de la resistencia equivalente y la Ley de Ohm. Gustav Robert Kirchhoff (1824-1887) enunció dos reglas llamadas leyes de Kirchhoff que permiten resolver tales circuitos sistemáticamente.

Algunos términos útiles en análisis de circuitos son:

Malla.- Es cualquier trayectoria cerrada en un circuito.

Nodo.- Es un punto del circuito en el cual se unen dos o más trayectorias para la corriente.

Rama.- Es una parte de una malla que se encuentra entre dos nodos y que no posee dentro de ella otros nodos.

Leyes de Kirchhoff

Las Leyes de Kirchhoff se fundamentan en el principio de la conservación de la energía, éstas son:

Ley de los nodos (ley de corrientes).- La suma algebraica de las corrientes que inciden en un nodo es cero.

$$\sum_{j=1}^N i_j = 0$$

Para propósitos de esta ley se denomina positivo el sentido de una corriente que fluye desde un nodo y negativo si fluye hacia el nodo.

Ley de voltajes. La suma algebraica de los voltajes de todos los elementos (activos y pasivos) alrededor de cualquier trayectoria cerrada (malla) es cero.

$$\sum fems + \sum Ri = 0$$

Para propósitos de esta ley se elige como positivo un sentido de recorrido de la malla (usualmente el sentido de las agujas de un reloj). Todas las corrientes y las FEMs que tengan este sentido son positivas y las que tengan sentido contrario serán negativas.

El primer paso para aplicar las leyes de Kirchhoff es asignar un sentido a todas las corrientes desconocidas en cada rama del circuito. La solución se efectúa basándose en los sentidos supuestos. Si una o más soluciones de las ecuaciones atribuye valor negativo a una corriente, su verdadero sentido es opuesto al que habíamos asignado.

A continuación aplicamos dichas leyes al circuito de la figura 7.1.

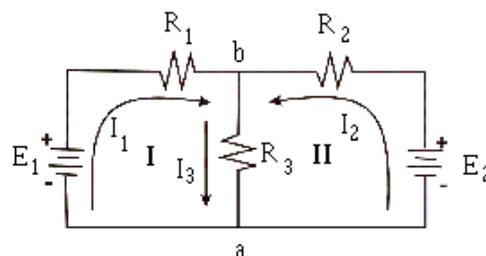


Figura 7.1 Circuito resistivo serie-paralelo

Para la solución considerando las corrientes supuestas. Aplicando ley de corrientes de Kirchoff (LCK) al nodo b obtenemos la siguiente ecuación:

$$-I_1 - I_2 + I_3 = 0 \quad (1)$$

Ahora, aplicando ley de voltajes de Kirchoff (LVK) a malla I.

$$-\varepsilon_1 + R_1 I_1 + R_3 I_3 = 0 \quad (2)$$

Igualmente a la malla II

$$-R_3 I_3 - R_2 I_2 + \varepsilon_2 = 0 \quad (3)$$

Ordenando el sistema de ecuaciones

$$-I_1 - I_2 + I_3 = 0 \quad (1)$$

$$R_1 I_1 + R_3 I_3 = \varepsilon_1 \quad (2)$$

$$-R_2 I_2 - R_3 I_3 = -\varepsilon_2 \quad (3)$$

El sistema de ecuaciones lineales se puede resolver por algún método conocido.

Circuito Resistivo Capacitivo (RC)

Otro ejemplo de aplicación de las leyes de Kirchoff es en un circuito resistivo-capacitivo (RC) excitado por una fuente de corriente directa, figura 7.2.

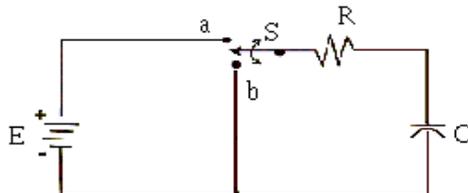


Figura 7.2 Circuito resistivo-capacitivo (RC)

Carga del capacitor

Al analizar el comportamiento de este circuito con el interruptor en la posición "a" se tiene el proceso de energización, considerando el capacitor totalmente desenergizado, figura 7.3.

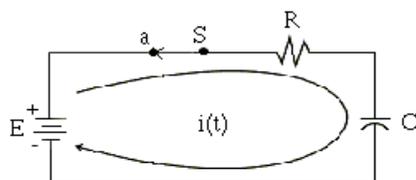


Figura 7.3 Carga del capacitor

Aplicando LVK se tiene

$$-\varepsilon + Ri_R(t) + \frac{1}{C} \int i_C(t) dt = 0$$

Donde:

$$V_R = Ri_R(t) \quad , \quad V_C = \frac{1}{C} \int i_C(t) dt$$

Multiplicando por (d/dt)

$$\frac{d}{dt} \left[-\varepsilon + Ri_C(t) + \frac{1}{C} \int i_C(t) dt \right] = 0 \quad , \quad i(t) = i_R(t) = i_C(t)$$

$$\frac{di_C(t)}{dt} + \frac{1}{RC} i_C(t) = 0$$

Ecuación diferencial homogénea, lineal, primer orden, coeficientes constantes cuya solución homogénea es del tipo

$$i_C(t) = Ke^{Dt}$$

Haciendo (d/dt)=D

$$Di_C(t) + \frac{1}{RC} i_C(t) = 0 \quad , \quad (D + \frac{1}{RC}) i_C(t) = 0,$$

$$D + \frac{1}{RC} = 0 \quad , \quad D = -\frac{1}{RC}$$

Raíz característica

Sustituyendo se tiene

$$i_C(t) = Ke^{(-\frac{1}{RC})t}$$

Donde K se obtiene de condiciones iniciales. Teniendo presente que el capacitor desenergizado se comporta como un corto circuito en un tiempo inicial $t=0$, se tiene

$$i(t=0) = i_C(t=0) = i_R(t=0) = \frac{V_R}{R} = \frac{\varepsilon}{R}$$

Sustituyendo en ecuación anterior

$$\frac{\varepsilon}{R} = Ke^{(-\frac{1}{RC})(0)} \quad , \quad K = \frac{\varepsilon}{R}$$

Por lo tanto:

$$i_C(t) = \frac{\varepsilon}{R} e^{(-\frac{1}{RC})t} \quad [V] \quad ; \quad \text{para todo } t \geq 0$$

Ahora:

$$V_C(t) = \frac{1}{C} \int i_C(t) dt = \frac{1}{C} \int_0^t \left[\frac{\varepsilon}{R} e^{(-\frac{1}{RC})t} \right] dt$$

$$V_C(t) = \varepsilon \left[1 - e^{(-\frac{1}{RC})t} \right] \quad [V] \quad ; \quad \text{para todo } t \geq 0$$

Descarga del capacitor

Ahora, al cambiar el interruptor a la posición “b” se tiene el proceso de desenergización del capacitor. En tal situación el sentido de la corriente se invierte, el capacitor se comporta como elemento activo aplicando LVK al circuito de figura 7.4.

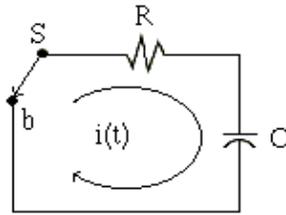


Figura 7.4 Descarga del capacitor

$$-Ri_C(t) + \left(-\frac{1}{C}\right) \int i_C(t) dt = 0 \quad ; \quad i_C(t) = i_R(t)$$

Multiplicando por (d/dt) tenemos

$$(-) \frac{di_C(t)}{dt} - \frac{1}{RC} i_C(t) = 0$$

Cuya solución homogénea es:

$$i_C(t) = Ke^{(-\frac{1}{RC})t}$$

y considerando condiciones iniciales $i_C(t=0) = i_R(t=0) = V_C(t=0)/R$ donde $V_C(t=0) = \varepsilon$ (voltaje alcanzado en el proceso de energización) por tanto:

$$i_C(t) = \frac{\varepsilon}{R} e^{(-\frac{1}{RC})t} \quad [\text{A}] \quad ; \quad \text{para todo } t \geq 0$$

También:

$$V_C(t) = \frac{1}{C} \int i_C(t) dt = \frac{1}{C} \int \left[\frac{\varepsilon}{R} e^{(-\frac{1}{RC})t} \right] dt$$

Finalmente:

$$V_C(t) = -\varepsilon e^{(-\frac{1}{RC})t} \quad [\text{V}] \quad ; \quad \text{para todo } t \geq 0$$

CONCEPTOS NECESARIOS

1. Terminología de redes y leyes de Kirchhoff.
2. Uso y manejo del osciloscopio.
3. Proceso de energización y desenergización de un circuito RC.
4. Constante de tiempo de un circuito RC.

MATERIAL Y EQUIPO

- Dos fuentes de poder.
- Un osciloscopio.
- Un generador de funciones.
- Un multímetro.
- Tres resistencias 1 [KW], 1.2 [KW], y 3.3 [KW], todas a 1 [W].
- Un potenciómetro de 0 – 10 [KW] a 1[W].
- Un capacitor de 0.047 [mF] a 10 [V].
- Cables para conexión.
- Tableta protoboard.
- Pinzas de punta.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL Y OBSERVACIONES DEL ESTUDIANTE

Circuitos de corriente directa y leyes de Kirchoff

- a) Arme el circuito mostrado en la figura 7.5.
- b) Realice y anote las mediciones de voltaje y corriente de acuerdo a la tabla 7.1.

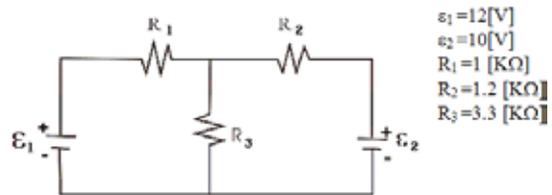


Figura 7.5 Circuito resistivo serie-paralelo, con dos FEMs

| RESISTENCIA | CORRIENTE [A] | VOLTAJE [V] |
|-------------|---------------|-------------|
| R_1 | | |
| R_2 | | |
| R_3 | | |

Tabla 7.1 Medidas de intensidad de corriente y caída de voltaje

1. Con los valores indicados en el circuito de la figura 7.5 encuentre la intensidad de corriente y el voltaje para cada resistencia.

2. ¿Qué concluye respecto a los valores obtenidos experimental y teóricamente en el circuito de la figura 7.5?

3. ¿Se cumple el principio de conservación de la energía (leyes de corriente y voltaje de Kirchhoff) para las lecturas de la tabla 7.1? ¿Qué consideraciones hay que hacer?

Circuito RC

- c) Calibre el osciloscopio.
- d) Ajuste el generador de funciones de tal manera que obtenga una señal cuadrada de 2 V de amplitud y 2 KHz de frecuencia.
- e) Arme el circuito como es mostrado en la figura 7.6.

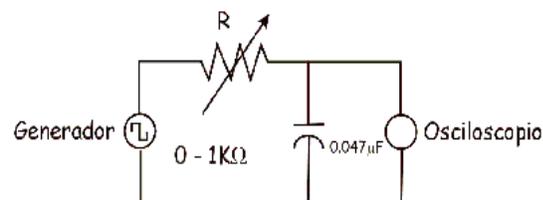


Figura 7.6 Circuito RC

- f) Varíe el potenciómetro hasta obtener una señal fácil de medir en el osciloscopio.
 - g) Con ayuda del osciloscopio observe el voltaje en el capacitor y en la resistencia.
 - h) Desconecte la resistencia del circuito y mídala con el óhmetro anotando su valor, $R =$
4. Realice una gráfica acotada del voltaje en el capacitor y en la resistencia, en el proceso de carga y descarga, respectivamente del inciso f).

 5. Realice la suma de las gráficas de voltaje acotadas en la pregunta 4. ¿Cómo relaciona la señal obtenida con la señal de entrada?

 6. De la gráfica de voltaje de carga del capacitor, anote el voltaje y encuentre el valor de la constante de tiempo.

7. Calcule el valor de la capacitancia del capacitor empleado a partir de la constante de tiempo y el valor de la resistencia medida en el inciso h).

ESCRIBA SUS COMENTARIOS Y CONCLUSIONES DE LA PRÁCTICA CORRESPONDIENTE.

LABORATORIO DE ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO

PRÁCTICA No. 8
CAMPOS MAGNÉTICOS ESTACIONARIOS

CONTENIDO PROGRAMÁTICO RELACIONADO:

TEMA IV. CAMPO MAGNÉTICO
SUBTEMAS: IV.1, IV.2, IV.3, IV.4 y IV.5

SEMESTRE LECTIVO: _____

| | | |
|-----------------|-------------------------|--------------|
| ALUMNO | NÚMERO DE CUENTA | GRUPO |
| | | |
| PROFESOR | | FIRMA |
| | | |

| CONCEPTO | CALIFICACIÓN |
|---------------------------|---------------------|
| Cuestionario Previo (30%) | |
| Desarrollo (35%) | |
| Cuestionario Final (35%) | |
| Calificación Práctica 8 | |

**LABORATORIO DE ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO
DEPARTAMENTO DE FÍSICA**

**PRÁCTICA No. 8
CAMPOS MAGNÉTICOS ESTACIONARIOS**

CUESTIONARIO PREVIO

1. Defina el concepto de magnetismo y enuncie algunas fuentes de campo magnético estacionario.
2. Enuncie las características más relevantes de las líneas de fuerza que representan un campo magnético estacionario. Además dibuje auxiliándose por medio de líneas de fuerza la configuración de campo magnético debido a un imán recto y uno en forma de U.
3. Describa el experimento de Oersted y la regla de la mano derecha para establecer la dirección del campo magnético.
4. Enuncie la Ley de Ampere, así como su expresión matemática.
5. Expresé la relación matemática debido a la fuerza magnética que obra sobre una carga eléctrica que se mueve en una región en la cual existe un campo magnético uniforme.

OBJETIVOS

- I. El alumno observará configuraciones de campo magnético debido a imanes de diferente forma geométrica, también la de una corriente eléctrica que circula en un hilo conductor de forma rectilínea y de un solenoide.
- II. Observará la relación de la fuerza magnética entre los polos de un imán y los producidos por un electroimán.

INTRODUCCIÓN

Campos Magnéticos Estacionarios

Un campo magnético por sí mismo debe atribuirse a carga eléctrica en movimiento. Sin embargo, es común considerar como fuentes ordinarias de campo magnético los imanes o magnetitas y una corriente eléctrica que fluye en hilos conductores (se atribuye al físico Danés H. C. Oersted dicho descubrimiento).

En específico, el movimiento de los electrones dentro de los átomos constituye una corriente eléctrica y esta pequeña corriente presenta un efecto magnético. Los electrones orbitales dentro de los átomos no sólo giran alrededor del núcleo, sino que también giran alrededor de su propio eje (spin) y este movimiento es el causante de los efectos magnéticos.

Para representar un campo magnético (\vec{B}) se utilizan líneas de fuerza, las cuales cumplen las siguientes características:

1.- Son líneas cerradas o continuas. Sin embargo para el caso de un imán, se considera que las líneas se inician de manera convencional en un polo magnético norte y se dirigen a un polo magnético sur (internamente al imán estas se cierran).

Ley de Gauss para el magnetismo “afirma que el flujo magnético (F_B) que pasa por una superficie cerrada “hipotética” cualquiera debe valer cero”.

Matemáticamente:

$$\Phi_B = \oint_S \vec{B} \cdot d\vec{s} = 0 \quad \text{(No existen polos magnéticos aislados)}$$

2.- Son líneas continuas, de tal forma que la tangente en un punto de la línea nos da la dirección del campo magnético en ese punto.

3.- Para determinar la dirección de las líneas de fuerza debido a una corriente eléctrica en un hilo conductor, se aplica la regla de la mano derecha “se toma al conductor con la mano derecha; con el dedo pulgar se apunta hacia donde fluye la corriente y la dirección de los dedos restantes nos indican la dirección de las líneas de fuerza”.

Definición de Campo Magnético (\vec{B})

Si tenemos presente la fuerza electrostática entre dos cargas en reposo, como indica la figura 8.1 se tiene:

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qq_1}{r^2} \left(\frac{\vec{r}}{r} \right) [N] \quad \text{Ley de Coulomb}$$

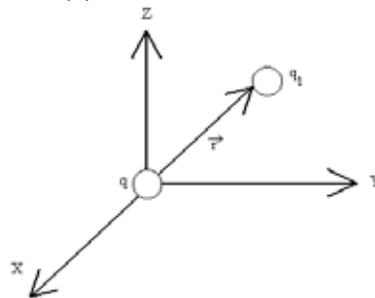


Figura 8.1 Fuerza eléctrica entre dos cargas puntuales en reposo

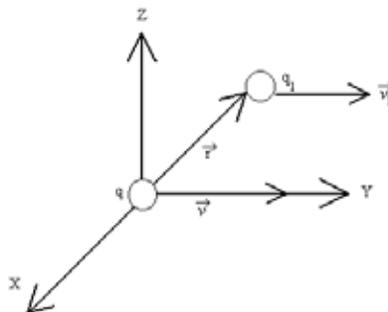


Figura 8.2 Cargas puntuales en movimiento

Ahora, si las cargas se mueven de modo uniforme con velocidades \vec{v} y \vec{v}_1 respectivamente, como se muestra en la figura 8.2, existirá además una “fuerza magnética” \vec{F}_B ejercida sobre q debido a q_1 dada por:

$$\vec{F}_B = \frac{\mu_o q q_1}{4\pi r^2} \vec{v} \times \left(\vec{v}_1 \times \frac{\vec{r}}{r} \right)$$

Donde: $\mu_o = 4\pi \times 10^{-7} \left[\frac{N \cdot s^2}{C^2} \right]$ o $\left[\frac{H}{m} \right]$ que es la constante de permeabilidad magnética del aire.
Descomponiendo en factores

$$\vec{F}_B = q \vec{v} \times \frac{\mu_o q_1}{4\pi r^2} \left(\vec{v}_1 \times \frac{\vec{r}}{r} \right)$$

Donde se define:

$$\vec{B} = \frac{\mu_o q_1}{4\pi r^2} \left(\vec{v}_1 \times \frac{\vec{r}}{r} \right) \quad \text{Inducción magnética o campo magnético}$$

Por tanto se tiene:

$$\vec{F}_B = q \vec{v} \times \vec{B} \quad [N] \quad \text{Fuerza de origen magnético}$$

Donde las unidades para $B = \left[\frac{N \cdot s}{C \cdot m} \right]$ o $[Tesla, T]$, o $\left[\frac{Weber}{m^2}, \frac{Wb}{m^2} \right]$

Debe observarse que por la perpendicularidad de \vec{F}_B y \vec{v} la fuerza magnética no realiza trabajo alguno sobre la carga en movimiento y ésta sólo sufre una desviación lateral. Para un flujo de corriente en un hilo conductor la expresión de inducción magnética se puede escribir como:

$$d\vec{B} = \frac{\mu_o i}{4\pi r^2} \left(d\vec{l} \times \frac{\vec{r}}{r} \right) \quad \text{Ley de Biot y Savart}$$

Donde $i d\vec{l}$ es un pequeño elemento de corriente. Ahora, aplicando la Ley de Biot y Savart a un hilo conductor rectilíneo infinito al cual fluye una corriente, ver figura 8.3. Se tiene:

$$|\vec{B}_p| = \frac{\mu_o i}{2\pi r} \quad [T]$$

Además, al evaluar la circulación de \vec{B} , para una trayectoria cerrada se tiene:

$$C_B = \oint_L \vec{B} \cdot d\vec{l} \quad \text{Donde } C_B = \mu_o \cdot i$$

Por lo tanto, $\oint_L \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 i$ Ley circuital de Ampere

Además: $\vec{B} = B\hat{e}_\phi$

“La circulación de un campo magnético es igual a la corriente encerrada por la trayectoria cerrada seleccionada”.

Figura 8.3.

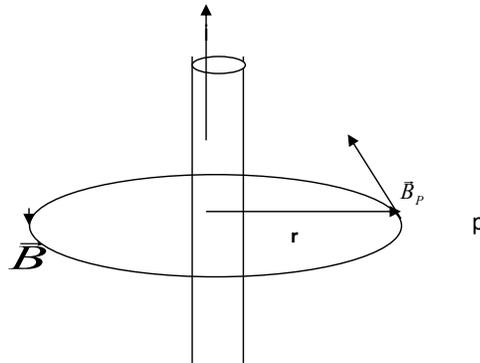


Figura 8.3 Campo magnético en alambre conductor (circulación de un campo magnético)

CONCEPTOS NECESARIOS

1. Campo magnético.
2. Características de las líneas de inducción magnética.
3. Experimento de Oersted.
4. Ley de Ampere.
5. Fuerza magnética.

MATERIAL Y EQUIPO

- Dos imanes de barra rectos.
- Dos imanes tipo dona.
- Un imán en forma de U (herradura).
- Un electroimán.
- Un dispositivo de Oersted.
- Limadura de hierro.
- Una bobina con su base.
- Un solenoide con núcleo de hierro.
- Una fuente de poder 30 [V], 10 [A].
- Cuatro brújulas.
- Cables para conexión.

- Una balanza granataria.
- Una regla graduada.
- Un soporte universal y pinza sujetadora.
- Una hoja de papel nueva.
- Un salero.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL Y OBSERVACIONES DEL ESTUDIANTE

Configuraciones de campo magnético

- a) Coloque el imán de barra en forma horizontal sobre la mesa de trabajo; a continuación, encima de él ponga una hoja de papel y rocíe limadura de hierro, finamente con el salero de manera uniforme.

1. Dibuje la forma de las líneas de campo magnético producidas en el plano de la hoja por el imán recto. ¿Qué concluye al respecto?

- b) Repita el procedimiento indicado en el inciso a), utilizando el imán en forma de U.

2. Dibuje la forma de las líneas de campo magnético producidas en el plano de la hoja por el imán en U. ¿Qué concluye al respecto?

- c) Coloque dos imanes de barra como se indica en la figura 8.4. Para cada caso ponga una hoja sobre ellos y rocíe finamente limadura de hierro.

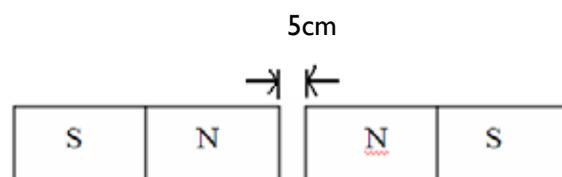


Figura 8.4a



Figura 8.4b



Figura 8.4c

Figura 8.4 Imanes permanentes

3. Dibuje las líneas de campo magnético producido en el plano de la hoja por los dos imanes del inciso c), en cada posición.

Experimento de Oersted

- d) Utilizando el dispositivo de Oersted, coloque cuatro brújulas en la base de acrílico alrededor del hilo conductor en un radio de aproximadamente 3 cm, como se muestra en la figura 8.5 (cerciórese de que todas las brújulas señalen en dirección del norte geográfico).

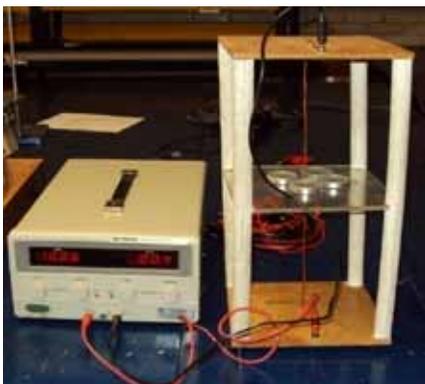


Figura 8.5 Dispositivo de Oersted

- e) Ajuste la fuente de poder hasta obtener una corriente eléctrica de 5 A aproximadamente y observe el sentido del campo magnético indicado por las brújulas.
4. Auxílese con las brújulas para obtener la configuración del campo magnético del alambre conductor utilizado en el inciso e) ¿Qué concluye al respecto?
5. Si invierte el sentido de la corriente, ¿cuáles serían sus conclusiones respecto a las líneas de fuerza en el inciso e)?
6. La dirección del campo magnético indicada por las brújulas en el inciso e), ¿coincide con la regla de la mano derecha?

Campo magnético producido por una bobina circular y un solenoide

- f) Coloque alrededor de la bobina circular cuatro brújulas como se muestra en la figura 8.6 (cerciórese que el eje axial de la bobina no coincida con el norte-sur geográfico). A continuación, mediante la fuente de poder ajuste la corriente eléctrica a 3A y observe la orientación de las brújulas.



Figura 8.6 Dispositivo de bobina circular

7. Dibuje las líneas de campo magnético producido por la bobina circular, auxíliese por la orientación de las brújulas.

- g) Conecte la fuente de poder al solenoide como se muestra en la figura 8.7 y ajuste el voltaje hasta tener una corriente de 1.5A. A continuación coloque una hoja de papel sobre el solenoide con núcleo de hierro estando éste en posición horizontal y rocíe limadura de hierro.

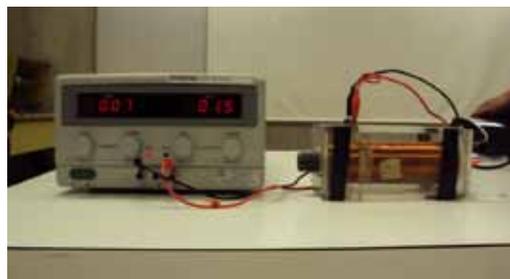


Figura 8.7 Electroimán

8. Dibuje la configuración de campo magnético auxiliándose por medio de líneas de fuerza, observadas en el inciso g).

Fuerza magnética entre polos magnéticos

- h) Utilizando la balanza granataria, determine la masa del imán en forma de dona, $M_{\text{imán}} = \text{_____ Kg.}$
- i) Arme el dispositivo que se muestra en la figura 8.8. Sujetando el “fiel” mantenga la balanza en equilibrio (marcando cero) y fije una distancia de 8 cm entre las caras de ambos imanes, entre éstos debe existir una fuerza de repulsión.



Figura 8.8 Fuerza entre imanes permanentes

- j) Libere el fiel de la balanza y a continuación por medio de los jinetillos restablezca el equilibrio, para obtener M_{lectura} . Concentre su lectura en la tabla 8.1.
- k) Repita lo anterior para las distancias indicadas en la tabla 8.1 y concentre sus lecturas en la misma.

| DISTANCIA [m] | M_{lectura} [Kg] | $M = M_{\text{imán}} - M_{\text{lectura}} $ [Kg] | FUERZA [N] |
|---------------|---------------------------|---|------------|
| 0.08 | | | |
| 0.06 | | | |
| 0.04 | | | |

Tabla 8.1 Fuerza entre polos magnéticos

1. Considere los valores de la tabla 8.1. ¿Cómo varía la magnitud del campo magnético respecto a la distancia?

- l) Sustituya el imán superior por el electroimán, colóquelo a una distancia de 4 cm según se muestra en la figura 8.9 y conéctelo a la fuente de poder de manera que provoque repulsión al fluir corriente por él.

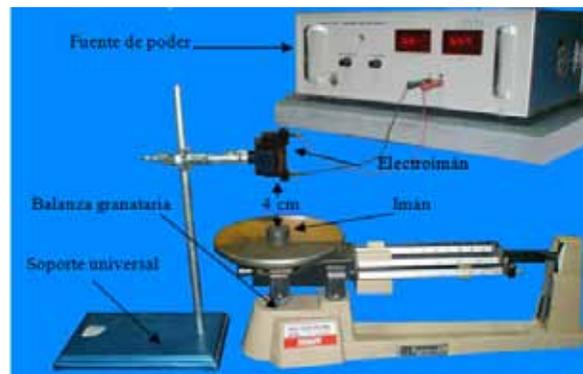


Figura 8.9 Fuerza entre un electroimán y un imán permanente

- m) Ajuste en la fuente la perilla de voltaje al máximo y por medio de la perilla de corriente obtenga los valores indicados en la tabla 8.2.
- n) En cada caso del inciso anterior, para obtener $M_{lectura}$, restablezca el equilibrio en la balanza y concentre sus lecturas en la misma tabla.

| CORRIENTE [A] | $M_{lectura}$ [Kg] | $M = M_{imán} - M_{lectura}$ [Kg] | FUERZA [N] |
|---------------|--------------------|-----------------------------------|------------|
| 0.5 | | | |
| 1.0 | | | |
| 1.5 | | | |
| 2.0 | | | |
| 2.5 | | | |

Tabla 8.2 Fuerza magnética utilizando un electroimán

2. Considere los valores de la Tabla 8.2, ¿cómo varía la magnitud del campo magnético sobre el eje del solenoide? Escriba la ecuación matemática que cuantifica esta variación.
3. Grafique la fuerza magnética contra corriente eléctrica con los valores obtenidos en la tabla 8.2 ¿Cómo varía la fuerza magnética respecto a la corriente?

ESCRIBA SUS COMENTARIOS Y CONCLUSIONES DE LA PRÁCTICA CORRESPONDIENTE.

LABORATORIO DE ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO

PRÁCTICA No. 9
LEY DE LA INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA DE FARADAY
Y CIRCUITO RL

CONTENIDO PROGRAMÁTICO RELACIONADO:

TEMA V. INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA
SUBTEMAS: V.1, V.2, V.3, V.4, V.6 y VI.5

SEMESTRE LECTIVO: _____

| | | |
|-----------------|-------------------------|--------------|
| ALUMNO | NÚMERO DE CUENTA | GRUPO |
| | | |
| PROFESOR | | FIRMA |
| | | |

| CONCEPTO | CALIFICACIÓN |
|---------------------------|---------------------|
| Cuestionario Previo (30%) | |
| Desarrollo (35%) | |
| Cuestionario Final (35%) | |
| Calificación Práctica 9 | |

**LABORATORIO DE ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO
DEPARTAMENTO DE FÍSICA**

**PRÁCTICA No. 9
LEY DE LA INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA DE FARADAY
Y CIRCUITO RL**

CUESTIONARIO PREVIO

- 1) Defina la Ley de inducción Electromagnética de Faraday.
- 2) Defina la Ley de Lenz.
- 3) Enuncie el principio básico del transformador eléctrico.
- 4) Mencione dos causas de pérdidas de energía en el transformador.
- 5) Enuncie el principio básico del generador de corriente alterna (C.A.).
- 6) Defina el concepto de inductancia.
- 7) Para un circuito serie RL deduzca las expresiones de voltaje y corriente en el inductor:
 - a) En el proceso de energización (figura 9.1).
 - b) En el proceso de desenergización (figura 9.2).

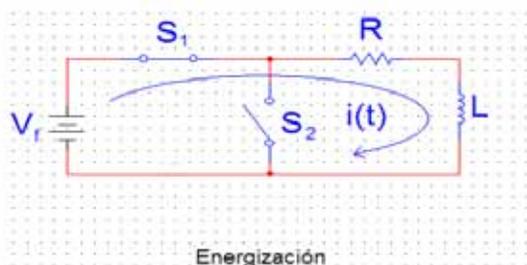


Figura 9.1. Proceso de energización

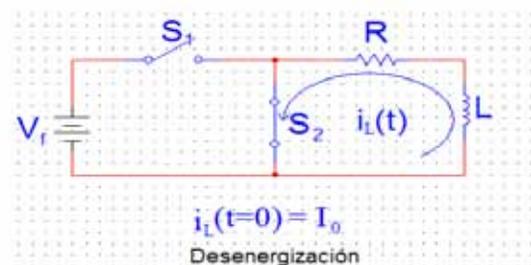


Figura 9.2. Proceso desenergización

- 8) Enuncia el significado de la constante de tiempo inductiva: $\tau_L = \frac{L}{R}$
- 9) Al fluir una corriente eléctrica en un inductor, el campo magnético del inductor almacena energía eléctrica; escriba la expresión de energía describiendo los parámetros y unidades en la misma.

OBJETIVOS

- I. Aplicación de la ley de inducción de Faraday.
- II. Fundamentos básicos del transformador eléctrico.
- III. Aplicación del transformador como elevador o reductor de voltaje.
- IV. Comprobará en forma experimental la energización y desenergización en el inductor.
- V. Observará la curva de energización y desenergización en el inductor para un circuito serie RL excitado en corriente directa.
- VI. Verificará experimentalmente la constante de tiempo en un circuito RL.

INTRODUCCIÓN

Ley de Faraday y Principio del Transformador

La ley de inducción electromagnética de Faraday es el fundamento para el desarrollo de los motores, relevadores, transformadores, etc.

Esta ley establece: “La fuerza electromotriz inducida en un circuito conductor es igual a la rapidez de cambio de un flujo magnético que es eslabonado en dicho circuito”.

Principio básico del transformador:

El transformador simple consta de dos bobinas colocadas muy cerca y aisladas eléctricamente una de otra; según se muestra en la figura 9.3.

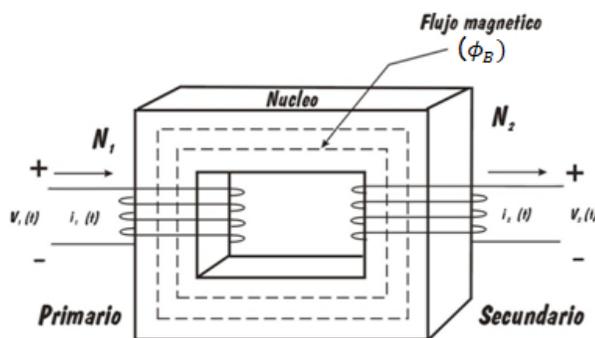


Figura 9.3 Transformador simple

La bobina a la cual se aplica la tensión (voltaje) de suministro se llama “primario” del transformador. Esta bobina produce un campo magnético variable en el tiempo que es eslabonado por la otra bobina llamada “secundario” induciendo en él una corriente y como consecuencia induciendo un voltaje en las terminales de éste. Debe notarse que las bobinas no están conectadas entre sí de manera directa; sin embargo, están acopladas de forma magnética.

De la Ley de Faraday se tiene:

$$V_1(t) = \frac{-N_1 d\phi_{B1}(t)}{dt} \text{ [V]}$$

Donde N_1 = Número de espiras en el primario

$\phi_{B1}(t)$ = Flujo magnético debido a "i₁" en el primario

Si la fuente de voltaje suministra una señal armónica entonces:

$$V_1(t) = V_{1\max} \text{sen}(\omega t) \text{ [V]}$$

Por tanto, si el flujo magnético es

$$\phi_{B1}(t) = \phi_{B1\max} \text{sen}(\omega t) \text{ [Wb]}$$

Existe una relación entre Weber y Maxwell

$$1 \text{ [Maxwell]} = 10^{-8} \text{ [Weber]}$$

Sustituyendo la ecuación anterior en la Ley de Faraday

$$V_1(t) = -N_1 \frac{d}{dt} [\phi_{B1\max} \text{sen}(\omega t)]$$

$$V_1(t) = -N_1 \omega \phi_{B1\max} \text{cos}(\omega t)$$

Frecuencia angular (velocidad angular)

F = frecuencia [Hertz o ciclos/s]

Si dividimos entre $\sqrt{2}$ obtenemos el valor cuadrático medio (valor eficaz):

$$V_1(t) = \frac{N_1 \omega \phi_{B1\max}}{\sqrt{2}} \text{cos}(\omega t) \text{ [V]}$$

Si hacemos $V_{1\max} = N_1 \omega \phi_{B1\max}$

$$V_1(t) = \frac{V_{1\max}}{\sqrt{2}} \text{cos}(\omega t) \text{ [V]}$$

La ecuación anterior se aplica de igual manera al voltaje inducido en el secundario, es decir:

$$V_2(t) = \frac{V_{2\max}}{\sqrt{2}} \text{cos}(\omega t) \text{ [V]}$$

$$V_2 = N_2 \omega \phi_{B2\max}$$

N_2 = Número de espiras del secundario

$\phi_{B1\max} = \phi_{B2\max}$ Flujo mutuo máximo

Ahora, dividiendo las dos ecuaciones anteriores obtenemos:

$$\frac{V_1(t)}{V_2(t)} = \frac{N_1(t)}{N_2(t)} = a$$

Esta ecuación recibe el nombre de “relación de transformación”, indica que los voltajes inducidos primario y secundario, se relacionan entre sí por el número de espiras del primario y secundario.

Al considerar un transformador “ideal” de rendimiento 100 % tenemos que potencia eléctrica en el primario es igual a potencia eléctrica en el secundario, entonces tenemos:

$$V_1(t)i_1(t) \cos \theta_1 = V_2(t)i_2(t) \cos \theta_2$$

Donde: $\cos \theta_1 = - \cos \theta_2$

Por lo tanto: $V_1(t)i_1(t) = V_2(t)i_2(t)$

$$\frac{V_1(t)}{V_2(t)} = \frac{i_2(t)}{i_1(t)} \quad ; \quad \frac{V_1(t)}{V_2(t)} = \frac{N_1}{N_2} = a$$

$$\therefore \frac{N_1}{N_2} = \frac{i_2(t)}{i_1(t)}$$

De ahí que la relación de transformación “a” se puede obtener también dividiendo las corrientes del secundario y primario:

$$a = \frac{i_2(t)}{i_1(t)}$$

Análisis del Circuito RI en Serie

Si una fuerza electromotriz constante se aplica a un circuito serie RL, se genera una corriente transitoria cuya expresión para el proceso de energización se obtiene a partir de la figura 9.4.

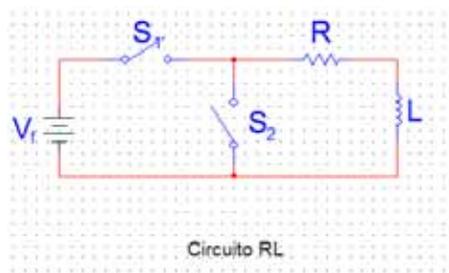


Figura 9.4 Circuito RL

Cerrando el interruptor S_1 se tiene, aplicando ley de voltajes de Kirchhoff (LVK)

$$V_L = iR + L \frac{di}{dt}$$

Donde la solución de la ecuación diferencial es

$$i_L(t) = \frac{V_f}{R} \left(1 - e^{-\frac{Rt}{L}} \right) \quad [A]$$

Donde $\frac{L}{R} = \tau_L$ [S] (constante de tiempo inductiva)

Además de la ecuación anterior se tiene:

$$V_L(t) = -L \frac{di_L}{dt} = V_f \cdot e^{-\frac{Rt}{L}} \quad [V]$$

Para el proceso de desenergización (ya energizado el inductor), abrimos el interruptor S_1 y cerramos el interruptor S_2 , aplicando LVK se tiene:

$$L \frac{di_L}{dt} + iR = 0$$

Donde la solución de la ecuación diferencial es:

$$i_L(t) = \frac{V_f}{R} \left(e^{-\frac{Rt}{L}} \right) \quad [A]$$

Además, se obtiene el voltaje de la inductancia (V_L) con:

$$V_L(t) = -V_f \cdot e^{-\frac{Rt}{L}} \quad [V]$$

En la figura 9.5 se muestra una gráfica cualitativa de $i_L(t)$ en relación a las ecuaciones del proceso de energización y desenergización, respectivamente.



Figura 9.5 Energización y desenergización del circuito RL

CONCEPTOS NECESARIOS

1. Inducción Electromagnética.
2. Ley de Lenz.
3. Principio básico del transformador.
4. Inductancia.
5. Circuito RL.

MATERIAL Y EQUIPO

- Una bobina de 1000 espiras.
- Dos bobinas de 250 espiras.
- Un núcleo de hierro en forma de “U”.
- Dos multímetros.
- Cables de conexión.
- Un variac.
- Un osciloscopio.
- Un generador de funciones.
- Un potenciómetro 0-10,000 (Ω).
- Una inductancia de 17.2 [mHr] o valor aproximado.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL Y OBSERVACIONES DEL ESTUDIANTE

Principio básico del transformador eléctrico:

Transformador regulador

Medición de voltaje

- a) Arme el circuito mostrado en la figura 9.6 empleando las bobinas iguales de 250 espiras.

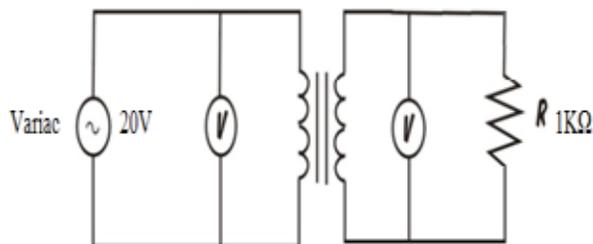


Figura 9.6 Transformador regulador

- b) Mida el voltaje en el primario en vacío.
- c) Mida el voltaje en el secundario en vacío.
- d) Anote los datos obtenidos en la tabla 9.1.

| Circuito | Voltaje [V] | |
|----------|-------------|------------|
| | Primario | Secundario |
| En vacío | | |

Tabla 9.1 Transformador regulador

1. ¿Se verificó el fenómeno de inducción electromagnética del circuito primario al secundario?

Transformador reductor de voltaje

- e) Reemplazar en el circuito primario de la figura 9.6, la bobina de 250 espiras por una de 1000 espiras.
- f) Realice las mediciones de la misma forma en que lo hizo en el experimento anterior y anote los resultados en la tabla 9.2.

| Circuito | Voltaje [V] | |
|----------|-------------|------------|
| | Primario | Secundario |
| En vacío | | |

Tabla 9.2 Transformador reductor

2. ¿Se comprobó la acción transformadora?

Transformador elevador de voltaje

- g) Realice las mismas mediciones que los experimentos anteriores, pero ahora colocando la bobina de 250 espiras en el primario y la de 1000 espiras en el secundario y anote los resultados en la tabla 9.3.

| Circuito | Voltaje [V] | |
|----------|-------------|------------|
| | Primario | Secundario |
| En vacío | | |

Tabla 9.3 Transformador elevador

3. Con los datos de los experimentos realizados llene la tabla 9.4 y calcule el voltaje del secundario y los flujos magnéticos para cada caso.

| Transformador | N_1 | N_2 | a | $V_1(t)$ | $V_2(t)$ | | θ_{B1} | θ_{B2} |
|---------------|-------|-------|-----|----------|----------|-------|---------------|---------------|
| | | | | | EXP. | TEÓR. | MAXWELL | MAXWELL |
| Básico | | | | | | | | |
| Reductor | | | | | | | | |
| Elevador | | | | | | | | |

Tabla 9.4 Obtención de datos teóricos

4. ¿Qué factores cree que intervengan respecto de sus resultados teóricos y experimentales?

Circuito RL

- h) Ajuste el generador de tal manera que obtenga una señal de pulso de 10V de amplitud y 6 [KHz] de frecuencia.
 i) Arme el circuito que se muestra en la figura 9.7.

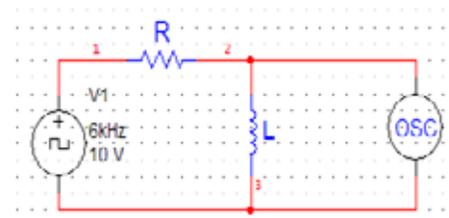
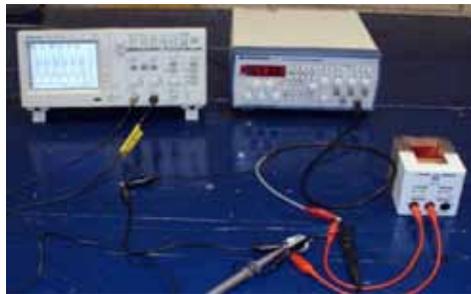


Figura 9.7 Circuito RL

- j) Observe la variación con el tiempo, de la diferencia de potencial en el inductor y el resistor. Mida el valor máximo y el mínimo.
 5. Haga una gráfica voltaje-tiempo para la resistencia y otra para el inductor según lo observado en el osciloscopio. Acote ambos ejes de las gráficas.
 6. Verifique si se cumple la Segunda Ley de Kirchhoff en el circuito RL, en los procesos de energización y desenergización. Sume gráficamente, punto a punto, $V_R + V_L$ para cada proceso.
 k) Para un valor de resistencia, mida la constante de tiempo del circuito.
 7. Haga una gráfica acotada de voltaje en el resistor-tiempo, e indique cómo determinó la constante de tiempo. Anote el valor medido.

- l) Varíe el valor de R de su valor mínimo al máximo.
8. Explique en términos de la constante de tiempo, las variaciones de las formas de onda observadas.
9. ¿Por qué cuando la corriente en el inductor es constante, la diferencia de potencial en sus extremos es cero?

ESCRIBA SUS COMENTARIOS Y CONCLUSIONES DE LA PRÁCTICA CORRESPONDIENTE.

LABORATORIO DE ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO

PRÁCTICA No. 10
PROPIEDADES MAGNÉTICAS

CONTENIDO PROGRAMÁTICO RELACIONADO:**TEMA VI. PROPIEDADES MAGNÉTICAS****SUBTEMAS: VI.1, VI.2, VI.3 y VI.4****SEMESTRE LECTIVO:** _____

| | | |
|-----------------|-------------------------|--------------|
| ALUMNO | NÚMERO DE CUENTA | GRUPO |
| | | |
| PROFESOR | | FIRMA |
| | | |

| CONCEPTO | CALIFICACIÓN |
|---------------------------|---------------------|
| Cuestionario Previo (30%) | |
| Desarrollo (35%) | |
| Cuestionario Final (35%) | |
| Calificación Práctica 10 | |

**LABORATORIO DE ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO
DEPARTAMENTO DE FÍSICA**

**PRÁCTICA No. 10
PROPIEDADES MAGNÉTICAS**

CUESTIONARIO PREVIO

1. Defina los conceptos siguientes:
 - 1.1. Diamagnetismo
 - 1.2. Paramagnetismo
 - 1.3. Ferromagnetismo
2. Defina el concepto de momento dipolar magnético.
3. Deduzca la expresión matemática que relaciona el campo magnético generado en el núcleo del solenoide con la corriente eléctrica que fluye en el mismo y describa sus características.
4. Indique las unidades de intensidad de campo magnético \vec{H} y el campo magnético \vec{B} , así como la expresión que relaciona ambas.
5. Defina el fenómeno de histéresis en los materiales ferromagnéticos.

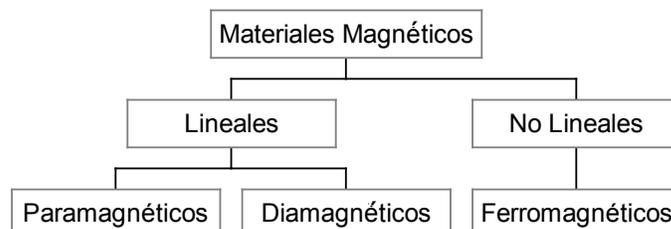
OBJETIVOS

- I. Aprenderá a utilizar el teslámetro para la medición de campo magnético.
- II. Clasificará los materiales utilizados según sea el caso en: diamagnéticos, paramagnéticos o ferromagnéticos.

INTRODUCCIÓN

Propiedades magnéticas de la materia

En términos generales, los materiales magnéticos pueden agruparse en tres clases principales: diamagnéticos, paramagnéticos y ferromagnéticos.



Donde:

$$\chi_M < 0; \mu_R \leq 1 \qquad \chi_M > 0; \mu_R \geq 1 \qquad \chi_M \gg 0; \mu_R \gg 1$$

χ_M es la susceptibilidad magnética

μ_R es la permeabilidad magnética relativa

Teniendo presente la expresión de campo magnético en el núcleo de un solenoide

$$\vec{B} = \frac{\mu_o Ni}{L} = \frac{\mu_o NiA}{LA} = \frac{\mu_o \vec{m}}{V}$$

Donde el momento magnético dipolar (\vec{m}) por unidad de volumen (V) se define como magnetización (\vec{M}) (figura 10.1), la cual caracteriza el comportamiento magnético de los materiales.

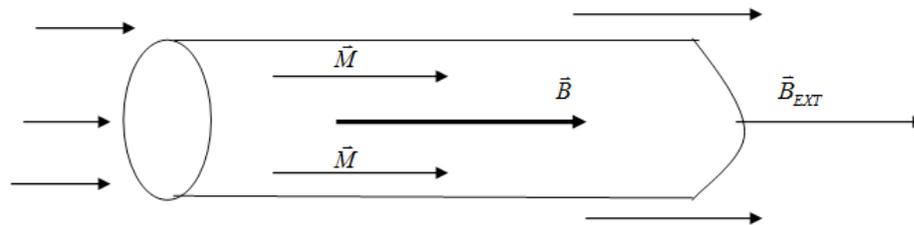


Figura 10.1 Núcleo del solenoide

Por lo tanto: $\vec{B}_N = \mu_o \vec{M}$ contribución al campo magnético total, por parte del núcleo en su forma vectorial:

Donde:

$$\vec{M} = \frac{\vec{m}}{V} \left[\frac{A}{m} \right]$$

Ahora bien, el campo magnético neto de un solenoide con núcleo de hierro, en su interior, es la suma vectorial de las contribuciones del campo magnético externo, el del solenoide B_{ext} y la magnetización del núcleo.

Campo magnético total del solenoide con núcleo

$$\vec{B} = \vec{B}_{ext} + \vec{B}_N = \vec{B}_{ext} + \mu_o \vec{M}$$

Definiendo la intensidad de campo magnético como:

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_o} - \vec{M} \quad \left[\frac{A}{m} \right]$$

y substituyendo la expresión de \vec{B} se tiene:

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}_{ext} + \mu_o \vec{M}}{\mu_o} - \vec{M}$$

Por lo tanto:
$$\vec{H} = \frac{\vec{B}_{ext}}{\mu_o} \quad \text{o bien:} \quad \vec{B}_{ext} = \mu_o \vec{H}$$

La última expresión muestra que independientemente si el material es ferromagnético, no ferromagnético, o si es el espacio vacío, la intensidad de campo magnético mide el campo magnético debido a corrientes libres (corriente que fluye en el solenoide).

También combinando las dos ecuaciones anteriores se tiene:

$$\vec{B}_{ext} = \mu_o \vec{H} + \mu_o \vec{M}$$

y teniendo presente que para materiales lineales \vec{M} depende linealmente de \vec{H} , de manera que:

$$\vec{M} = \chi_M \vec{H}$$

Donde χ_M se llama susceptibilidad magnética del material.

Por lo anterior:
$$\vec{B} = \mu_o \vec{H} + \mu_o (\chi_M \vec{H}) = \mu_o \vec{H} (1 + \chi_M)$$

Y haciendo
$$\mu_R = 1 + \chi_M$$

Donde μ_R se llama permeabilidad magnética relativa del material.

Y se tiene
$$\vec{B} = \mu_o \mu_R \vec{H} \quad \text{donde} \quad \mu = \mu_o \mu_R$$

Por lo cual $\vec{B} = \mu \vec{H}$ relación entre el campo magnético total en un material y la intensidad magnética que es una medida del efecto de las corrientes libres.

Finalmente:
$$\mu_R = \frac{\mu}{\mu_o} = \frac{B_{nucleo}}{B_{aire}} \quad \square \text{Adimensional} \square$$

Donde: μ Permeabilidad magnética absoluta.
 μ_R Permeabilidad magnética relativa.

$$\mu_o = 4\pi \times 10^{-7} \left[\frac{T \cdot m}{A} \right] \quad \text{o} \quad \left[\frac{H_r}{m} \right] \text{ Permeabilidad magnética para el espacio vacío o aire}$$

1 weber = 10^8 maxwell

1 weber/m² = 10^4 gauss

$$B = \frac{\Phi_B}{S} \quad \Phi_B = \text{flujo magnético medido; } S = \text{superficie transversal del núcleo.}$$

CONCEPTOS NECESARIOS

1. Propiedad magnética de la materia.
2. Diamagnetismo.
3. Paramagnetismo.
4. Ferromagnetismo.

MATERIAL Y EQUIPO

- Un solenoide.
- Tres núcleos (aluminio, cobre, hierro).
- Un medidor de campo magnético (teslámetro).
- Una fuente de poder de 0-30VCD; 10 A.
- Conjunto de cables de conexión.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL Y OBSERVACIONES DEL ESTUDIANTE

- a) El profesor explicará el uso y manejo del teslámetro (figura 10.2) para medición de campo magnético.



Figura 10.2 Teslámetro

- b) Arme el dispositivo que se muestra en la figura 10.3. Asegúrese que la punta de la sonda del teslámetro quede en el centro de la bobina, bien fija y aproximadamente a 1mm por arriba del entrehierro.

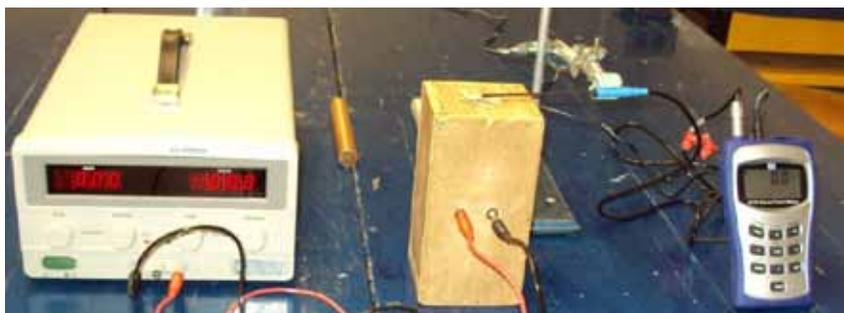


Figura 10.3 Medición del campo magnético de un solenoide

- c) Para llevar a cabo el experimento es conveniente que siga el orden siguiente hierro, aluminio, cobre y aire.
 d) Coloque el hierro dentro de la bobina (Figura 10.4).

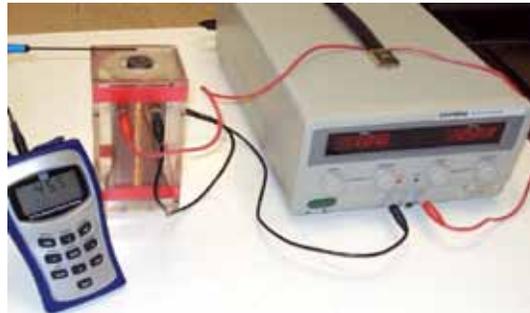


Figura 10.4 Medición de campo magnético de un solenoide con entrehierro

- e) Ajuste la fuente de alimentación hasta obtener la intensidad de corriente que se indica la tabla 10.1 y concentre los resultados en la misma.

Notas:

- Durante la toma de lecturas evite usar anillos, relojes o adornos metálicos.
- Evite cambiar de núcleo cuando esté pasando corriente.
- Se recomienda realizar las lecturas sin cambiar en lo posible la escala.
- Las tomas de lectura con aire deben realizarse en el menor tiempo posible, pues sin núcleo la bobina sufre un calentamiento excesivo.
- f) Para cada uno de los núcleos se repite el procedimiento a partir del inciso e), al cambiar el núcleo calibre nuevamente el teslámetro y concentre sus lecturas en la tabla 10.1.

| I [A] | CAMPO MAGNÉTICO (B) [mT] | | | |
|-------|-----------------------------|----------|-------|------|
| | HIERRO | ALUMINIO | COBRE | AIRE |
| 0.0 | | | | |
| 0.2 | | | | |
| 0.4 | | | | |
| 0.6 | | | | |
| 0.8 | | | | |
| 1.0 | | | | |
| 1.2 | | | | |
| 1.4 | | | | |
| 1.6 | | | | |
| 1.8 | | | | |
| 2.0 | | | | |

Tabla 10.1

1. Para cada uno de los núcleos (incluyendo el aire), realice una gráfica con la variable independiente en el eje de las abscisas y con la variable dependiente en el de las ordenadas. Use papel milimétrico.
2. Mediante el método de mínimos cuadrados (u otro método) establezca la ecuación de la recta que mejor se ajusta a los resultados obtenidos (el modelo matemático).
3. Calcule la permeabilidad relativa de cada uno de los materiales, en las unidades adecuadas

$$\mu_r = \frac{|\vec{B}|}{|\vec{B}_o|}$$

B = campo magnético en el material
B_o = campo magnético en el aire

4. Clasifique magnéticamente los núcleos y corrobore con los libros de texto.

ESCRIBA SUS OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES DE LA PRÁCTICA CORRESPONDIENTE.

BIBLIOGRAFÍA**1.- Física universitaria**

Sears–Zemansky–Young
12va Edición
Editorial Addison–Wesley Iberoamericana

2.- Física Tomo II

Resnick Halladay–Krane
4ta Edición
Editorial CECSA

3.- Física Tomo II

Buelche
1era Edición
McGraw–Hill

4.- Física Tomo II

Giancoli
4ta Edición
Editorial Prentice Hall

5.- Electricidad y Magnetismo

Jaramillo–Alvarado
2da Edición
Editorial Trillas

6.- Física Fundamentos y Aplicaciones

R.M. Eisberg–L.S Lerner
Edición 1981
Editorial McGraw Hill

7.- Física Electromagnetismo y Materia Tomo II

Feynman
Edición 1972
Editorial Fondo Educativo Interamericano

8.- Fundamentos de Electricidad y Magnetismo

Kip
Edición 1982
Editorial McGraw Hill

9.- Física “La naturaleza de la cosas” Vol. II

S.M Lea
Edición 1999
Editorial Internacional Thomson

Electricidad y magnetismo (Prácticas de laboratorio)

Divididas en dos grupos: Electricidad y Magnetismo; las prácticas contenidas en este manual responden a la necesidad que el constante cambio tecnológico plantea: el establecimiento de nuevos proyectos y métodos dentro del laboratorio. Teniendo como objetivo fundamental el que el alumno desarrolle su capacidad de observación y la habilidad en el manejo de dispositivos experimentales para la correcta realización de experimentos relacionados con los fenómenos eléctricos y magnéticos.

colección: manuales de ciencias físico - matemáticas y de las ingenierías

