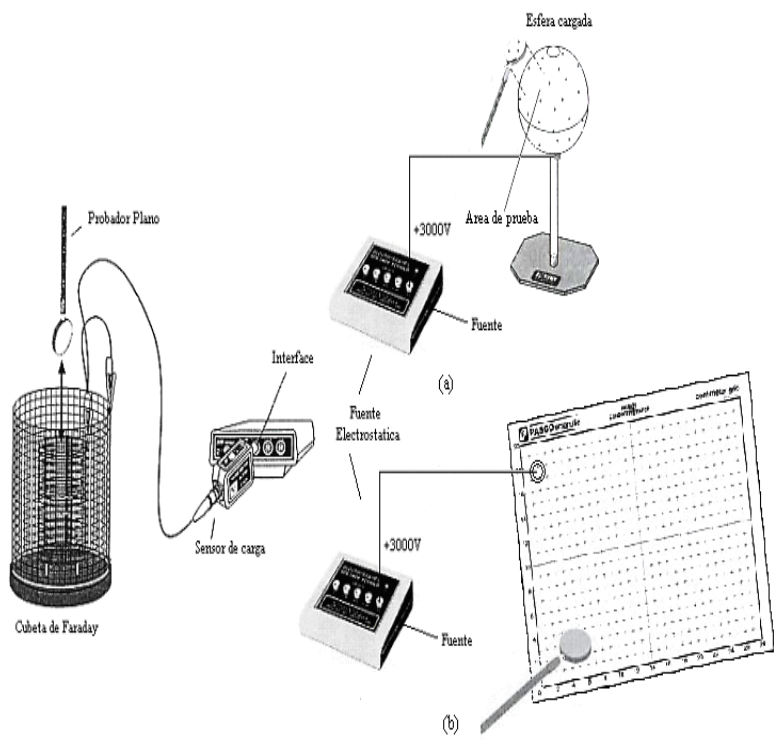




**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA**  
**LABORATORIO DE FÍSICA Y QUÍMICA**



**FÍSICA III**

**Mg. Jorge Luis Godier Amburgo**  
**Lic. Carlos Alberto Quiñones Monteverde**

*“ La Facultad de Ciencias Naturales y Matemática de la UNAC, con una visión dirigida hacia el futuro, se empeña en desarrollar un trabajo tesonero, tendiente a dar su aporte dentro del campo de la matemática, estadística, computación, física, biología y química, tanto en el aspecto de la investigación científica y proyección social, como en la responsabilidad directa de preparar profesionales capaces en función de nuestra sociedad ”*

## PRESENTACION

Desde hace mucho tiempo el hombre ha tratado de liberarse de los trabajos manuales. La idea fundamental por la cual hubo la necesidad de inventar lo que hoy llamamos la computadora, no fue otra que la de reducir laboriosas tareas a una serie de tareas repetitivas sencillas para completar grandes proyectos. En la actualidad el uso de la computadora personal para realizar gráficas sobre datos recogidos de una observación, facilita el proceso de análisis; sin embargo, es importante que el experimentador domine las técnicas para escoger la más conveniente según los resultados buscados; en nuestro caso, la realización de experimentos en física requiere no solo la recolección de grandes cantidades de datos sino también que los mismos sean exactos.

El software *Data Studio* sobre el cual trata este trabajo permite realizar mediciones de forma rápida y con mucha mayor precisión con respecto a los métodos comúnmente empleados en el trabajo científico. La cantidad de datos que se pueden registrar es mayor y en consecuencia, se puede describir mejor el fenómeno en estudio.

# INDICE

1. Carga Eléctrica
2. Densidad de Carga y Campo Eléctrico
3. Condensadores y Dieléctricos
4. Ley de Ohm
5. Circuitos de Corriente Continua
6. Campo Magnético
7. Campo Magnético Terrestre
8. Ley de Faraday
9. Auto inducción y Capacidad
10. Circuito de Corriente Alterna
11. Reflexión y Refracción
12. Lentes

# 1. CARGA ELÉCTRICA

## I. INTRODUCCIÓN

Electrostática es la ciencia que estudia las propiedades y acción recíproca de las cargas eléctricas en reposo con respecto al sistema inercial de referencia elegido para su estudio. El electromagnetismo clásico trata de las cargas estáticas y en movimiento; sin embargo, todos estamos familiarizados con los efectos de la electricidad estática, incluso algunas personas son más susceptibles que otras a su influencia. Para explicar como se origina la electricidad estática, hemos de considerar que la materia está hecha de átomos, y los átomos de partículas cargadas, un núcleo rodeado de una nube de electrones. Normalmente, la materia es neutra, tiene el mismo número de cargas positivas y negativas. La teoría atómica moderna explica el por qué de los fenómenos de electrización y hace de la carga eléctrica una propiedad fundamental de la materia en todas sus formas.

## II. OBJETIVOS

Mediante el desarrollo de esta experiencia es posible demostrar lo siguiente:

- Verificar la atracción ó repulsión de cuerpos cargados eléctricamente.
- Determinar experimentalmente la cantidad de carga transferida por contacto y por inducción, mediante el uso del sensor de carga, el electroscopio y la cubeta de Faraday.
- Verificar que la cantidad de carga depende de la naturaleza de los materiales y del área de la superficie que entra en contacto.
- Comprobar que en cualquier proceso que ocurra en un sistema aislado, la carga total o neta no cambia.

## III. FUNDAMENTO TEÓRICO

### III.1 Carga y materia

Los átomos son agrupaciones de partículas subatómicas, estas son tres: el electrón (e), el protón (p) y el neutrón (n), así:

$$1 \text{ Átomo} = \text{Núcleo (p + n)} + \text{Electrones (e)}$$

Los números de protones, neutrones y electrones dependen del átomo en referencia. Aquí el protón es una partícula con carga positiva igual en magnitud a la carga de un electrón y con una masa 1840 veces mayor. El neutrón no tiene carga pero su masa es aproximadamente igual a la del protón.

Partícula	Carga(C)	Masa(Kg.)
electron	$1.6 \times 10^{-19}$	$9.1 \times 10^{-31}$
protón	$1.6 \times 10^{-19}$	$1.67 \times 10^{-27}$
neutron	0	$1.67 \times 10^{-27}$

Se debe notar que la masa del átomo es prácticamente la masa del núcleo y que en un átomo eléctricamente neutro, el número de electrones alrededor del núcleo, igualara al número de protones en el mismo.

### III.2 Electrización por fricción, contacto e inducción

Un átomo normal que no haya sido perturbado, es llamado átomo neutro, es decir posee el mismo número de cargas positivas y negativas, sin embargo existe siempre la posibilidad de que cualquier cuerpo se cargue ya sea poniéndolo en contacto con otro cuerpo cargado ó acercándolo simplemente a este. Cuando un electrón logra escapar de la influencia del núcleo, pierde la neutralidad eléctrica y se convierte en un *ión positivo*, al poseer un número de protones superior al de electrones. Lo contrario sucede cuando un electrón adicional es incorporado a un átomo neutro. Entonces el *ión* formado es *negativo*, a continuación veremos las tres formas de cargar un objeto.

Mediante la **electrización por fricción**, los electrones externos de los átomos del paño de franela son liberados y cedidos a la barra de ámbar, con lo cual ésta queda cargada negativamente y aquél positivamente. En términos análogos puede explicarse la electrización del vidrio por la seda. En cualquiera de estos fenómenos se pierden o se ganan electrones, pero el número de electrones cedidos por uno de los cuerpos en contacto es igual al número de electrones aceptado por el otro.

La **electrización por contacto**, es considerada como la consecuencia de un flujo de cargas negativas de un cuerpo a otro. Si el cuerpo cargado es positivo es porque sus correspondientes átomos poseen un defecto de electrones, que se verá en parte compensado por la aportación del cuerpo neutro cuando ambos entran en contacto. El resultado final es que el cuerpo cargado se hace menos positivo y el neutro adquiere carga eléctrica positiva. Aún cuando en realidad se hayan transferido electrones del cuerpo neutro al cargado positivamente, todo sucede como si el segundo hubiese cedido parte de su carga positiva al primero. En el caso de que el cuerpo cargado inicialmente sea negativo, la transferencia de carga negativa de uno a otro corresponde a una cesión de electrones.

La **electrización por inducción**, es un efecto de las fuerzas eléctricas; debido a que, éstas se ejercen a distancia, un cuerpo cargado positivamente en las proximidades de otro neutro atraerá hacia sí a las cargas negativas, con lo que la región próxima queda cargada negativamente. Si el cuerpo cargado es negativo entonces el efecto de repulsión sobre los electrones atómicos convertirá esa zona en positiva. En ambos casos, la separación de cargas inducida por las fuerzas eléctricas es transitoria y desaparece cuando el agente responsable se aleja suficientemente del cuerpo neutro.

### III.3 Ley de conservación de las cargas eléctricas

La suma algebraica de las cargas eléctricas de un sistema aislado es constante. La carga eléctrica de cualquier cuerpo consta de una serie de cargas elementales, la mínima partícula estable con carga elemental negativa se denomina electrón, la mínima partícula estable con carga positiva se denomina protón. Los electrones y los protones son partes componentes de los átomos de cualquier cuerpo. En un cuerpo neutral (sin carga) hay cargas de signos contrarios, pero de igual magnitud absoluta. Se considera a las cargas eléctricas como puntuales, si las dimensiones de los cuerpos en que se concentran estas cargas, son muchísimo menores que la distancia que los separa.

### III.4 Ley de Coulomb

Mediante una balanza de torsión, Coulomb encontró que la fuerza de atracción ó repulsión entre dos cargas puntuales es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa, matemáticamente esto se expresa como:

$$\vec{F} = K \frac{qq'}{r^2} \hat{r}$$

En la practica cuando se trabaja en el sistema *M.K.S.*, conviene definir una constante denominada “*permitividad del vacío*” en la forma  $\epsilon_0 = 1/4\pi K$  su valor experimental es:

$$\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} \frac{C^2}{Nm} \Rightarrow K = 9 \times 10^9 \frac{Nm^2}{C^2}$$

### III.5 El electroscopio

El electroscopio consta de dos elementos metálicos que están fijos y que pasan a través de un soporte aislante. Cuando se toca la esfera del electroscopio con un cuerpo cargado, la hoja y la varilla adquieren carga del mismo signo y se repelen siendo su divergencia una medida de la cantidad de carga que ha recibido. La fuerza de repulsión electrostática se equilibra con el peso de los elementos.

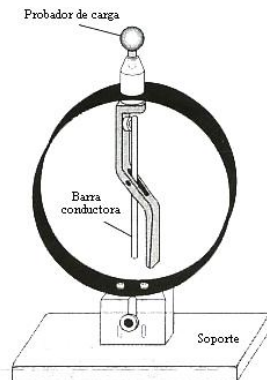


Figura (1) Electroscopio.

Si se aplica una diferencia de potencial entre la esfera y la caja soporte del mismo, los elementos también se separan. Se puede calibrar el electroscopio trazando la curva que nos da la diferencia de potencial en función del ángulo de divergencia.

#### IV. MATERIALES Y EQUIPOS

Nº	DESCRIPCION	CODIGO	CANTIDAD
1	Computadora personal		1
2	Interfase Science Workshop 750		1
3	Electroscopio	SF-9069	1
4	Kit de materiales electrostáticos *	SF-9068	1
5	Electrómetro	ES-9078	1
6	Probadores planos *	ES-9057B	1
7	Cubeta de Faraday	ES-9042A	1
8	Esferas conductoras *	ES-9059B	1
9	Fuente de voltaje electrostática	ES-9077	1
10	Sensor de carga	CI-6555	1
11	Regla metálica de 30 cm		1

\* la cantidad mencionada se refiere al contenido en la caja correspondiente.

#### V. PROCEDIMIENTO Y ACTIVIDADES

##### Procedimiento para configuración de equipos y accesorios

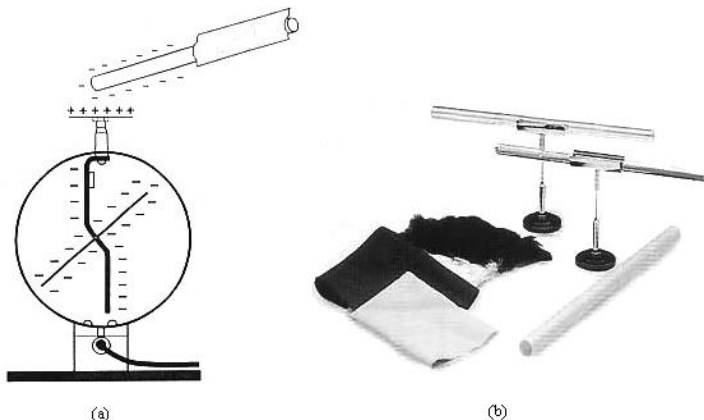
- Verificar la conexión y encendido de la interface.
- Ingresar al programa Data Studio y seleccionar “*crear experimento*”.
- Seleccionar el “*electrómetro básico*” de la lista de sensores y efectuar la conexión usando los cables para transmisión de datos de acuerdo a lo indicado por Data Studio.
- Efectúe la calibración para este sensor indicando una frecuencia de muestreo de 20 Hz en rango predeterminado.
- Seleccionar el “*sensor de carga*” de la lista de sensores y efectuar la conexión usando los cables para transmisión de datos de acuerdo a lo indicado por Data Studio.
- Efectúe la calibración para este sensor indicando una frecuencia de muestreo de 20 Hz en rango predeterminado.
- Escoja la posición  $5x$  en el switch de ganancia del sensor y en la opción medida en la ventana propiedades del sensor.
- Genere una gráfica para cada uno de los parámetros registrados por los sensores elegidos (voltaje y carga).

##### Primera actividad (Carga por fricción – Atracción y repulsión de cuerpos cargados)

- Frote la varilla de acrílico con una pieza de piel durante 1 minuto aproximadamente, tenga cuidado de no poner la varilla en contacto con otro cuerpo.
- Verifique la existencia de carga en éste elemento, acercando el extremo libre al plato de prueba del electroscopio (variación del ángulo entre la lámina y la varilla de aluminio), no toque el extremo de prueba, ver **Figura (2a)**.
- Coloque la varilla de PVC en el soporte de giro libre del kit **SF-9068**.



- d. Acerque la vara de acrílico frotada a la varilla de PVC montada en el soporte de giro libre, tome nota de lo ocurrido, ver **Figura (2b)**.
- e. Ponga en contacto ambas varillas, luego separar y repita el paso (d) esta vez frotando con franela, y luego con seda tome nota de lo ocurrido.



**Figura (2)** Disposición de equipos y accesorios primera actividad.

### Segunda actividad (Carga por Inducción – Conservación de la carga)

- a. Mida con ayuda de la regla el diámetro de las láminas en la cubeta de Faraday, luego determine el radio interno ( $r_a$ ) y el radio externo ( $r_b$ ), en metros.
- b. Realice la conexión de equipos y accesorios tal como se muestra en la **Figura (3)**.
- c. Frote el probador azul con el probador blanco durante aproximadamente 30 segundos, separe ambos elementos, evitando el contacto entre ellos.
- d. Calibre el electrómetro en la escala máxima (100V) y pulse el botón “Zero”, para eliminar cualquier carga residual.
- e. Pulse el botón “inicio”, en la barra principal del programa Data Studio.
- f. Introduzca el probador azul al interior de la cubeta de Faraday, sin tocar las paredes de metal, mantenga esa porción al menos 5 segundos y retire el probador.
- g. Repita el proceso desde (d) hasta (f) para el probador de color blanco.
- h. Detenga la toma de datos.
- i. Usando la calculadora de Data Studio genere una gráfica de carga vs. tiempo, haciendo uso de la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{\Delta V}{K \left( \ln \left( \frac{r_b}{r_a} \right) \right)}$$

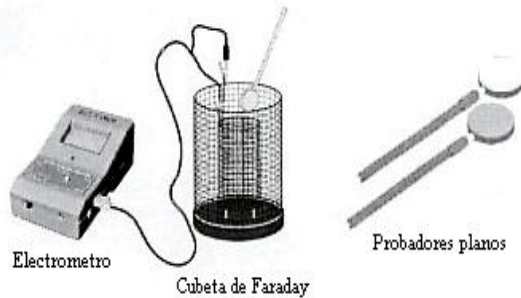
Donde:  $\Delta V$ , es la diferencia de potencial registrada al introducir el probador azul ó el probador blanco en la cubeta de Faraday.

$K$ , es la constante electrostática igual a  $9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$ .

$r_a$ , es el radio del cilindro interno en la cubeta.

$r_b$ , es el radio del cilindro externo en la cubeta.

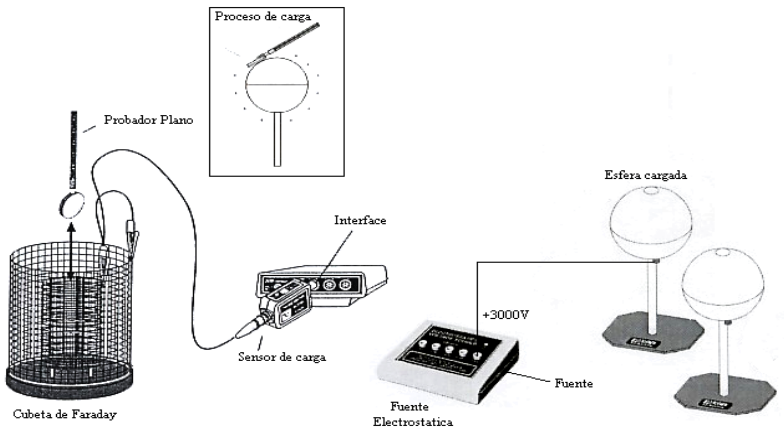
- j. Determine la magnitud y signo de la carga inducida al introducir cada uno de los probadores, anote sus resultados.



**Figura (3)** Disposición de equipos y accesorios segunda actividad.

### Tercera actividad (Carga por Contacto y Separación de cargas)

- Conecte los terminales del sensor de carga a los cilindros interno (rojo) y externo (negro) de la cubeta de Faraday.
- Calibre a cero el sensor de carga pulsando el botón ubicado en la parte superior del sensor.
- Conecte la terminal de +3000V de la fuente electrostática a una de las esferas (utilice el cable rojo).
- Conecte la fuente de poder a la red domestica 220V y encienda el interruptor.



**Figura (4)** Disposición de equipos y accesorios tercera actividad.

- e. Ubique la esfera cargada a 50cm de la cubeta de Faraday.
- f. Verifique que la disposición de equipos sea tal como se muestra en la figura 4.
- g. Haga contacto con la esfera cargada usando el probador de aluminio durante aproximadamente 30 segundos (toque la superficie de manera tangente).
- h. Inicie la recolección de datos pulsando el botón “inicio”, en la barra de herramientas de Data Studio.
- i. Introduzca el probador haciendo contacto dentro de la cubeta de Faraday y registre la magnitud y signo de la carga transferida al probador.
- j. Acerque la segunda esfera hasta aproximadamente 1 cm. de la esfera cargada, espere aproximadamente 1 minuto, luego sepárelas 50 cm.
- k. Acerque el probador de aluminio a la segunda esfera y repita los pasos desde (g) hasta (i), anote sus resultados.
- l. Ponga en contacto ambas esferas durante 1 minuto y luego sepárelas 50 cm. Luego acerque el probador de aluminio a la esfera libre y repita los pasos desde (g) hasta (i), anote sus resultados.

**Nota:** Recuerde descontar la carga residual medida por el sensor de carga.

## VI. CUESTIONARIO

1. En la carga del electroscopio por inducción, ¿Cuál es el signo de la carga residual?
2. En la carga por fricción, ¿que determina el signo de la carga adquirida por un determinado material?, explique.
3. Para la segunda actividad, dado que se conoce la magnitud y signo de la carga inducida, determine el número de electrones removidos por fricción.
4. De lo obtenido en la segunda actividad, ¿diría usted que la carga se conserva?, explique.
5. Al poner en contacto la esfera cargada con otra descargada del mismo radio, al separarlas ¿ambas esferas tendrán la mitad de la carga que tenía la primera esfera inicialmente?, explique.
6. En la tercera actividad ¿la magnitud de la carga transferida variaría si el radio de la esfera conductora descargada fuera mayor a la de la esfera cargada?
7. En la polarización de cargas ocurrida al acercar el cuerpo cargado al cuerpo descargado ¿la fuerza de repulsión es de la misma magnitud para ambos elementos?, explique.
8. ¿Cómo explica usted la descarga eléctrica atmosférica durante una tormenta?, explique.
9. En el experimento de Millikan para demostrar que la carga eléctrica esta cuantizada, ¿de que manera se cargan eléctricamente las gotas de aceite?, explique.
10. Explique el funcionamiento de un generador de Van de Graff.

## 2. DENSIDAD DE CARGA Y CAMPO ELÉCTRICO

### I. INTRODUCCIÓN

En esta sesión realizaremos el estudio de la distribución de carga inducida ó transferida por contacto para materiales de geometría conocida; esto, se basa en conclusiones que se llegó en los experimentos para determinación de la cantidad de carga inducida ó transferida por fricción y contacto. Veremos que la densidad y distribución depende de la naturaleza de los materiales y del área de la superficie que entra en contacto y verificaremos de manera experimental la relación entre las cargas y los campos eléctricos, familiarizándonos con sus propiedades fundamentales.

### II. OBJETIVOS

Mediante el desarrollo de esta experiencia es posible lograr lo siguiente:

- Determinar la densidad y distribución de las cargas en un conductor de geometría conocida.
- Obtención de las líneas de campo y equipotenciales para diversas configuraciones puntuales de cargas eléctricas.

### III. FUNDAMENTO TEÓRICO

#### III.1 Densidad y distribución de cargas

Un cuerpo electrizado en las proximidades de otro neutro es atraído y se polarizan las cargas en regiones próximas, lo cual da como resultado la aparición de fuerzas atractivas, si dichos cuerpos entran en contacto se neutralizan las cargas negativas y ambos tendrán cargas del mismo signo por lo que se repelerán enseguida.

Dos esferas conductoras en contacto una cargada y otra descargada inicialmente, tendrán al separarlas la mitad de la carga que tenía la primera inicialmente, pero ¿Cómo sería la *distribución* final de cargas?; es posible responder esta pregunta si se conoce la *densidad de carga* en todo su volumen ó superficie.

##### III.1.1 Densidad de carga superficial

Cuando una carga eléctrica es distribuida en toda una región del espacio (sea el caso de un metal conductor) podemos definir la *densidad de carga eléctrica promedio* como la carga total en la región dividida por el área de la superficie. La densidad de carga se simboliza como  $\rho$  y tiene unidades de Coulomb/m<sup>2</sup>, así cuándo el área **A** contiene la carga total  $q_t$ , entonces la densidad de carga promedio es:

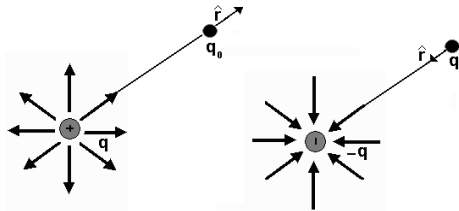
$$\rho_{prom} = \frac{q_i}{A} \quad (1)$$

En la interacción entre cargas, supongamos que lleguen a un arreglo equilibrado en el cual la fuerza neta actuando en cada carga sea cero; por lo tanto es frecuente encontrar *distribuciones de carga* que no son uniformes, es decir que la densidad de cargas depende de la posición, esto ocurre generalmente para cuerpos no homogéneos de geometría irregular.

### III.2 Campo eléctrico

Cuando una carga eléctrica experimenta una fuerza de atracción ó repulsión (en ausencia de campos gravitacionales y magnéticos) en una región del espacio, existe un campo eléctrico en esa región. La magnitud del campo eléctrico dependerá de la magnitud de la carga de prueba. La fuerza eléctrica puede ser generada por cargas aisladas o por una distribución de cargas.

Supongamos que la fuerza se debe a una carga aislada, entonces teóricamente la atracción ó repulsión sobre la carga de prueba es radial y podemos dibujar líneas radiales a la carga que nos representen gráficamente la dirección de repulsión ó atracción, estas líneas radiales se conocen como líneas de campo, las cuales salen en las cargas positivas y entran a las cargas negativas como se muestra en la **Figura (1)**.



**Figura (1)** Dirección del campo para una carga puntual

En un punto cualquiera del espacio en donde está definido un campo eléctrico se coloca una carga de prueba o carga testigo, se observará la aparición de fuerzas eléctricas, es decir, de atracciones o de repulsiones sobre ella, matemáticamente se expresa como:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} \text{ (N / C)} \quad (2)$$

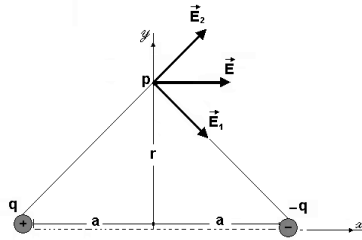
Donde la dirección del campo es la dirección de la fuerza, ver **Figura (1)**, empleando la ley de Coulomb, si tenemos una carga puntual  $q$  y a una distancia  $r$  se encuentra una carga de prueba  $q_0$ , obtenemos que:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \hat{r} \quad (3)$$

De la ecuación (3) se ve que el campo eléctrico depende sólo de la carga que origina el campo.

### III.2.1 Dipolo eléctrico

Se llama dipolo eléctrico un sistema de dos cargas iguales de signo contrario separadas por una distancia pequeña, como se muestra en la **Figura (2)**, se establece la configuración que se conoce como *dipolo eléctrico*.



**Figura (2)** Dipolo eléctrico.

Suponiendo que  $r \gg a$ , el campo eléctrico producido por las dos cargas en un punto **p** es la suma vectorial de los campos producidos por cada una de ellas y por la distribución simétrica de las cargas con respecto al eje *y*, las componentes verticales se anulan y las horizontales deben sumarse, obteniendo la siguiente ecuación matemática.

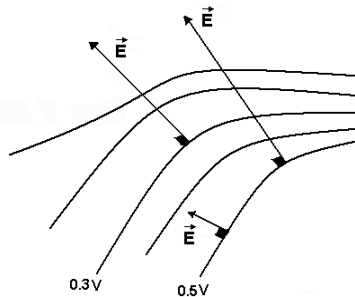
$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2aq}{(a^2 + r^2)^{3/2}} \hat{i}_x \quad (4)$$

Se define como *momento del dipolo eléctrico* al vector  $\vec{p}$  cuyo módulo es  $2aq$ .

### III.2.2 Líneas de campo y equipotenciales

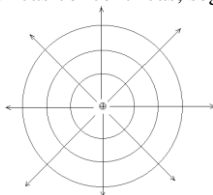
Las *líneas de campo* también se conocen como *líneas de fuerza*, son muy útiles en el aspecto cuantitativo de un problema, especialmente cuando existen complicaciones geométricas y su propiedad fundamental es que el vector intensidad del campo es tangente a las líneas de fuerza.

El vector del campo eléctrico en un punto sobre un diagrama equipotencial es perpendicular al equipotencial a través de dicho punto y tiene una magnitud inversamente proporcional a la distancia entre curvas cerca del punto, como se muestra en la **Figura(3)**



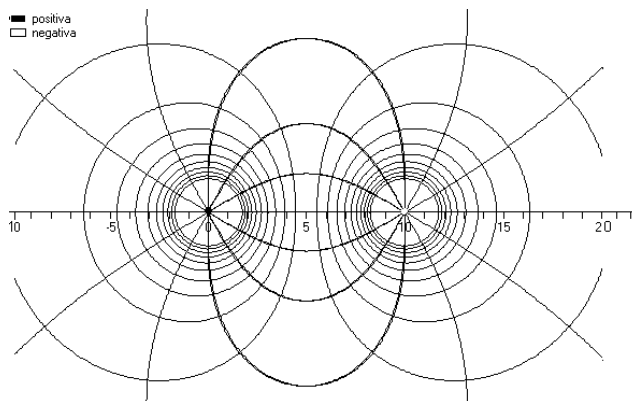
**Figura (3)** Equipotencial y el vector de intensidad de campo eléctrico.

Para una carga puntual las líneas de fuerza son líneas rectas que pasan por la carga, las equipotenciales son superficies esféricas concéntricas, según se muestra en la **Figura (4)**.

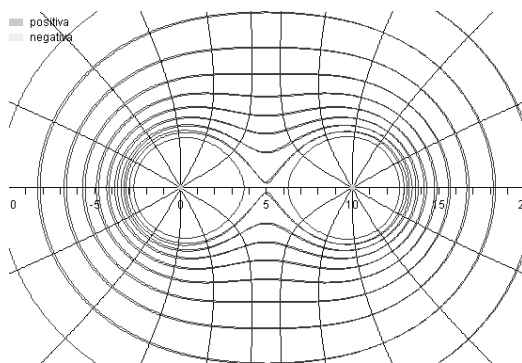


**Figura (4).** Líneas de campo y equipotenciales para una carga puntual.

En las **Figuras (5) y (6)** se pueden ver las líneas de fuerza y las equipotenciales para dos cargas iguales de signos opuestos y dos cargas del mismo valor y positivas.



**Figura (5)** Dipolo de cargas iguales y de signos opuestos



**Figura (6)** Dos cargas puntuales del mismo valor y positivas.

### III.2.3 Cálculo del campo eléctrico a partir de potencial

Si dos puntos están separados una distancia infinitesimal, es posible utilizar la siguiente ecuación:

$$dV = -\vec{E} \cdot d\vec{l} \Rightarrow V_1 - V_2 = \int_1^2 \vec{E} \cdot d\vec{l} \quad (5)$$

El potencial en un punto del campo eléctrico, es el trabajo realizado por unidad de carga, contra la fuerza ejercida por el campo eléctrico sobre la carga de prueba, cuando se trae esta desde el infinito hasta el punto en cuestión.

Si el potencial depende de las tres coordenadas  $x, y, z$  se tiene.

$$\vec{E} = -\left(\frac{\partial V}{\partial x} \hat{i}_x + \frac{\partial V}{\partial y} \hat{i}_y + \frac{\partial V}{\partial z} \hat{i}_z\right) = -\nabla V(x, y, z) \quad (6)$$

El segundo miembro de la ecuación (6) se denomina *gradiente del potencial*.

## IV. MATERIALES Y EQUIPOS

Nº	DESCRIPCION	CODIGO	CANTIDAD
1	Computadora personal		1
2	Interfase Science Workshop 750		1
3	Kit para mapeo de campo eléctrico.*	<b>ES-9060</b>	1
4	Electrómetro	<b>ES-9078</b>	1
5	Probadores planos (Aluminio)	<b>ES-9057B</b>	1
6	Cubeta de Faraday	<b>ES-9042A</b>	1
7	Esferas conductoras	<b>ES-9059B</b>	1
8	Fuente de voltaje electrostática	<b>ES-9077</b>	1
9	Sensor de carga	<b>CI-6555</b>	1
10	Calibrador Vernier		1

\* la cantidad mencionada se refiere al contenido en la caja correspondiente.

## V. PROCEDIMIENTO Y ACTIVIDADES

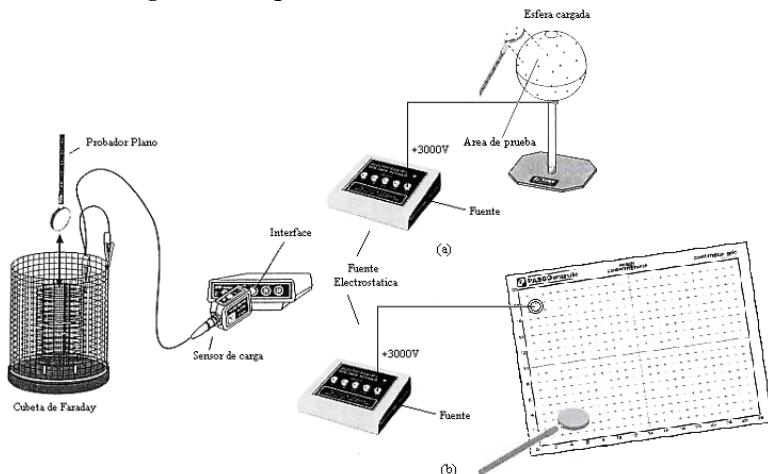
### Procedimiento para configuración de equipos y accesorios

- Verificar la conexión y encendido de la interface.
- Ingresar al programa Data Studio y seleccionar “*crear experimento*”.
- Seleccionar el “*sensor de carga*” de la lista de sensores y efectuar la conexión usando los cables para transmisión de datos de acuerdo a lo indicado por Data Studio.
- Efectúe la calibración para este sensor indicando una frecuencia de muestreo de 50 Hz en rango predeterminado.
- Escoja la posición  $I_x$ , en el switch de ganancia del sensor y en la opción *medida* en la ventana *propiedades del sensor*.
- Genere una gráfica para cada uno de los parámetros registrados por los sensores elegidos (voltaje y carga).
- Conecte la fuente electrostática de voltaje a la red domestica de 220V.



## Primera actividad (Determinación de la densidad de carga)

- Conecte los terminales del sensor de carga a los cilindros interno (con cable rojo) y externo (con cable negro) de la cubeta de Faraday.
- Calibre a cero el *sensor de carga* pulsando el botón “Zero” ubicado en la parte superior del sensor.
- Conecte la terminal de +3000V de la *fente electrostática* a una de la esferas (utilice el cable rojo).
- Ubique en la posición de encendido el interruptor de la *fente electrostática*.
- Ubique la esfera cargada a 50 cm. de la cubeta de Faraday.
- Mida el área del probador de aluminio y el área superficial de la esfera.
- Verifique la disposición de equipos tal como se muestra en la **Figura (7a)**
- Seleccione 10 puntos equidistantes sobre la superficie de la esfera para efectuar mediciones.
- Haga contacto con la esfera cargada usando el probador de aluminio durante aproximadamente 30 segundos (toque la superficie de manera tangente en la posición de medición 1).
- Inicie la recolección de datos pulsando el botón “inicio”, en la barra de herramientas de Data Studio.
- Introduzca el probador sin hacer contacto dentro de la cubeta de Faraday y registre la magnitud y signo de la carga transferida al probador.
- Registre sus datos en la **Tabla (1)**.
- Repita la operación (pasos desde (i) hasta (l)) para los nueve puntos de medición restantes.
- Realice el cálculo de carga total para la esfera cargada y determine el tipo de distribución.
- Repita los pasos desde (a) hasta (n) para una superficie conductora plana, tal como se muestra en la **Figura (7b)**. registre sus datos en la **Tabla (2)**.



**Figura (7)** Disposición de equipos y accesorios primera actividad.

**Tabla (1)** Datos de magnitud y densidad de carga en conductor esférico.

Punto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Carga ( $\mu\text{C}$ )										
$\rho_{\text{carga}}$ ( $\text{C}/\text{m}^2$ )										
Densidad promedio de carga ( $\text{C}/\text{m}^2$ )					Área superficial de la esfera ( $\text{m}^2$ )					
Carga total ( $\mu\text{C}$ )					Tipo de distribución (uniforme/no uniforme)					

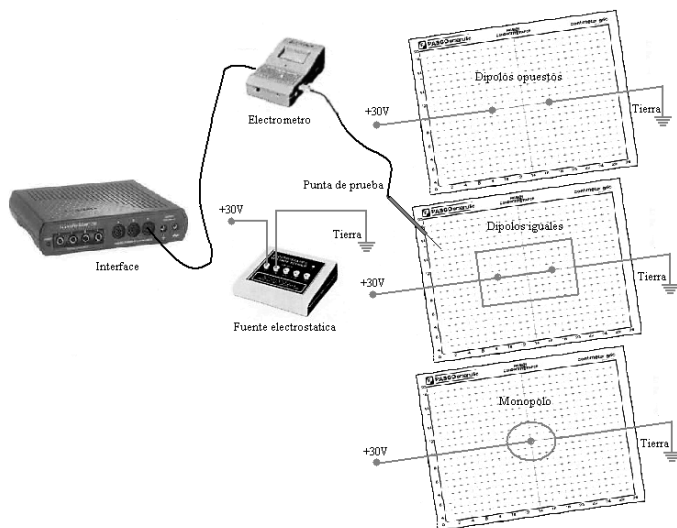
**Tabla (2)** Datos de magnitud y densidad de carga en conductor plano.

Punto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Carga ( $\mu\text{C}$ )										
$\rho_{\text{carga}}$ ( $\text{C}/\text{m}^2$ )										
Densidad promedio de carga ( $\text{C}/\text{m}^2$ )					Área superficial del plano ( $\text{m}^2$ )					
Carga total ( $\mu\text{C}$ )					Tipo de distribución (uniforme/no uniforme)					

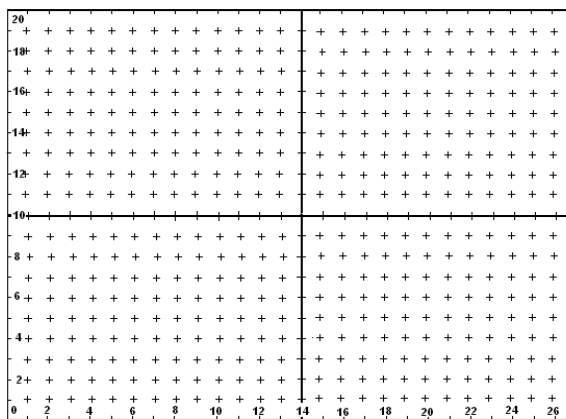
**Segunda Actividad (Mapeo de Campo Eléctrico)**

- Encienda y conecte el *electrómetro* a la interface 750, generando adicionalmente un medidor digital para lectura de voltaje.
- Calibre a cero el electrómetro pulsando el botón “Zero” ubicado en la parte lateral del sensor.
- Conecte la terminal de +30V de la fuente electrostática a uno de las circunferencias dibujadas sobre el papel conductor, la terminal negativa (tierra) debe hacer contacto con la otra circunferencia, esta configuración corresponde a “dipolos opuestos” Conecte la fuente electrostática a la red domestica 220V y ubique en la posición de encendido el interruptor.
- La salida a tierra del electrómetro debe conectarse a tierra de la fuente electrostática.
- Conecte el probador de color rojo al electrómetro en la terminal correspondiente.
- Verifique la disposición de equipos tal como se muestra en la **Figura (8)**.
- Pulse el botón inicio en la barra principal de Data Studio.
- Inicie el mapeo de las líneas equipotenciales anotando las coordenadas sobre el plano que muestren el mismo voltaje en la lectura del medidor digital, tanto en las cercanías del electrodo positivo como en las proximidades del electrodo negativo, tome como referencia de búsqueda la **Figura (5)**.

- i. Tomando como base las líneas equipotenciales determine las líneas de fuerza teniendo como referencia de búsqueda la **Figura (5)**.
- j. Grafique los puntos recogidos empleando el papel cuadrulado proporcionado.
- k. Repita los pasos desde (c) hasta (j) para el caso de dipolos de cargas de igual signo (referencia **Figura (6)**), placas planas, placas planas con conductor y fuente puntual, para este ultimo caso tome como referencia la **Figura (4)**.



**Figura (8)** Disposición de equipos y accesorios segunda actividad.



**Figura (9)**. Papel para mapeo de campo eléctrico.

## VI. CUESTIONARIO

1. En el experimento para medición de la densidad de carga en una esfera, ¿Cómo se verificaría la conservación de la carga?, explique.
2. ¿De que manera se obtendría una distribución no uniforme de carga, para el caso de un conductor esférico?
3. Explique de que manera se podría calcular la carga total en una esfera dieléctrica de radio  $R$  si se sabe que su densidad de carga volumétrica es constante.
4. En la segunda parte de la primera experiencia, ¿De que manera sería diferente la densidad de carga si el papel conductor tuviese área infinita?
5. ¿Es posible determinar la relación entre las distancias del probador plano al punto de carga y la densidad de carga?, explique.
6. ¿Cual sería el efecto de remover una sección de papel conductor entre los electrodos para el caso de un dipolo de cargas opuestas?
7. ¿Cuál es la relación entre la dirección de máximo valor de gradiente de campo y una línea equipotencial en el mismo punto?
8. En el experimento del dipolo de cargas de igual signo, ¿Cuál es la distorsión ocasionada por el electrodo alrededor del perímetro del papel?
9. Usando el fundamento teórico visto para el caso del dipolo eléctrico, ¿podría usted calcular el momento dipolar  $P$ , en las coordenadas  $(14,0)$ , del papel gráfico proporcionado?
10. Explique el procedimiento a seguir para calcular la diferencia de potencial entre dos puntos al interior de un capacitor de placas planas.

### 3. CONDENSADORES Y DIELECTRICOS

#### I. INTRODUCCIÓN

Los condensadores encuentran múltiples aplicaciones en los circuitos eléctricos. Se les utiliza para eliminar la chispa que se produce al interrumpir súbitamente un circuito que posee autoinducción. El sistema de encendido de los motores de automóvil tiene para este fin un condensador. Los condensadores se usan en los circuitos de radio para sintonizar y allanar la corriente rectificadora proporcionada por el generador de energía. En esta sesión realizaremos el estudio de la capacitancia, siendo uno de los tópicos más importantes el estudio de los condensadores como elemento de un circuito, y veremos de qué manera varía esta al introducir un elemento dieléctrico. Se demostrará que es posible el almacenamiento de carga en un condensador y efectuaremos la determinación experimental de la constante dieléctrica y la capacidad específica de inducción.

#### II. OBJETIVOS

Mediante el desarrollo de esta experiencia es posible lograr lo siguiente:

- Demostrar experimentalmente la relación entre la diferencia de potencial y la carga almacenada en un condensador.
- Verificar la relación entre la capacitancia y los factores geométricos del condensador.
- Determinar la capacidad específica de inducción y la constante dieléctrica para la mica.

#### III. FUNDAMENTO TEÓRICO

A partir del teorema de Gauss sabemos que el vector intensidad de campo eléctrico  $\vec{E}$  (habitualmente llamado campo eléctrico) creado en el vacío por un plano infinito en un punto  $P$  no depende de la distancia de dicho punto al plano. Sólo depende de la densidad de carga superficial  $\sigma$  (carga por unidad de superficie) con la que esté cargado el plano infinito. El módulo del vector intensidad de campo eléctrico viene dado por:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \quad (1)$$

y su dirección es perpendicular al plano. En la ecuación anterior,  $\epsilon_0$  es la permitividad dieléctrica del vacío y es una constante universal. Si el plano está inmerso en un medio dieléctrico diferente al vacío, entonces es la permitividad dieléctrica del medio  $\epsilon$ .

En general, la permitividad dieléctrica nos mide con qué eficacia un material dieléctrico es capaz de apantallar el vector intensidad de campo eléctrico que crea una distribución de carga,

Un condensador de placas plano-paralelas está constituido por dos placas conductoras finitas, cargadas con la misma densidad de carga pero de signo contrario, y separadas una distancia  $d$  lo suficientemente pequeña comparada con las dimensiones de las placas, de forma que podamos suponer que el campo eléctrico creado por cada una de las placas es aproximadamente el campo que produce un plano infinito.

Ya que el campo eléctrico es constante, la diferencia de potencial  $\Delta V$  entre las placas del condensador se calcula inmediatamente de la definición :

$$V_1 - V_2 = \int_1^2 \vec{E} \cdot d\vec{l} \quad (2)$$

De las ecuaciones (1) y (2) y haciendo uso de la definición de capacidad se obtiene la capacidad del condensador de placas paralelas.

$$C_{sin} = \frac{A\epsilon_0}{d} \quad (3)$$

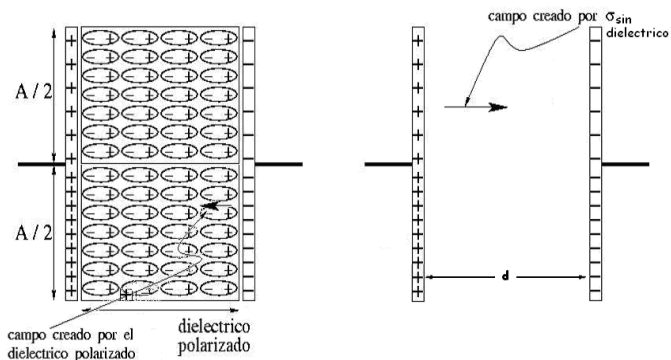
Si el espacio entre las placas del condensador estuviera ocupado completamente con un dieléctrico de permitividad  $\epsilon$ , entonces la capacidad es:

$$C_{con} = \frac{A\epsilon}{d} \quad (4)$$

Observa que la relación entre las capacidades del mismo condensador cuando no hay dieléctrico y cuando sí lo hay viene dada por:

$$\frac{C_{con}}{C_{sin}} = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} = \kappa \quad (5)$$

donde:  $\frac{\epsilon}{\epsilon_0} = \kappa$  se denomina constante dieléctrica y es siempre mayor que 1.



**Figura (1)** Condensador plano con dieléctrico y sin dieléctrico.

En la **Tabla (1)**, se da el valor de  $\kappa$  para algunos materiales que comúnmente se usan como dieléctricos.

**Tabla (1)** Constantes dieléctricas

<b>Material</b>	<b>Valor de <math>\kappa</math></b>
Vacío	1.0000
Aire	1.0006
Parafina	2.1000
Petróleo	2.2000
Poliestireno	2.6000
Papel	3.5000
Vidrio Pirex	4.5000
Mica	6.0000
Porcelana	6.5000

#### IV. MATERIALES Y EQUIPOS

<b>Nº</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>CODIGO</b>	<b>CANTIDAD</b>
1	Computadora personal		1
2	Interfase Science Workshop 750		1
3	Capacitor Variable Básico	<b>ES-9079</b>	1
4	Electrómetro	<b>ES-9078</b>	1
5	Probadores planos (Aluminio)	<b>ES-9057B</b>	1
6	Cubeta de Faraday	<b>ES-9042A</b>	1
7	Esferas conductoras	<b>ES-9059B</b>	1
8	Fuente de voltaje electrostática	<b>ES-9077</b>	1
9	Sensor de carga	<b>CI-6555</b>	1
10	Calibrador Vernier		1
11	Tapa circular de mica 20cm de diámetro		1

#### V. PROCEDIMIENTO Y ACTIVIDADES

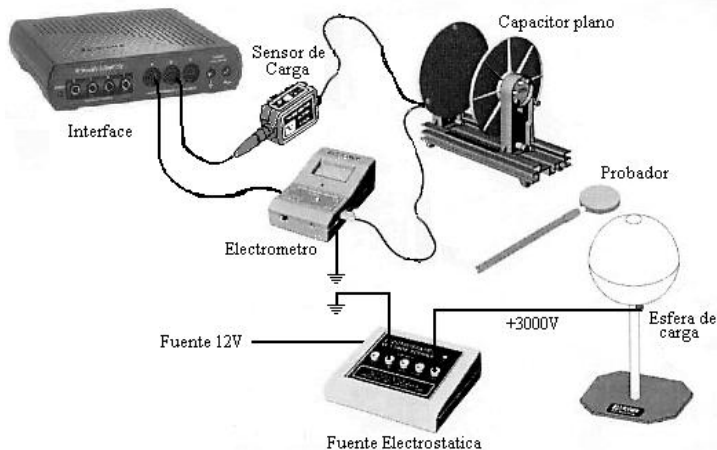
##### Procedimiento para Configuración de Equipos y Accesorios

- Verificar la conexión y encendido de la interfase.
- Ingresar al programa Data Studio y seleccionar “*crear experimento*”.
- Seleccionar el “*electrómetro básico*” de la lista de sensores y efectuar la conexión usando los cables para transmisión de datos de acuerdo a lo indicado por Data Studio.
- Efectúe la calibración para este sensor indicando una frecuencia de muestreo de 50 Hz en rango predeterminado.
- Seleccionar el “*sensor de carga*” de la lista de sensores y efectuar la conexión usando los cables para transmisión de datos de acuerdo a lo indicado por Data Studio.
- Efectúe la calibración para este sensor indicando una frecuencia de muestreo de 50 Hz en rango predeterminado.
- Escoja la posición 1x, en el switch de ganancia del sensor y en la opción *medida* en la ventana *propiedades del sensor*.

- h. Genere una gráfica para cada uno de los parámetros registrados por los sensores elegidos (voltaje y carga).
- i. Conecte la *fente electrostática* de voltaje a la red domestica de 220V.

### Primera Actividad (Determinación de la capacitancia)

- a. Mida con ayuda del *vernier* el diámetro de las placas y calcule el área superficial.
- b. Conecte los terminales del *electrómetro* a las placas del condensador plano, las cuales deben tener una separación de 2 mm;.
- c. Calcule la capacitancia teórica del condensador usando la ecuación (3).
- d. Calibre a cero el *electrómetro* pulsando el botón “Zero” ubicado en la parte superior del sensor, a fin de eliminar carga residual.
- e. Conecte el *sensor de carga* a las terminales de las placas del capacitor.
- f. Conecte la terminal de +3000V de la *fente electrostática* a una de la esferas (utilice el cable rojo).
- g. Ubique en la posición de encendido el interruptor de la *fente electrostática*.
- h. Ubique la esfera cargada por lo menos a 50 cm. del condensador plano.
- i. Verifique la disposición de equipos tal como se muestra en la **Figura (2)**.
- j. Inicie la recolección de datos pulsando el botón “Inicio”, en la barra de herramientas de Data Studio.
- k. Haga contacto con la esfera cargada usando el probador de aluminio durante aproximadamente 10 segundos (toque la superficie de manera tangente).
- l. Toque con el probador la placa positiva del capacitor y registre en la **Tabla (2)**, la magnitud del voltaje y la carga medidos en las gráficas.
- m. Repita la operación (pasos desde (j) hasta (l)) cinco veces.
- n. Usando Data Studio realice la gráfica  $q$  vs.  $V$ .
- o. Determine la pendiente y compare el valor de la capacitancia con el obtenido teóricamente; luego, calcule el error absoluto y porcentual.



**Figura (2)** Disposición de equipos y accesorios primera actividad.



**Tabla (2)** Datos de carga y voltaje capacitor sin dieléctrico.

Medición	1	2	3	4	5
Carga(C)					
Voltaje (V)					
Capacitancia Teórica (F)		Capacitancia Experim. (F)		Error Porcentual	

### Segunda Actividad (Determinación del coeficiente dieléctrico)

- Introduzca entre las placas del capacitor la tapa de mica.
- Conecte el *sensor de carga* y el *electrómetro* a las terminales de las placas del capacitor.
- Calibre a cero el *sensor de carga* pulsando el botón “Zero” ubicado en la parte superior del sensor, a fin de eliminar carga residual en las placas, repita el mismo procedimiento para el *electrómetro*.
- Ubique en la posición de encendido el interruptor de la *fuerza electrostática*.
- Verifique la disposición de equipos tal como se muestra en la **Figura (2)**.
- Inicie la recolección de datos pulsando el botón “Inicio”, en la barra de herramientas de Data Studio.
- Repita los pasos desde (k) hasta (n) de la primera actividad.
- Registre sus datos en la **Tabla (3)**.
- Determine la pendiente y calcule el coeficiente dieléctrico usando la ecuación (5) y los resultados vistos en la **Tabla (2)**; luego, compare este resultado con el valor conocido dado en la **Tabla (1)** y calcule el error porcentual.

**Tabla (3)** Datos de carga y voltaje capacitor con dieléctrico.

Medición	1	2	3	4	5
Carga(C)					
Voltaje (V)					
Coefficiente Dieléctrico Teórico (F)		Coefficiente Dieléctrico experiment. ( $\kappa$ )		Error Porcentual	

## VI. CUESTIONARIO

- Para el caso del capacitor analizado, calcule el límite máximo de voltaje que puede aplicársele antes de que ocurra un cortocircuito.
- ¿A que se debe la aparición de un campo eléctrico uniforme entre las placas de un condensador plano?, explique.

3. Realice un listado de las aplicaciones de los capacitores en electrónica.
4. ¿Es conservativo el campo eléctrico entre las placas de un condensador?, ¿Por qué?, explique.
5. Calcule el área de las placas en un condensador plano para que la capacitancia sea 1 Faradio.
6. Considerando una separación entre placas de 5mm para el condensador analizado, ¿Cuál será la variación en la capacitancia si se coloca porcelana entre las placas?, explique.
7. ¿En que medida afecta el empleo de  $\epsilon_0$  en lugar de  $\epsilon$  para el experimento realizado?, explique.
8. El incremento de la capacitancia, ¿es directa ó indirectamente proporcional al área de las placas?, explique.
9. ¿Qué entiende por efectos de borde?
10. Realice un gráfico de las líneas de fuerza en un capacitor de placas planas y un capacitor cilíndrico.

## 4. LEY DE OHM

### I. INTRODUCCIÓN

En los problemas puramente electrostáticos, como los considerados en las sesiones anteriores, nos hemos ocupado principalmente de las fuerzas ejercidas entre las cargas, del estado final estacionario de distribución de carga producidas por estas fuerzas. En esta sesión trataremos del movimiento de cargas en un conductor cuando se mantiene un campo eléctrico dentro del mismo y definiremos una propiedad del conductor, llamada *resistividad*.

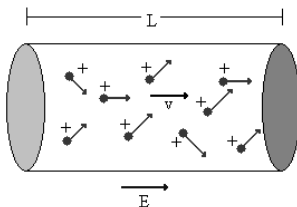
### II. OBJETIVOS

Mediante el desarrollo de esta experiencia es posible lograr lo siguiente:

- Verificar experimentalmente que la resistencia de un conductor es directamente proporcional a la diferencia de potencial aplicada e inversamente proporcional a la intensidad de corriente que circula por esta (Ley de Ohm).

### III. FUNDAMENTO TEÓRICO

Cuando los extremos de un hilo metálico se conectan a dos puntos mantenidos a potenciales fijos pero distintos, como los bornes de una pila se establece una corriente en el hilo, pero el potencial de cada punto del mismo permanece constante con el tiempo. Ahora por conveniencia la dirección de la corriente va ser la dirección de la carga positiva las cuales se mueven en la dirección del campo con una velocidad que se conoce como *velocidad de arrastre*; la **Figura (1)** muestra el desplazamiento de carga positiva en un conductor de longitud  $L$ .



**Figura (1)** Desplazamiento de cargas positivas en la dirección del campo eléctrico.

#### III.1 Resistencia y resistividad

Si se aplica una diferencia de potencial  $V$  entre los extremos de un trozo de conductor, se produce una corriente eléctrica de intensidad  $I$  a lo largo del mismo. Para muchos materiales conductores, se observa experimentalmente que la intensidad  $I$  de corriente que circula a través del conductor es directamente proporcional a la diferencia de potencial  $V$  que existe entre los extremos del conductor. Esto es,

$$I = cteV \Rightarrow I = \left(\frac{1}{R}\right)V \quad (1)$$

Este hecho experimental se conoce como la Ley de Ohm, y a la constante de proporcionalidad se escribe en la forma  $\left(\frac{1}{R}\right)$ , siendo  $R$  una constante llamada resistencia.

Los materiales que cumplen esta ley, entre los que se incluyen la mayor parte de los metales se denominan conductores óhmicos o lineales, que para estos materiales los resultados experimentales muestran que el vector densidad de corriente  $\vec{j}$  es directamente proporcional al campo  $\vec{E}$  dentro del conductor.

$$\vec{j} = \sigma \vec{E} \quad (2)$$

donde  $\sigma$ , para un conductor isótropo, es una constante denominada “conductividad eléctrica” y al inverso de conductividad se denomina resistividad  $\rho$ .

Además se sabe:  $j = \frac{I}{A}$ , donde  $A$  es el área de la sección transversal del conductor y teniendo en cuenta las definiciones anteriores se obtiene la siguiente ecuación.

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (3)$$

#### IV. MATERIALES Y EQUIPOS

Nº	DESCRIPCION	CODIGO	CANTIDAD
1	Computadora personal		1
2	Interfase Science Workshop 750		1
3	Amplificador de potencia	<b>CI-6552A</b>	1
4	Laboratorio electrónico-AC/DC	<b>EM-8656</b>	1
5	Resistencia de 10Ω		1
6	Cables de conexión		2
7	Multímetro		1

#### V. PROCEDIMIENTO Y ACTIVIDADES

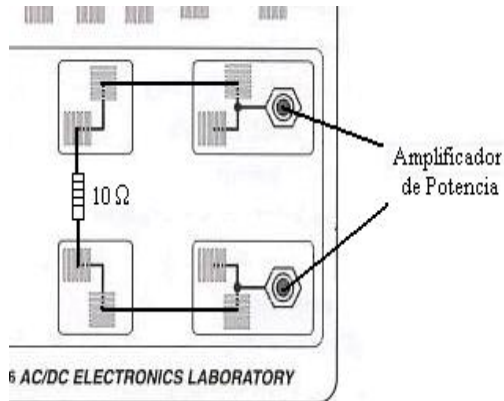
##### Procedimiento para Configuración de Equipos y Accesorios

- Verificar la conexión y encendido de la interfase.
- Ingresa al programa Data Studio y seleccionar “*crear experimento*”.
- Seleccionar el “*amplificador de potencia*” de la lista de sensores y efectuar la conexión a la interfase usando los cables para transmisión de datos de acuerdo a lo indicado por Data Studio.

- d. Efectúe la calibración para este sensor indicando salida de voltaje continuo con una variación de 0.1V y una frecuencia de muestreo de 50Hz en voltaje y corriente.
- e. Genere una gráfica para cada uno de los parámetros registrados por el amplificador (voltaje y corriente).

**Primera Actividad (Medición de voltaje y corriente con resistencia constante)**

- a. Conecte los terminales del amplificador en las entradas del laboratorio AC/DC.
- b. Cierre el circuito con una resistencia de  $10\Omega$ , realizando el montaje según la **Figura (2)**.  
Con el amplificador de potencia encendido, pulse el botón “inicio” para iniciar la toma de datos, realice la medición durante cinco segundos y luego varí el voltaje en *generador de señales* aumentando 0.1V por vez; repita, este proceso hasta alcanzar 1.0V. y detener la toma de datos.
- c. *señales* aumentando 0.1V por vez; repita, este proceso hasta alcanzar 1.0V. y detener la toma de datos.
- d. Registre sus datos en la **Tabla (1)**.
- e. Genere una gráfica voltaje vs. corriente y calcule el valor de la pendiente.
- f. Con el valor generado en el paso anterior y el valor conocido, calcule el error absoluto y porcentual para la resistencia empleada.



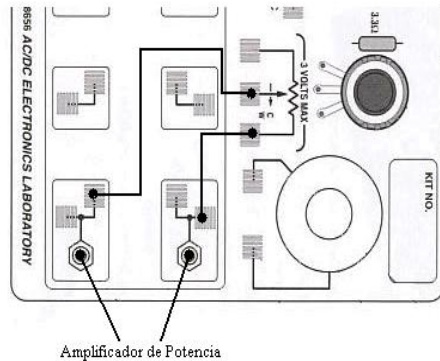
**Figura (2)** Disposición de equipos y accesorios primera actividad.

**Tabla (1)**, Datos de corriente y voltaje.

Voltaje (Voltios)	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
Corriente (Amperios)										
Resistencia experimental ( $\Omega$ )					Resistencia conocida ( $\Omega$ )					
Error Absoluto					Error porcentual					

## Segunda Actividad (Variación de corriente y resistencia a voltaje constante)

- Conecte los terminales del amplificador en las entradas del laboratorio electrónico AC/DC.
- Cierre el circuito con el potenciómetro de  $3.3\Omega$ , empleando para ello los cables de conexión proporcionados.
- Realice el montaje tal como se muestra en la **Figura (3)**.
- Ubique la perilla del potenciómetro en la posición mínima (verifíquelo con un multítester).
- El selector de voltaje del amplificador debe colocarse a 2.0 voltios de corriente continua.
- Empleando la calculadora genere la gráfica resistencia vs. tiempo, para ello use la ecuación (1).
- Con el amplificador de potencia encendido, pulse el botón “inicio” para iniciar la toma de datos, realice la medición durante cinco segundos y luego varíe el valor de la resistencia girando la perilla del potenciómetro aproximadamente 10 grados por vez, repita el proceso diez veces y detener la toma de datos.
- Anote sus datos en la **Tabla (2)**.
- Finalizada la toma de registros, genere la gráfica  $1/I$  vs. resistencia.
- Determine la pendiente y verifique el valor del voltaje con el conocido, luego calcule el error absoluto y porcentual.



**Figura (3)** Disposición de equipos y accesorios segunda actividad.

**Tabla (2)** Corriente y resistencia.

$1/I$ (Amperios <sup>-1</sup> )									
Resistencia (Ohmios)									
Voltaje verificado experimentalmente (Voltios)					Voltaje conocido (Voltios)				
Error Absoluto					Error porcentual				

## VI. CUESTIONARIO

1. ¿De que forma se manifiesta la perdida energética de los electrones durante el proceso de conducción eléctrica?, explique.
2. ¿Cual es la naturaleza microscópica del grupo intermedio de materiales conocidos como semiconductores?, de dos ejemplos.
3. ¿Cuál es la razón para que la resistividad de un conductor varíe con la temperatura?, explique.
4. La resistividad de los metales, ¿Aumenta con la disminución de la temperatura?, ¿Por qué?
5. ¿En que consiste el fenómeno de superconductividad?, ¿Quién lo explico por primera vez?
6. ¿Cuál es principio de funcionamiento de los llamados termómetros de resistencia?, explique.
7. En un material las imperfecciones en la red cristalina por la introducción de átomos extraños (impurezas), ¿Puede modificar la conductividad?, explique.
8. ¿A que se debe que los buenos conductores eléctricos como los metales sean también buenos conductores del calor?, explique.
9. ¿Cómo se denomina a los materiales que no cumplen la Ley de Ohm?, ¿A que se debe esto?, de dos ejemplos.
10. ¿Es la resistencia de un conductor independiente de los potenciales aplicados?, ¿De que parámetros depende?

## 5. CIRCUITOS DE CORRIENTE CONTINUA

### I. INTRODUCCIÓN

Las resistencias eléctricas pueden ser usadas para diversos fines, tales como, divisores de potencial, calentadores eléctricos, conductores de electricidad ó asociadas convenientemente en la constitución interna de instrumentos de medida de voltajes y corrientes. Las redes de resistencias y generadores de f.e.m. en las que no hay agrupaciones sencillas, presentan problemas complejos que se resuelven por medio de las reglas de Kirchhoff.

### II. OBJETIVOS

Mediante el desarrollo de esta experiencia es posible lograr lo siguiente:

- Determinar experimentalmente las resistencias equivalentes en circuitos en serie y en paralelo.
- Analizar el comportamiento de voltaje y corriente en redes de resistencias que contienen f.e.m.
- Realizar la verificación experimental de las leyes de Kirchhoff aplicados a circuitos simples de agrupamiento de resistencias.

### III. FUNDAMENTO TEÓRICO

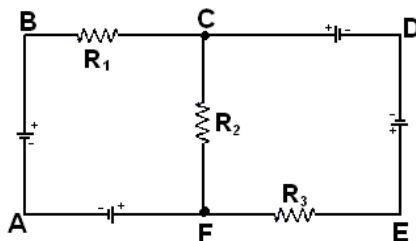
Para iniciar el estudio de las reglas de Kirchhoff es necesario definir algunos conceptos importantes tales como:

**Nudo:** Punto de la red donde se unen tres ó mas conductores.

**Malla:** Sucesión de ramas que forman un conductor cerrado.

**Rama:** Es el conjunto de aparatos situados entre dos nudos consecutivos.

En la **Figura (1)**, se identifica a los puntos *C* y *F* como nudos; luego, el número de mallas es tres y se pueden representar en este caso particular por las letras *ABCFA*, *FCDEF* y *ABDFA*.



**Figura (1)** Circuito de corriente continua.



### III.1 Reglas de Kirchhoff

Las redes en las cuales las resistencias no forman agrupaciones sencillas en serie ó en paralelo, ó en las que existen generadores de f.e.m. en paralelo, no pueden resolverse, en general, por el método de la resistencia equivalente. Gustav Robert Kirchhoff (1824-1887) enunció por primera vez dos reglas que permiten resolver tales problemas sistemáticamente.

#### III.1.1 Regla de los nudos

La suma de las intensidades de las corrientes que llegan a un nudo es igual a la suma de las corrientes que salen de él, es decir:

$$\sum i_k = 0 \quad (1)$$

#### III.1.2 Regla de las mallas

La suma algebraica de las elevaciones y las caídas de potencial en cualquier recorrido cerrado (malla) en un circuito es cero, teniendo en cuenta esto se puede escribir:

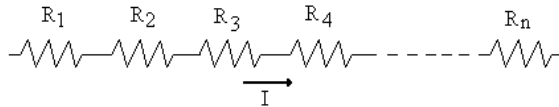
$$\sum \varepsilon - \sum IR = 0 \quad (2)$$

### III.2 Agrupamiento de resistencias

La mayor parte de los circuitos eléctricos no contienen un solo generador y una sola resistencia exterior, sino que comprenden cierto número de f.e.m., resistencias y otros elementos tales como condensadores, motores, etcétera, conectados entre sí de un modo más ó menos complicado. El término general aplicado a tales circuitos es el de red. A continuación consideraremos algunos de los tipos más sencillos.

#### III.2.1 Resistencias en serie

Cuando varios conductores de resistencias  $R_1, R_2, \dots, R_n$ , están conectados en serie tal como se ve en la figura (2), ellos están recorridos por la misma corriente  $I$ .



**Figura (2).** Agrupamiento de resistencias en serie.

Pero la diferencia de potencial  $V$  en los bornes del conjunto es la suma de la diferencia de potencial entre las extremidades de cada conductor, ó sea:

$$V = R_1 I + R_2 I + R_3 I + \dots + R_n I = (R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n) I \quad (3)$$

Donde:

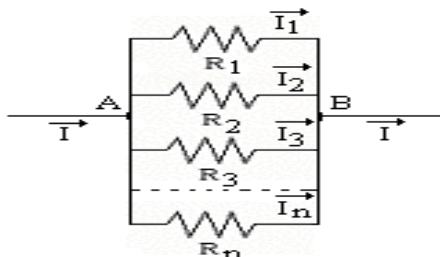
$$R = \sum_{i=1}^n R_i \quad (4)$$

Por tanto una *resistencia equivalente* será la suma algebraica de las magnitudes de las resistencias conectadas en serie.

### III.2.2 Resistencias en paralelo

Para el caso donde  $n$  resistencias  $R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$  se encuentran conectadas en paralelo entre dos puntos A y B tal como se muestra en la figura (3). De acuerdo al carácter conservativo de la corriente, la intensidad  $I$  que llega al punto A por el hilo principal es igual a la suma de las intensidades  $I_1, I_2, I_3, \dots, I_n$  que parten de A en las diferentes derivaciones, es decir:

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n \quad (5)$$



**Figura (3)** Agrupamiento de resistencias en paralelo.

Como las resistencias se encuentran sometidas a la misma diferencia de potencial  $V = V_A - V_B$ , entonces:

$$I_1 = V/R_1, I_2 = V/R_2, I_3 = V/R_3, \dots, I_n = V/R_n \quad (6)$$

Luego usando la ecuación (5), se tiene:

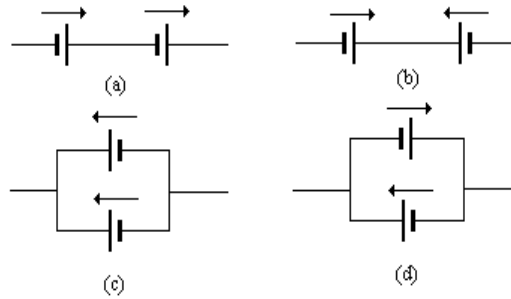
$$I = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V}{R_3} + \dots + \frac{V}{R_n} \Rightarrow \frac{I}{V} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n} = \frac{1}{R} \quad (7)$$

Esto demuestra que el conjunto de conductores es equivalente a una resistencia única  $R$ , tal que:

$$\frac{1}{R} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i} \quad (8)$$

### III.3 Redes de resistencias que contienen f.e.m.

La disposición de dos ó más generadores de f.e.m. no queda definida únicamente diciendo que están conectados en serie ó en paralelo; por ejemplo: dos pilas en serie pueden conectarse como se muestra en la **Figura (4a)** ó bien como en **(4b)**. La conexión según **(4a)** es la asociación en serie propiamente dicha; la conexión según **(4b)** es en oposición. Una agrupación como la de la **Figura (4c)** se denomina en paralelo, con los polos iguales unidos, y la de **(4d)**, en paralelo, con los polos distintos unidos.



**Figura (4)** Agrupamiento de f.e.m.

Aunque las pilas de los esquemas (c) y (d) se hallan en paralelo en cuanto concierne al resto del circuito, cada una de estas agrupaciones en si misma forma un circuito cerrado, con las pilas en oposición en el primer caso, y en serie propiamente dicha en el segundo. Por lo tanto, las expresiones en serie y en paralelo no se excluyen mutuamente. En cada caso la f.e.m. equivalente es la suma algebraica de cada una de las f.e.m., y la resistencia interna equivalente es la suma aritmética de las resistencias internas; luego la intensidad de corriente se calcula de:

$$i = \frac{\sum \varepsilon}{R + \sum r} \quad (9)$$

Cuando varios generadores cuyas f.e.m. son iguales se conectan en paralelo, con los polos iguales unidos, en la forma que muestra la **Figura (4c)** la f.e.m. equivalente es igual a la de un solo generador y la resistencia interna equivalente se calcula por el método usual para las resistencias en paralelo. Cuando los generadores tienen f.e.m. distintas ó están conectados como en la **Figura (4d)**, el problema se complica y su resolución requiere métodos más generales.

#### IV. MATERIALES Y EQUIPOS

Nº	DESCRIPCION	CODIGO	CANTIDAD
1	Computadora personal		1
2	Interfase Science Workshop 750		1
3	Amplificador de potencia	<b>CI-6552A</b>	1
4	Laboratorio electrónico AC/DC	<b>EM-8656</b>	1
5	Sensor de voltaje	<b>CI-6503</b>	1
6	Fuente de voltaje	<b>SE-9720</b>	1
7	Resistencias (10Ω/ 560Ω/ 100Ω/ 330Ω)		2, 1, 1, 1
8	Cables de conexión		4

## V. PROCEDIMIENTO Y ACTIVIDADES

### Procedimiento para Configuración de Equipos y Accesorios

- Verificar la conexión y encendido de la interfase.
- Ingresar al programa Data Studio y seleccionar “*crear experimento*”.
- Seleccionar el “*amplificador de potencia*” de la lista de sensores y efectuar la conexión a la interfase usando cables para transmisión de datos según indicado por Data Studio.
- Efectúe la calibración para este sensor indicando salida de voltaje continuo con una variación de 0.1V y una frecuencia de muestreo de 50Hz en voltaje y corriente.
- Genere una gráfica para cada uno de los parámetros registrados por el amplificador (voltaje y corriente).

### Primera Actividad (agrupamiento de resistencias)

- Conecte los terminales del amplificador en las entradas del laboratorio AC/DC.
- Cierre el circuito con dos resistencias de  $10\Omega$  conectadas en serie, tal como se muestra en la **Figura (5a)**, empleando para ello los cables de conexión proporcionados.
- Con el amplificador de potencia encendido, pulse el botón “*Inicio*” para iniciar la toma de datos, realice la medición durante cinco segundos y luego varíe el voltaje aumentando 0.1V por vez; repita, este proceso hasta alcanzar 1.0 Voltios y detener la toma de datos.
- Registre sus datos en la **Tabla (1)**.
- Genere una gráfica voltaje vs. corriente y determine el valor de la pendiente.
- Calcule el valor de la resistencia equivalente.
- Realice las operaciones correspondientes y obtenga el error absoluto y porcentual respecto al valor teórico obtenido con la ecuación (4).

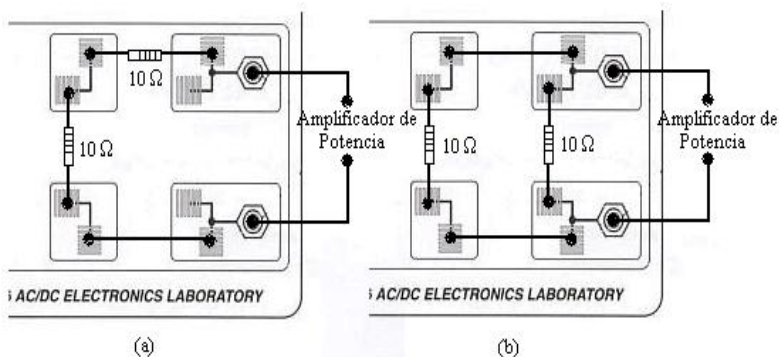


Figura (5) Disposición de equipos y accesorios primera actividad.

**Tabla (1)** Datos de corriente y voltaje agrupamiento de resistencias en serie.

Voltaje (V)	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
Corriente(A)										
Resistencia equivalente teórica ( $\Omega$ )					Resistencia equivalente experimental ( $\Omega$ )					
Error Absoluto					Error porcentual					

- h. Cierre el circuito con dos resistencias de  $10\Omega$  conectadas en paralelo, tal como se muestra en la **Figura (5b)**, empleando para ello los cables de conexión proporcionados.
- i. Con el amplificador de potencia encendido, pulse el botón “Inicio” para iniciar la toma de datos, realice la medición durante cinco segundos y luego varíe el voltaje aumentando  $0.1V$  por vez; repita, este proceso hasta alcanzar  $1.0$  Voltios.
- j. Registre sus datos en la **Tabla (2)**.
- k. Genere una gráfica voltaje vs. corriente y determine el valor de la pendiente.
- l. Calcule el valor de la resistencia equivalente.
- m. Realice las operaciones correspondientes y obtenga el error absoluto y porcentual respecto al valor teórico obtenido con la ecuación (8).

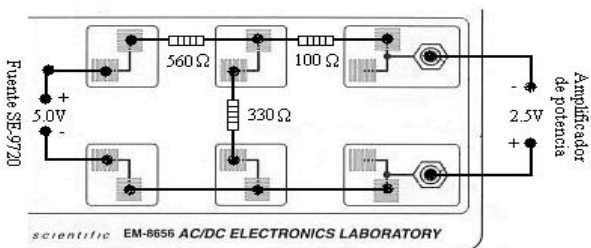
**Tabla (2)** Datos de corriente y voltaje agrupamiento de resistencias en paralelo.

Voltaje (V)	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
Corriente(A)										
Resistencia equivalente teórica ( $\Omega$ )					Resistencia equivalente experimental ( $\Omega$ )					
Error Absoluto					Error porcentual					

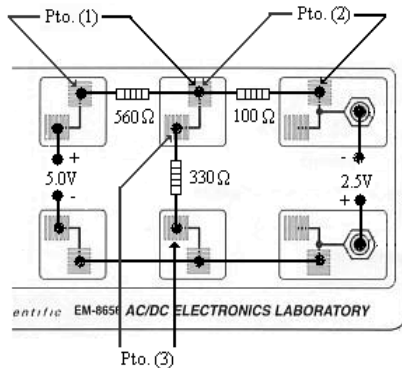
**Segunda Actividad (Agrupamiento de resistencias y f.e.m.)**

- a. Realice el montaje de resistencias y generadores de f.e.m. según se muestra en la **Figura (6)**; luego, conecte los terminales del amplificador de potencia en las entradas del laboratorio AC/DC.
- b. Del mismo modo y respetando la polaridad del circuito conecte los terminales de la fuente de alimentación adicional (**SE-9720**).
- c. En la ventana de configuración de Data Studio elija el “*sensor de voltaje*”, de la lista de sensores e indique una frecuencia de registro de  $10Hz$ .
- d. Genere un medidor digital para voltaje.
- e. Regule el amplificador de potencia para salida de  $2.5V$  de C.C.
- f. Regule la fuente (**SE-9720**) para una salida de  $5.0V$ .
- g. Pulse el botón “Inicio” y realice la lectura del medidor digital variando la posición de los terminales del sensor de voltaje tal como se muestra en la **Figura (7)**.
- h. Registre sus datos en la **Tabla (3)**.

- i. Determine, usando la ley de Ohm la intensidad de corriente que circula por cada resistor.
- j. Usando las leyes de Kirchoff, calcule el valor teórico de las corrientes y determine el error porcentual de cada una de ellas.
- k. Anote sus datos en la **Tabla (3)**.



**Figura (6)** Montaje del circuito para la segunda actividad.



**Figura (7)** Puntos de registro con el sensor de voltaje.

**Tabla (3)** Datos de voltaje y corriente para los puntos de registro.

Magnitud	Punto (1)	Punto (2)	Punto (3)
Voltaje (V)			
Corriente(A)			
Corriente exp. Punto (1)		Corriente teórica Punto (1)	Error porcentual 1
Corriente exp. Punto (2)		Corriente teórica Punto (2)	Error porcentual 1
Corriente exper. Punto (3)		Corriente teórica Punto (3)	Error porcentual 1

## Análisis del circuito con las leyes de Kirchoff

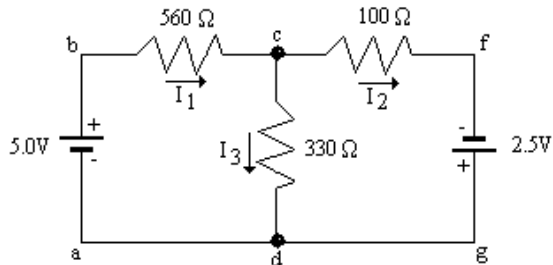
Consideremos las corrientes  $I_1$ ,  $I_2$  e  $I_3$  a través del nudo c, tal como se muestra en la **Figura (8)**, entonces según la regla de los nudos:

$$I_1 - I_2 - I_3 = 0$$

Ahora según la regla de las mallas, y efectuando el análisis por cada malla, tenemos lo siguiente:

Malla abcda:  $5.0 - 560I_1 - 330I_3 = 0$

Malla cfgdc:  $2.5 - 100I_2 + 330I_3 = 0$



**Figura (8)** Circuito mostrando mallas y nudos.

Con las ecuaciones obtenidas se determinan los valores de las corrientes:

$$I_1 = 0.01086\text{A}$$

$$I_2 = 0.01421\text{A}$$

$$I_3 = -0.00327\text{A}$$

## VI. CUESTIONARIO

1. ¿El error cometido en la determinación experimental de la resistencia equivalente en la asociación de resistencias en paralelo esta dentro de la tolerancia admitida por el fabricante?
2. ¿Experimentalmente se verifica que la resistencia equivalente para un agrupamiento en paralelo siempre es más pequeña que cualquiera de las resistencias individuales?

3. ¿Es siempre posible encontrar una sola resistencia que pueda reemplazar a una combinación de resistencias en cualquier circuito dado, sin modificar la corriente en el circuito?, explique.
4. Si la potencia absorbida por cualquier porción de un circuito entre dos puntos a y b esta dado por:

$$P = iV_{ab}$$

¿Cuál será la potencia absorbida por la resistencia de  $330\Omega$ , en el circuito empleado para desarrollar la segunda actividad?, ¿podría tener signo negativo?, explique.

5. Usando el resultado de la pregunta anterior, ¿Es el valor de potencia mayor ó menor que el establecido por el fabricante para la resistencia de  $330\Omega$ ?, ¿Qué ocurrirá si se sobrepasa el valor de potencia predeterminado?, explique.
6. Si la potencia absorbida es numéricamente igual a la cantidad de calor desarrollada por unidad de tiempo, ¿Cuánto calor disipa la resistencia de  $330\Omega$  en una hora?
7. ¿El valor de la fuerza electromotriz de un generador se define como la cantidad de energía convertida de la forma eléctrica a la no eléctrica, ¿Por qué?
8. ¿Cuándo se puede denominar a un dispositivo *generador de fuerza electromotriz*?
9. Explique el principio de funcionamiento del puente de Wheatstone, ¿Cuál es su utilidad?
10. ¿De que manera puede usarse un puente de Wheatstone para determinar valores para capacitores?, explique.



## 6. CAMPO MAGNÉTICO

### I. INTRODUCCIÓN

El estudio del magnetismo se inicia analizando fenómenos que son comunes en la vida cotidiana, tales como las desviaciones que experimenta una barra magnética (imán) en presencia de otra ó la atracción de pedazos de hierro por un imán. En la actualidad y gracias a los experimentos de Ch. Oesterd se define al campo magnético como la región del espacio donde un imán experimenta una atracción ó repulsión. En esta sesión estudiaremos de modo experimental el vector campo magnético y su representación grafica; asimismo determinaremos el flujo magnético en bobinas.

### II. OBJETIVOS

Mediante el desarrollo de esta experiencia se logra lo siguiente:

- Calcular experimentalmente la intensidad de polo de una barra magnética.
- Obtener el mapa de las líneas de inducción para el caso de una barra magnética.
- Determinar experimentalmente el flujo magnético en una bobina.

### III. FUNDAMENTO TEÓRICO

Un campo magnético es el espacio alrededor de un cuerpo en el cual se manifiesta su influencia magnética. El detector más común de los campos magnéticos es una brújula ó aguja magnética.

La dirección de un campo magnético en un punto dado esta definida por la dirección en la cual un polo norte “aislado” se movería si fuera colocado en dicho punto. La trayectoria de este polo norte aislado revelaría la dirección del campo en todos los puntos por donde paso en su movimiento. A esta se le conoce como *línea de fuerza* ó *línea de inducción*. El espaciamiento relativo de las líneas de fuerza nos da una idea de la intensidad del campo magnético en diferentes puntos. Así, un campo magnético intenso esta representado por líneas de fuerza próximas, mientras que un campo magnético débil estará representado por líneas muy alejadas.

En la práctica, no se consigue un polo norte aislado. De tal manera, que la dirección del campo magnético esta dado por la dirección a la cual apunta el polo norte de una aguja magnética. La fuerza sobre un polo magnético definida en función del campo magnético es:

$$\vec{F} = m\vec{B} \quad (1)$$

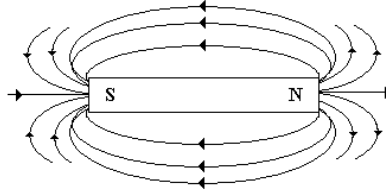
Donde  $m$  es la intensidad de polo magnético (masa magnética) cuyas unidades son Amperio-metro, y la fuerza entre dos polos magnéticos  $m$  y  $m'$ , separados una distancia  $r$ , es:

$$\vec{F} = k \frac{mm'}{r^2} \hat{r} \quad (2)$$

Donde  $k = \mu_0/4\pi$  en el sistema internacional tiene el valor  $10^{-7}$  Weber/Amperio-metro.

### III.1 Líneas de inducción

El campo magnético se representa por las líneas de inducción, las cuales son útiles en el análisis cuantitativo, ver **Figura (1)**.



**Figura (1)** Líneas de inducción magnética.

El número de líneas de inducción por unidad de área sección transversal en una región esta en relación directa a la magnitud del campo magnético y estas nunca se cruzan, además parten del polo norte al polo sur.

### III.2 Flujo magnético

Las unidades del campo magnético en el sistema MKS es *Tesla* que también se conoce como *Weber/m<sup>2</sup>*, lo que equivale a:

$$\frac{1\text{Weber}}{\text{m}^2} = \frac{1\text{Newton}}{\text{Ampere} \cdot \text{m}} = 1\text{Tesla}$$

El Weber es la unidad de flujo magnético, esto quiere decir que mide la integral de superficie sobre la componente normal, con la propiedad de que el flujo magnético para superficies cerradas es cero; matemáticamente, esto se expresa como:

$$\phi_m = \oint \vec{B} \cdot d\vec{s} \quad (3)$$

Lo cual establece que no existen polos magnéticos aislados y el número total de líneas de inducción que atraviesan una superficie se denomina flujo magnético a través de la superficie y se representa por  $\phi_m$ , en el caso especial en que B es uniforme y normal al área finita A es.

$$\phi_m = BA \quad (4)$$

### III.3 Campo magnético en una bobina

La bobina es un arreglo geométrico de conductores con corriente que nos pueden generar un campo magnético uniforme. Si hacemos pasar corriente por una espira esta nos da un campo magnético como se muestra en la **Figura (2)**, en el cual podemos dibujar de acuerdo a la dirección del campo B, el polo norte y el polo sur. Si juntamos varias espiras, conectadas entre sí, de un mismo radio y colocadas como se muestra en la **Figura (3)** formaremos una bobina que tiene una longitud grande comparada con el radio de las espiras que la forman, este arreglo se conoce como solenoide.

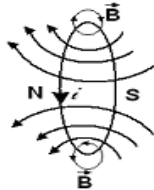


Figura 2

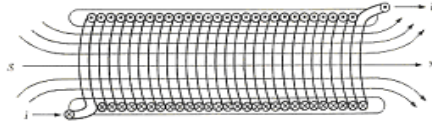


Figura 3

**Figuras (2), (3)** Campo en una espira, Solenoide y líneas de inducción pasar corriente por el solenoide se genera un campo magnético uniforme, excepto en los bordes, donde el campo empieza a abrirse. Esto debido que a medida que juntemos las espiras el campo magnético dentro se hará uniforme e intenso mientras que en el exterior tendera a disminuir. por lo tanto según de la Ley de Ampere tenemos:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{\ell} = B\ell = \mu_0 n \ell i \quad (5)$$

De donde el campo magnético dentro del solenoide es:

$$B = \mu_0 n i \quad (6)$$

Donde:  $n = \frac{N}{\ell}$ , es el número de vueltas(N) por unidad de longitud(l)

La ecuación (6), se puede utilizar para calcular campos magnéticos en puntos internos cerca del centro, para bobinas reales con una aproximación muy buena. En el cálculo del campo magnético para los bordes de un solenoide real la ecuación (6) no es aplicable.

### IV. MATERIALES Y EQUIPOS

Nº	DESCRIPCION	CODIGO	CANTIDAD
1	Computadora personal		1
2	Interfase Science Workshop 750		1
3	Amplificador de potencia	CI-6552A	1
4	Barras magnéticas	SE-8604	1
5	Sensor de campo magnético	CI-6520A	1
6	Compases transparentes	SE-8681	2
7	Bobinas	SE-8653	1
8	Papel milimetrado 20 x 20 cm.		2
9	Regla milimetrada		1
10	Calibrador vernier		1
11	Cables de conexión		2

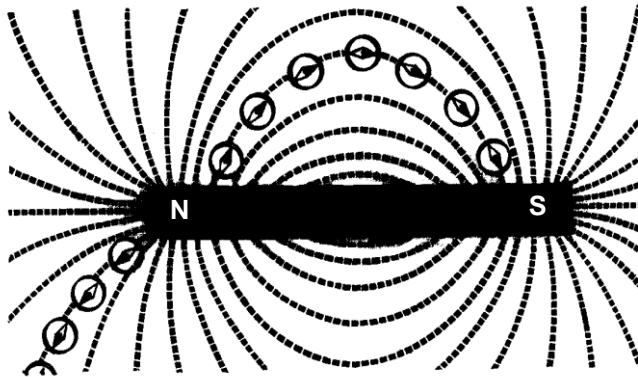
## V. PROCEDIMIENTO Y ACTIVIDADES

### Procedimiento para Configuración de Equipos y Accesorios

- a. Verificar la conexión y encendido de la interfase.
- b. Ingresar al programa Data Studio y seleccionar “*crear experimento*”.
- c. Activar el “*amplificador de potencia*”.
- d. Seleccionar el “*sensor de campo magnético*” de la lista de sensores y efectuar la conexión a la interface usando los cables para transmisión de datos de acuerdo a lo indicado por Data Studio.
- e. Efectúe la calibración para este sensor indicando la medición de campo magnético en Teslas, con una frecuencia de muestreo de 10Hz en ganancia 1x.
- f. Genere una gráfica para Teslas vs. tiempo.
- g. Genere una grafica corriente vs. tiempo.

### Primera Actividad (Determinación de las líneas de inducción de una barra magnética)

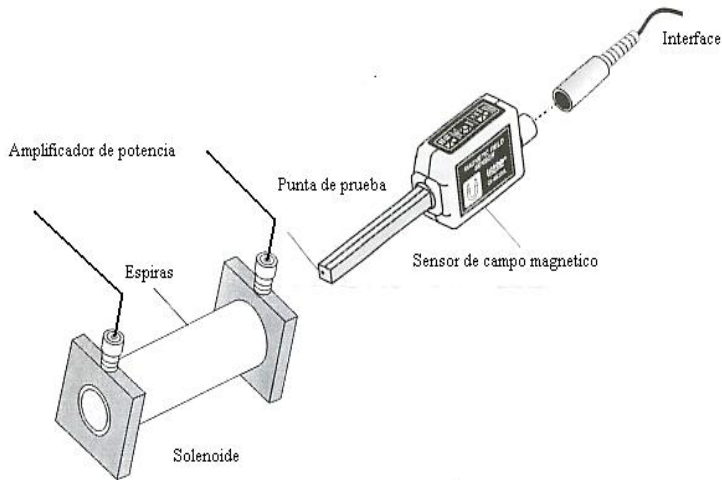
- a. Examine su equipo y verifique el funcionamiento de las agujas magnéticas a utilizar (compases magnéticos con 19mm de diámetro). Determine el polo norte de la agujas magnéticas, para esto tenga en cuenta que estas debe apuntar al norte geográfico que corresponde al sur magnético.
- b. Aleje todo cuerpo magnético ó metálico de la mesa y con ayuda de los compases determine la dirección del campo magnético terrestre.
- c. Alinee la regla en la dirección del campo magnético terrestre (meridiano magnético Norte-Sur) y para que posteriormente pueda trabajar con facilidad, levante la regla a una altura de 3 ó 4 cm.
- d. Fije la barra magnética al centro de una hoja de papel milimetrado usando cinta adhesiva y trace sobre el papel el perfil de la barra.
- e. Determine el polo norte de la barra magnética y ubíquela de tal forma que la dirección de su campo sea opuesta a la del campo magnético terrestre.
- f. Acerque un compás al polo norte de la barra magnética y observe la orientación de la aguja.
- g. Oriente el papel milimetrado de tal forma que la dirección de la aguja sea paralela a la dirección del campo magnético terrestre, representado por la regla.
- h. Marque con un lápiz, en el papel milimetrado, los extremos de la aguja magnética.
- i. Desplace el compás de tal manera que uno de sus extremos coincida con uno de los puntos marcados anteriormente, tal como se muestra en la **Figura (4)**. Nuevamente debe orientar el papel milimetrado de tal forma que la dirección de la aguja magnética sea paralela a la regla. En estas condiciones, podrá marcar otro punto.
- j. Repita el paso anterior hasta que llegue al polo sur de la barra magnética. Con un trazo continuo una los puntos marcados y obtendrá una línea de fuerza.
- k. Tome otro punto del polo norte de la barra magnética y trace una nueva línea de fuerza, repitiendo los pasos (f) hasta (j). Determine por lo menos 10 de estas líneas para que tenga un mapa magnético de la barra.
- l. Retire la barra magnética del papel y prolongue las líneas de fuerza hasta los puntos donde parecen converger.



**Figura (4)** Mapeo de líneas de fuerza en una barra magnética.

### Segunda Actividad (Medición del flujo y campo magnético en un solenoide)

- Con ayuda del vernier mida el diámetro interior del solenoide y determine el área de sección transversal.
- Conecte el amplificador en las terminales de la bobina secundaria del solenoide (2920 vueltas por 11 cm.).
- Indique un voltaje de 8V en CC y genere un gráfico que registre la corriente suministrada.
- Posicione el interruptor del sensor de campo magnético para medición de un campo axial, con el interruptor de ganancia en 1x.
- Verifique la disposición de accesorios tal como se muestra en la **Figura (5)**.
- Coloque el sensor de campo magnético en el interior del solenoide (totalidad).
- Pulse el botón “Inicio” y mida la magnitud del campo al interior (punto central).
- Verifique este resultado con el obtenido usando la ecuación (6) y la corriente registrada; luego, calcule el error porcentual.
- Conociendo el área de sección transversal de la bobina, y el valor experimental del campo magnético medido con el sensor y usando la ecuación (4), calcule el flujo magnético experimental.
- Compare el resultado obtenido experimentalmente para el flujo y compárelo con el logrado usando el valor teórico del campo magnético; luego determine el error porcentual.



**Figura (5)** Disposición de equipos segunda actividad.

## VI. CUESTIONARIO

1. Defina el meridiano magnético terrestre. ¿Coincide con el meridiano geográfico?, explique.
2. ¿Qué es lo que se ha pretendido lograr cada vez que se orientaba el papel milimetrado de tal forma que la aguja magnética era paralela a la regla?
3. Localice la posición aparente de los polos magnéticos de la barra, explique.
4. Considere que el valor de la intensidad de la componente horizontal del campo magnético terrestre es  $5.7 \times 10^{-5}$  Weber/m<sup>2</sup>, determine la intensidad de los polos de la barra magnética. Explique la forma de llegar a esto.
5. ¿Cuál es la distancia entre los polos magnéticos de la barra?, ¿coincide con la longitud de la misma?, explique.
6. ¿Qué fuentes de error han afectado sus resultados?, detalle su respuesta.
7. ¿Es posible obtener un imán con un polo más intenso que el otro?
8. ¿Es posible obtener un imán recto con tres polos magnéticos?
9. ¿Actualmente se cree que los llamados fenómenos magnéticos proceden de fuerzas originadas entre cargas eléctricas en movimiento?
10. ¿Se denomina solenoide a cualquier conjunto de conductores con corriente?

## 7. CAMPO MAGNÉTICO TERRESTRE

### I. INTRODUCCIÓN

Debido a los experimentos con la aguja magnética ó brújula que se orienta en una dirección determinada, se considera a la tierra como un gigantesco imán. Generalmente se dice que la aguja magnética apunta hacia el norte; sin embargo, esto no es del todo cierto, pues la dirección de la aguja magnética no coincide con la dirección del meridiano geográfico; esto se debe a que los polos magnéticos de la tierra no coinciden con los polos geográficos, sino que se encuentran separados algunos cientos de kilómetros.

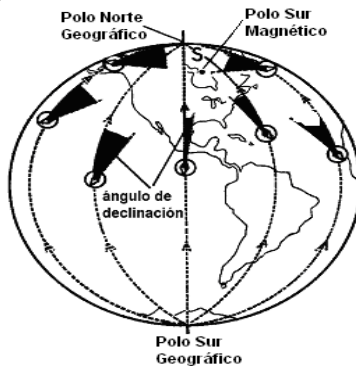
### II. OBJETIVOS

Mediante el desarrollo de esta experiencia es posible lograr lo siguiente:

- Calcular la componente horizontal del campo magnético terrestre.
- Determinar las características del campo magnético de la tierra.
- Estudiar el comportamiento de una barra magnética dentro de un campo magnético.

### III. FUNDAMENTO TEÓRICO

En un punto dado, el ángulo entre el meridiano geográfico y la dirección de la aguja magnética se llama *ángulo de declinación* y es el que sirve para corregir las lecturas de una brújula. El ángulo de declinación en diferentes lugares tiene una magnitud distinta, tal como se observa en la figura (1). Por tal razón, existen trazados de mapas exactos de la declinación magnética en los que se señala la desviación del meridiano magnético con respecto al meridiano geográfico.



**Figura (1)** Medición de la declinación magnética.

El campo magnético terrestre es el espacio en el cual se observa su acción sobre las agujas magnéticas u otros cuerpos magnetizados.  
 Este campo puede ser visualizado por medio de las líneas de fuerza magnética. Las cuales nos dan una imagen de la dirección del campo magnético terrestre.

La intensidad del campo magnético terrestre  $B'$  en un punto dado depende de la posición en que se encuentran con respecto a los polos magnéticos y es tangente a la línea de fuerza que pasa por dicho punto. El campo magnético terrestre tiene componente horizontal y una componente vertical; sus magnitudes varían de un punto a otro sobre la superficie de la tierra.

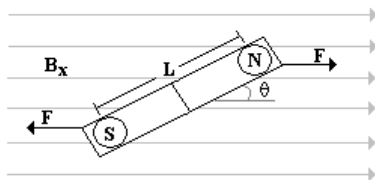
Cuando una barra magnética es suspendida mediante un hilo muy delgado formando un ángulo  $\theta$  con la componente horizontal del campo magnético terrestre, iniciará un movimiento oscilatorio debido al torque producido por la fuerza magnética, ver **Figura (2)**. Si el ángulo  $\theta < 15^\circ$  el movimiento de la barra magnética es armónico simple, cuyo periodo de oscilación es dado por:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{\mu B_x}} \quad (1)$$

Donde:  $I$ , es el momento de inercia de la barra magnética, con respecto a su eje de oscilación.

$\mu$ , es el momento magnético de la barra.

$B_x$ , es la componente horizontal del campo magnético terrestre.



**Figura (2)** Torque producido por la fuerza magnética.

Por definición, el momento magnético  $\mu$  de la barra es dado por:

$$\mu = mL \quad (2)$$

Donde:  $m$ , es la “carga magnética” ó también llamada “masa magnética”.  
 $L$ , distancia entre las “masas magnéticas”.

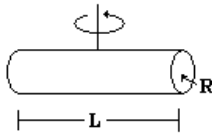
De la ecuación (1) se deduce que:

$$B_x = \frac{4\pi^2 I}{\mu T^2} \quad (3)$$

El momento de inercia de una barra cilíndrica de masa  $M$  que gira alrededor de un eje tal como se muestra en la **Figura (3)**, esta dado por:

$$I = M \left( \frac{R^2}{4} + \frac{L^2}{12} \right) \quad (4)$$





**Figura (3)** Barra magnética con eje de giro.

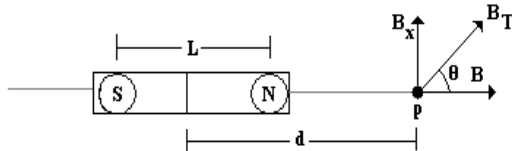
Por otro lado la intensidad de campo magnético  $B$  en un punto  $p$ , tal como se muestra en la figura (4), se puede hallar a partir de la ley de Coulomb para el campo magnético, así:

$$B = \frac{32k_p \mu d}{(4d^2 - L^2)^2} \quad (5)$$

Donde:  $k$ , es la constante magnética ( $10^{-7}$  Weber/ Ampere – metro)

$d$ , es la distancia desde el punto medio de la barra al punto  $p$ .

Si la barra magnética se orienta perpendicularmente al campo magnético terrestre, se tiene que en el punto  $p$  el campo magnético total  $B_T$ , es el que se muestra en la **Figura (4)**.



**Figura (4)**  $B_t$  en el punto  $p$ .

Cuando  $\theta = 45^\circ$  entonces  $B = B_x$ . En este caso usando las ecuaciones (3) y (5) eliminamos  $\mu$ , obteniéndose finalmente que:

$$B_x = \frac{8\pi\sqrt{2kId}}{T(4d^2 - L^2)} \quad (6)$$

#### IV. MATERIALES Y EQUIPOS

Nº	DESCRIPCION	CODIGO	CANTIDAD
1	Computadora personal		1
2	Interfase Science Workshop 750		1
3	Amplificador de potencia	CI-6552A	1
4	Barras magnéticas	SE-8604	1
5	Compases transparentes	SE-8681	2
6	Fotopuerta	ME-9204B	1
7	Papel milimetrado 20 x 20 cm.		2
8	Calibrador vernier		1
9	Balanza y soporte		1

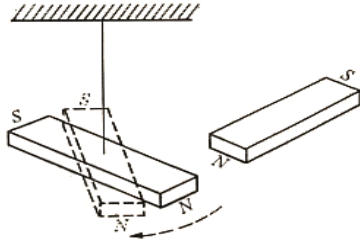
## V. PROCEDIMIENTO Y ACTIVIDADES

### Procedimiento para Configuración de Equipos y Accesorios

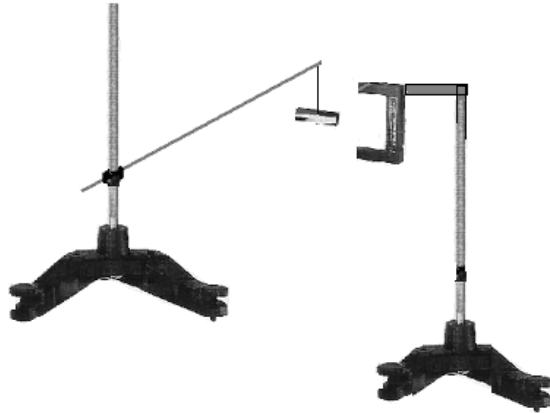
- a. Determinar la masa  $M$ , la longitud  $L$  y el radio  $R$  de la barra magnética, y a partir de estos datos calcular su momento de inercia; registrar estos valores en la **Tabla (1)**.
- b. Determinar la distancia  $L$  entre las masas magnéticas, alejando todos los cuerpos metálicos y materiales magnéticos que se encuentren cerca de la zona de trabajo. Colocar la barra magnética en el centro de la mesa y con ayuda de una brújula trazar sobre un papel milimetrado algunas líneas de fuerza que salen de los polos marcando con un lápiz los extremos de la aguja y colocando un extremo a continuación de otro; cuatro ó cinco líneas pueden ser suficientes. Prolongando las líneas trazadas, en la dirección que ellas parecen converger, se encontrara la posición de los polos magnéticos. Medir la distancia  $L$  y anotarla en la **Tabla (2)**.
- c. Determinar la dirección del campo magnético terrestre retirando lo más lejos posible los demás metales y la barra magnética; colocar la brújula en el centro de la mesa y trazar la dirección del campo magnético terrestre.
- d. Trazar una perpendicular a la dirección del campo magnético terrestre y sobre esta recta alinear la barra magnética tal como se muestra en la **Figura (4)**. El punto  $p$  es la intersección de las dos rectas que se han trazado.
- e. Ingresar al programa Data Studio y seleccionar “*crear experimento*”.
- f. Seleccionar “*fotopuerta*” de la lista de sensores y efectuar la conexión a la interface usando los cables para transmisión de datos de acuerdo a lo indicado por Data Studio.
- g. Efectúe la calibración para este sensor indicando la medición de estado.
- h. Genere una gráfica para estado vs. tiempo.
- i. Verifique la disposición de equipos y accesorios tal como se muestra en la **Figura (6)**.

### Primera Actividad (Determinación de la comp. horizontal del Campo Mag. Terrestre)

- a. Suspender la barra magnética en la barra del soporte universal y alinearla en la dirección del campo magnético terrestre, retirando todos los cuerpos metálicos y magnéticos que estén sobre la mesa de trabajo. Con ayuda de otra barra magnética, producir leves oscilaciones (que no tengan vibraciones laterales), con ángulos de giro menores a  $15^\circ$ . Ver **Figura (5)**.
- b. Con los datos registrados por la fotopuerta, determinar el periodo promedio de oscilación para 10 oscilaciones, repita este proceso 5 veces y anote los resultados en la **Tabla (2)**.
- c. Usando los datos de la **Tabla (1)** y **(2)** junto con la ecuación (6), calcule el valor experimental para la componente horizontal del campo magnético terrestre.
- d. Calcule el error absoluto y porcentual para los resultados logrados usando la ecuación (6) tome como valor de comparación  $B_x = 5.7 \times 10^{-5} T$  (valor aceptado de la componente horizontal de campo magnético terrestre).



**Figura (5)** Oscilaciones producidas a una barra magnética.



**Figura (6)** Disposición de equipos primera actividad.

**Tabla (1)** Datos de la barra magnética.

Masa M (Kg.)	Longitud L (m)	Radio R (m)	Momento de inercia (Kg-m <sup>2</sup> )

**Tabla (2)** Medición experimental de  $B_x$  con ecuación (6).

L =		metros		d =		metros	
Nº medición	1	2	3	4	5		
Nº oscilaciones							
Periodo T (seg.)							
Promedio del periodo T (seg.)			$B_x$ (Teslas)				
Error Absoluto			Error Porcentual				

## VI. CUESTIONARIO

1. ¿Cuáles son las características del campo magnético terrestre?, ¿Cuál es el comportamiento de una barra magnética dentro de un campo magnético?
2. Graficar las líneas de fuerza de la barra magnética, señalando la posición de los polos magnéticos y las distancias L y d.
3. ¿Qué fuentes de error han afectado sus resultados?, ¿Cómo podrían superarse?
4. ¿Cuáles son los argumentos físicos que explican las causas de la existencia del campo magnético terrestre, motivo por el cual se considera a la tierra como un gran imán permanente?
5. Los campos magnéticos son producidos por cargas eléctricas en movimiento. ¿Cómo explicar la presencia de un campo magnético permanente en los imanes ó la barra magnética que ha usado?
6. ¿En que lugares de la tierra las componentes horizontal y vertical del campo magnético terrestre son máximas?, ¿Por qué?, explicar gráficamente.
7. ¿Qué aplicaciones prácticas tiene el campo magnético terrestre?
8. En la región norte del Canadá, el flujo de rayos cósmicos es mayor que en el Ecuador. ¿Cómo explica esto?
9. Un protón se mueve de occidente a oriente cerca del ecuador terrestre. ¿Cuál es la dirección y sentido de la fuerza magnética que experimenta?
10. El campo eléctrico se define de manera que la fuerza eléctrica sea paralela al campo. ¿Podría definirse el campo magnético de manera que la fuerza magnética fuese paralela al campo?, ¿Por qué?, explicar analíticamente.

## 8. LEY DE FARADAY

### I. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la electrotecnia, hasta alcanzar su estado actual, comenzó con Faraday y Henry quienes, independientemente y casi al mismo tiempo, descubrieron los fundamentos en que se basa la producción de f.e.m. inducidas y los métodos por los cuales la energía mecánica puede convertirse directamente en energía eléctrica. La ley de Faraday, es una de las más importantes del electromagnetismo; esta ley, relaciona la f.e.m. y los campos eléctricos y magnéticos variables con tiempo, que analizaremos en esta sesión.

### II. OBJETIVOS

Mediante el desarrollo de esta experiencia es posible lograr lo siguiente:

- Determinar experimentalmente que la f.e.m. inducida en el circuito es numéricamente igual a la derivada respecto al tiempo del flujo que lo atraviesa.
- Determinar experimentalmente que la corriente es inducida en un circuito tendrá una dirección opuesta a la causa que la produce.
- 

### III. FUNDAMENTO TEÓRICO

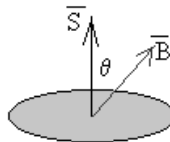
Supongamos que tenemos una espira situada entre las piezas polares de un electroimán. El campo magnético varía con el tiempo. Verificaremos que el sentido de la corriente inducida está de acuerdo a la ley de Lenz y observaremos el comportamiento de la f.e.m. en función del tiempo.

#### III.1 Flujo magnético

Se denomina flujo al producto escalar del vector campo por el vector superficie. Para el caso de una espira de superficie  $S$  en presencia de un campo magnético  $B$ , tal como se muestra en la figura (1), el flujo estará dado por:

$$\phi_B = \vec{B} \cdot \vec{S} = BS \cos \theta \quad (1)$$

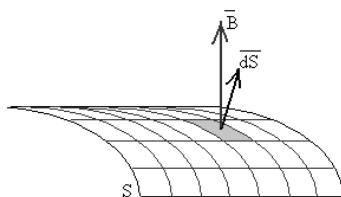
Donde:  $\theta$ , es el ángulo formado por el vector superficie y el vector campo magnético.



**Figura (1)** Angulo entre el vector campo y el vector superficie.

Si el campo no es constante o la superficie no es plana tal como se ve en la **Figura (2)**, se calcula el flujo a través de cada elemento  $d\vec{s}$  de superficie, de modo que, el flujo a través de la superficie  $S$ , es:

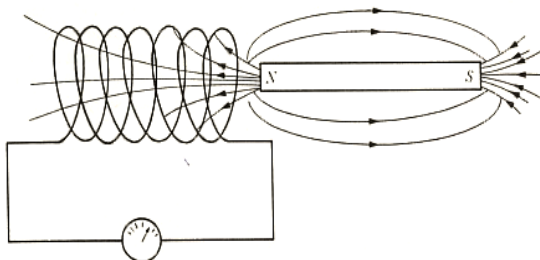
$$\phi_b = \int_S \vec{B} \cdot d\vec{s} \quad (2)$$



**Figura (2)** Flujo a través de un elemento de superficie.

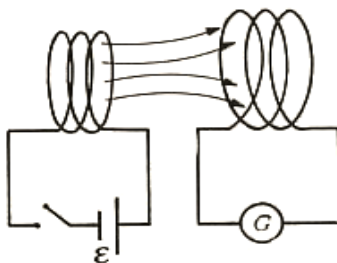
### III.2 Ley de Faraday

En 1831 Faraday observó que cuando en una bobina que tiene conectado un galvanómetro como se muestra en la figura (3), se introduce un imán, se produce una desviación en el galvanómetro lo que es equivalente a producirse una corriente en la bobina, pero este fenómeno sucede únicamente cuando el imán está en movimiento.



**Figura (3)** Bobina y galvanómetro frente a una barra magnética.

Faraday observó que entre más rápido sea el movimiento de acercarse el imán a la bobina, mayor será la corriente registrada por el galvanómetro, esto ocurrirá si aumentamos el número de vueltas o aumentamos la sección transversal. Si en lugar de tener un imán tenemos una bobina tal como se muestra en la figura (4), conectada a una f.e.m. que tiene un interruptor, observamos que cuando cerramos el interruptor, el galvanómetro marca el paso de una corriente y esta va disminuyendo a medida que transcurre el tiempo hasta que prácticamente marca cero; ahora, si abrimos el interruptor observamos que el galvanómetro nuevamente registra una corriente pero en sentido opuesto al anterior.



**Figura (4)** Bobinas enfrentadas.

De esto se puede concluir que se induce una f.e.m. en la bobina donde esta conectado el galvanómetro y su magnitud va a depender de la variación del flujo magnético con respecto al tiempo, lo cual se expresa matemáticamente como:

$$\varepsilon = -\frac{d\phi_B}{dt} \quad (3)$$

Donde:  $\varepsilon$ , es la f.e.m. inducida.

$\phi_B$ , es el flujo magnético.

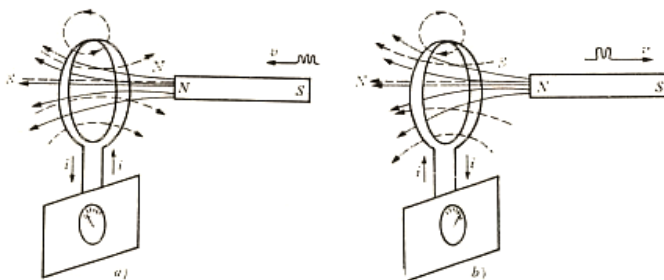
A esta ecuación se le conoce como “*Ley de Faraday*”. El significado del signo menos, esta dado por, el sentido de la corriente inducida (*ley de Lenz*). Cuando tenemos una bobina con  $N$  vueltas, donde cada vuelta pasa por el mismo flujo, entonces tenemos que el flujo total es igual al flujo de una espira multiplicado por el número de espiras que también se conoce; la rapidez del cambio de flujo con respecto al tiempo tendrá relación directa con la magnitud de la f.e.m..

$$\varepsilon = -N \frac{d\phi_B}{dt} \quad (4)$$

Donde:  $N$ , es el número de espiras en la bobina de prueba.

### III.3 Ley de Lenz

Esta ley dice que “*la corriente que es inducida en un circuito tendrá una dirección de tal forma que se oponga a la causa que la produce*”, esto es una consecuencia directa del principio de conservación de la energía; en la **Figura (4)** tenemos una bobina en la cual se introduce un imán hacia el centro de la bobina, empieza a generarse una f.e.m. inducida lo cual produce un campo magnético que se opone al campo  $B$  del imán, **Figura (4a)** y aumenta a medida que el imán se mueve hacia la espira. Cuando empezamos a retirar el imán como el cambio de flujo es menor a medida que se va alejando se induce una corriente que produce un campo magnético que se opone a la reducción de flujo magnético de aquí que el campo en el centro de la bobina tiene una dirección igual al campo del imán que se aleja ver **Figura (4b)**.



**Figura (5)** Campo magnético inducido esta representado por líneas punteadas.

La ley de Lenz, se constituye en una regla útil para conocer el sentido de una f.e.m. inducida.

### III.4 Campo magnético de una bobina en un punto de su eje

Considerando un hilo arrollado en forma de bobina formada por muchas espiras tomando un punto  $P$  sobre eje de la bobina a una distancia  $x$  de su centro. Haciendo uso la ley de Biot Savart para determinar el campo magnético y tenemos en cuenta que la corriente varía según:  $i = i_0 \text{sen}(2\pi ft)$ , se encuentra la siguiente ecuación matemática.

$$B = N \frac{\mu_0 a^2}{2(\sqrt{x^2 + a^2})^3} i_0 \text{sen}(2\pi ft) = B_0 \text{sen}(2\pi ft) \quad (5)$$

Donde:  $B_0$ , es la amplitud del campo magnético generado por una bobina de  $N$  espiras medido a una distancia  $X$  de su centro,  $a$  es el radio de la bobina.

### III.5 Cálculo de la f.e.m. en la bobina de prueba

Si tenemos un arreglo tal como el mostrado en la **Figura (4)**, dos bobinas enfrentadas con una de ellas conectada a una f.e.m. La f.e.m. inducida en la bobina conectada al galvanómetro, puede calcularse combinando las ecuaciones (1) y (4) considerando que el ángulo entre el vector campo magnético y el vector superficie es cero, es decir:

$$\varepsilon = -N \frac{d\phi_B}{dt} = -NS \frac{dB}{dt} \quad (6)$$

Esto es posible por que el área, superficial de la bobina de prueba es constante; ahora, si el campo magnético es el definido en la ecuación (5), efectuando la derivada correspondiente la ecuación (6) se transforma en:

$$\varepsilon = -NSB_0(2\pi f) \cos(2\pi ft) = -A_e \cos(2\pi ft) \quad (7)$$

En esta ecuación  $A_e$  es la amplitud de la f.e.m. inducida en la bobina de prueba.



#### IV. MATERIALES Y EQUIPOS

Nº	DESCRIPCION	CODIGO	CANTIDAD
1	Computadora personal		1
2	Interfase Science Workshop 750		1
3	Amplificador de potencia	CI-6552A	1
4	Compases transparentes	SE-8681	2
5	Bobinas circulares 200 vueltas	EM-6711	2
6	Base de bobinas Helmholtz	EM-6715	1
7	Sensor de Voltaje	CI-6503	1
8	Calibrador vernier		1
9	Cables de conexión		2

#### V. PROCEDIMIENTO Y ACTIVIDADES

##### Procedimiento para Configuración de Equipos y Accesorios

- Verificar la conexión y encendido de la interface.
- Ingresar al programa Data Studio y seleccionar “*crear experimento*”.
- Activar el “*amplificador de potencia*”, en generador de señales, elija una onda senoide de 60Hz y amplitud 8V, registre 50 datos por segundo (50 Hz).
- Mida y registre en la tabla (1), los datos de las bobinas empleadas.  
 Numero de espiras = 200, radio interno = 9.8 cm., radio externo = 11.05 cm.  
 Radio promedio = 10.5 cm.
- Seleccionar el “*sensor de voltaje*” de la lista de sensores y efectuar la conexión a la interface usando los cables para transmisión de datos de acuerdo a lo indicado por Data Studio.
- Genere una gráfica Voltaje inducido vs. tiempo e intensidad vs. tiempo.

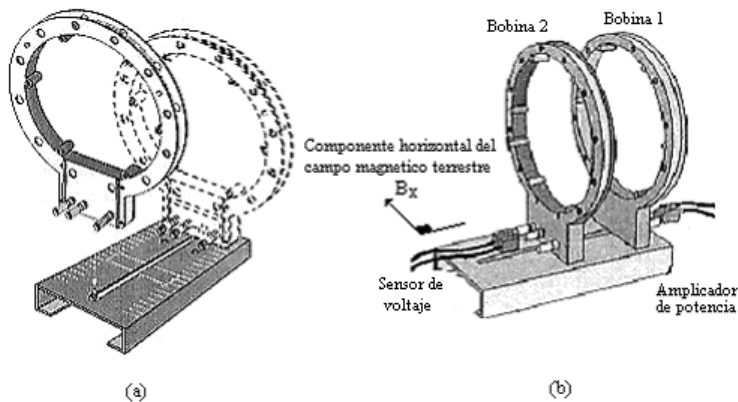
**Tabla (1).** Datos de las bobinas empleadas.

Radio interno (m)	Radio externo (m)	Radio promedio (m)	Longitud (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Numero de espiras (N)

##### Primera Actividad (Determinación de la amplitud f.e.m. inducida)

- Realice el montaje de las bobinas una distancia inicial de 2 cm., ver **Figura (6a)**.
- Orientar las bobinas perpendicularmente a la dirección de la componente horizontal del campo magnético terrestre; emplee, para esto un compás magnético (brújula).
- Ubicar la bobina de prueba (bobina 2) de modo que el flujo a través de ella sea máximo (dirección del campo de magnético de la bobina 1), ver **Figura (6b)**.
- Realizar la conexión del sensor de voltaje y el amplificador de potencia en las terminales, tal como se muestra en la **Figura (6)**.
- Encender el amplificador de potencia y pulsar el botón “*Inicio*”, tomar lectura durante 10 seg. y detener la medición.

- f. De la gráfica corriente vs. tiempo calcule la amplitud promedio de la intensidad de corriente.
- g. Determine el promedio de la amplitud, frecuencia de la f.e.m. inducida en la bobina 2 y el área bajo la gráfica (flujo magnético experimental en el intervalo temporal indicado, es decir:  $\phi_{B\text{-exp.}}$ ).
- h. Usando la ecuación (7) y los datos de la **Tabla (1)**, determine la amplitud del campo magnético que fluye a través de la bobina 2 ( $B_{0\text{-exp.}}$ ).
- i. Empleando la ecuación (5), determine la amplitud teórica del campo magnético que fluye a través de la bobina 2 ( $B_{0\text{-teo.}}$ ) y calcule el error porcentual correspondiente.
- j. Con los datos de la **Tabla (1)** y el valor de  $B_{0\text{-teo.}}$ , calcule el flujo magnético teórico total para el intervalo de tiempo indicado  $\phi_{B\text{-teo.}}$ ; esto integrando la ecuación (7), luego calcule el error porcentual correspondiente.
- k. Anote sus datos en la **Tabla (2)**
- l. Incremente en 2 cm. La distancia de separación entre la bobina 1 y la bobina 2; luego, repita los pasos desde e) hasta j), detenga las mediciones una vez alcanzados 10 cm. de separación.



**Figura (6).** Disposición de equipos primera actividad.

**Tabla (2),** Calculo de Amplitud y frecuencia de la f.e.m. inducida

Nº	x (m)	$A_\varepsilon$ (V)	f (Hz)	$i_0$ (A)	$\phi_{B\text{-exp}}$ ( $T \cdot m^2$ )	$\phi_{B\text{-teo.}}$ ( $T \cdot m^2$ )	Erro r (%)	$B_{0\text{-exp}}$ (T)	$B_{0\text{-teo}}$ (T)	Erro r (%)
1	0.02									
2	0.04									
3	0.06									
4	0.08									
5	0.10									

## VI. CUESTIONARIO

1. Elabore una gráfica amplitud de f.e.m. ( $A_e$ ) vs. amplitud de campo magnético ( $B_0$ ), ¿es posible calcular el área de la bobina analizando la pendiente?, ¿por qué?
2. Realice una gráfica flujo magnético vs. tiempo y determine la amplitud para cada distancia según la **Tabla (2)**, luego elabore la gráfica amplitud de flujo vs. amplitud de campo magnético, ¿qué tipo de gráfica se genera?, ¿Por qué?
3. ¿Qué podemos determinar de la gráfica generada en la pregunta anterior?
4. En su opinión, ¿qué factores distorsionan los resultados obtenidos?
5. ¿En que condiciones es aplicable la ley de Ampere, para determinar el campo magnético en el interior del solenoide?
6. ¿Qué representa la autoinductancia ó inductancia del circuito?, explique.
7. ¿Un campo eléctrico inducido, se puede obtener directamente a partir de una f.e.m.?
8. ¿La ley de Lenz, equivale a la primera ley de Kirchhoff?
9. ¿Cómo funciona un generador de corriente alterna?, ¿es una aplicación de la ley de Faraday?
10. ¿Cuál es el principio de funcionamiento del Betatrón?

## 09. AUTO INDUCCIÓN Y CAPACIDAD

### I. INTRODUCCIÓN

El concepto de inductancia tiene un papel similar al de la capacitancia en el campo eléctrico, tanto el condensador como el inductor (bobina) son elementos activos en un circuito almacenando energía, mientras que la resistencia la consideramos un elemento pasivo ya que disipa energía, y concluimos que en cualquier región del espacio donde existe campo magnético hay energía magnética.

### II. OBJETIVOS

Mediante el desarrollo de esta experiencia es posible lograr lo siguiente:

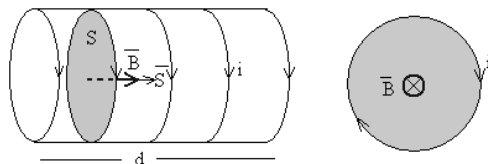
- Determinar experimentalmente la inductancia para un solenoide, analizando el comportamiento de un circuito RL.
- Determinar experimentalmente la constante de tiempo para un circuito que contiene capacidad y resistencia (RC).
- Obtener experimentalmente la energía y densidad de energía para un solenoide conectado a una fuente.

### III. FUNDAMENTO TEÓRICO

En sesiones anteriores se demostró que en un circuito fijo se induce una f.e.m. siempre que aumente o disminuya el flujo magnético ligado al mismo. En los casos anteriores se considero que el origen del campo magnético era independiente del circuito en el cual se produce la f.e.m. inducida. Pero cuando circula una corriente por un circuito esta corriente crea un campo magnético ligado al circuito, que varía al variar la corriente. En consecuencia, en cualquier circuito que transporta una corriente variable se induce una f.e.m. a causa de la variación de su propio campo. Esta f.e.m. se denomina *fuerza electromotriz autoinducida*.

#### III.1 Autoinducción

En un circuito como el mostrado en la figura (1), existe una corriente que produce un campo magnético ligado al propio circuito y que varía cuando lo hace la intensidad. Por tanto, cualquier circuito en el que exista una corriente variable se producirá una f.e.m. inducida que denominaremos autoinducida.



**Figura (1)** Solenoide de  $N$  espiras, longitud  $d$  y sección  $S$  recorrido por una corriente  $i$ .

Se denomina *coeficiente de autoinducción*  $L$  al cociente entre el flujo propio  $\phi$  y la intensidad  $i$ .

$$L = \frac{\phi}{i} = \frac{\mu_0 N^2 S}{d} \quad (1)$$

Del mismo modo que la capacidad, el coeficiente de autoinducción solamente depende de la geometría del circuito y de las propiedades magnéticas de la sustancia que se coloque en el interior del solenoide, las unidades de la inductancia son *volts-seg./ampere*, esta unidad se llama *Henry*. La autoinducción de un solenoide de dimensiones dadas es mucho mayor si tiene un núcleo de hierro en el interior

Cuando la intensidad de la corriente  $i$  cambia con el tiempo, se induce una corriente en el propio circuito que se opone a los cambios de flujo, es decir de intensidad.

$$\varepsilon = -\frac{d\phi}{dt} = -L \frac{di}{dt} \quad (2)$$

La f.e.m. autoinducida  $\varepsilon$  siempre actúa en el sentido que se opone a la variación de corriente, eso explica el signo negativo en la ecuación (2).

### III.2 Energía asociada a una autoinducción

Para producir la f.e.m. autoinducida, la corriente tiene que realizar un trabajo, que lo hace la fuente que produce la corriente. La f.e.m. inducida aparece en las terminales de la bobina, de acuerdo a la definición de potencia instantánea, es posible escribir:

$$\text{Potencia} = \frac{dW}{dt} = \varepsilon i \quad (3)$$

Sustituyendo la magnitud de la f.e.m. inducida en la ecuación (3) obtenemos:

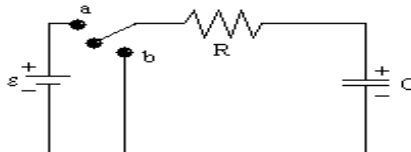
$$\frac{dW}{dt} = iL \frac{di}{dt} \quad (4)$$

la energía total suministrada por la fuente a la bobina y por ende la energía magnética almacenada esta dado por:

$$U_m = \frac{1}{2} Li^2 \quad (5)$$

### III.3 Circuito que contiene capacidad y resistencia (RC)

Un circuito simple que contiene resistencias y condensadores, nos permitirán obtener corrientes variable en el tiempo tal como se muestra en la figura (2), un condensador y una resistencia están conectadas en serie a una fuente f.e.m.  $\varepsilon$ .



**Figura (2)** Circuito RC.

Cuando se cierra el circuito en el terminal **a** se cumple.

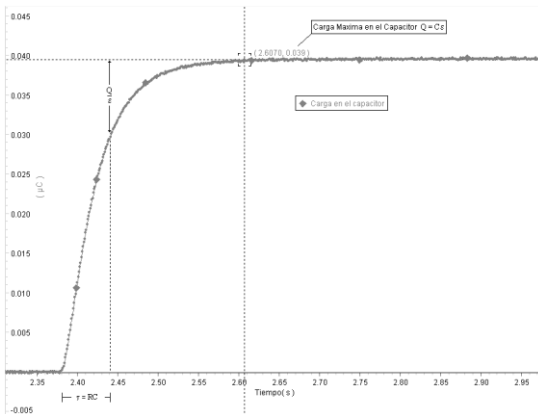
$$R \frac{dq}{dt} + \frac{q}{C} - \varepsilon = 0 \quad (6)$$

Para resolver la ecuación diferencial tomamos las condiciones del circuito  $t = 0$ ,  $q = 0$  y para un tiempo  $t$ .

La solución correspondiente con la condición antes mencionada, es

$$q = \varepsilon C (1 - e^{-\frac{t}{RC}}) \quad (7)$$

El análisis de varios valores de  $t$  demuestra que para  $t = 0$ , la carga del condensador es cero, si el interruptor permanece conectado indefinidamente ( $t \rightarrow \infty$ ), la carga almacenada tiende a  $\varepsilon C$ , tal como se muestra en la siguiente figura.

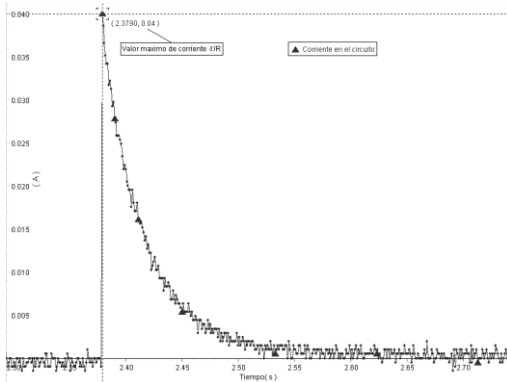


**Figura (3).** Variación de carga respecto al tiempo (proceso de carga).

Si deseamos obtener la razón de flujo de carga por unidad de tiempo (corriente) que circula en el circuito, derivamos la ecuación (7) respecto al tiempo lo cual nos da:

$$i = \frac{dq}{dt} = \frac{\varepsilon}{R} e^{-\frac{t}{RC}} \quad (8)$$

De donde se observa que la máxima corriente se obtiene en el preciso momento en el cual el circuito RC se conecta a la f.e.m., ó sea para  $t = 0$ ,  $i = \varepsilon/R$ . Si el interruptor permanece conectado un tiempo largo, es decir  $t \rightarrow \infty$ , entonces  $i \rightarrow 0$ , lo que puede verse gráficamente en la figura siguiente:



**Figura (4)** Variación de la corriente respecto al tiempo (proceso de carga).

El producto RC que se encuentra en el exponente de la ecuación (7) y (8) tiene unidades de tiempo y se conoce como “*constante de tiempo capacitiva*”, comúnmente representada por  $\tau_c$  y determina el tiempo necesario para que la carga del condensador alcance el 63% de su valor final.

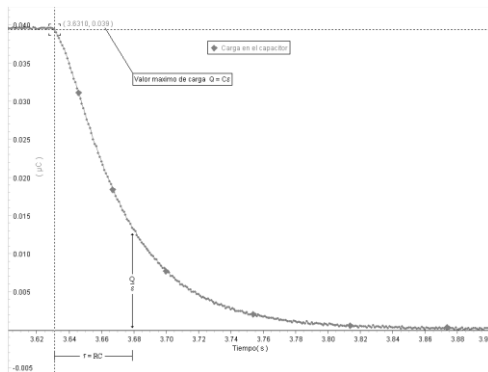
Si el interruptor pasa a la posición **b** luego de haber estado en **a** un tiempo  $\tau > \tau_c$  entonces el condensador actuaría como una fuente y la corriente circularía en la dirección opuesta disminuyendo su magnitud, entonces:

$$\frac{q}{C} + iR = 0 \tag{9}$$

Reemplazando  $i = dq/dt$ , en la ecuación (9) y resolviendo esta ecuación de manera similar a la anterior para  $t = 0$ ,  $q = \epsilon C$ .

$$q = \epsilon C e^{-\frac{t}{RC}} \tag{10}$$

Entonces para  $t \rightarrow \infty$ ,  $q \rightarrow 0$  y para  $t = 0$  la carga es  $\epsilon C$ , tal como se muestra en la figura siguiente:

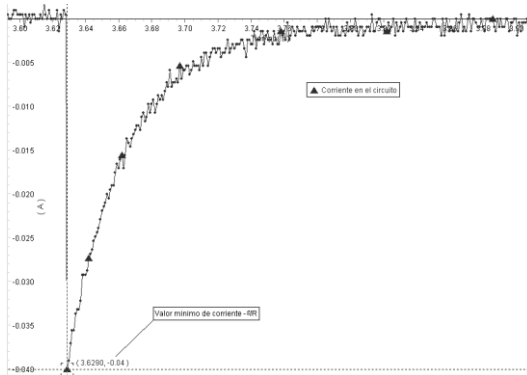


**Figura (5).** Variación de carga respecto al tiempo (proceso de descarga).

La corriente en el circuito se puede obtener al derivar la ecuación (9) con respecto al tiempo, esto es:

$$i = \frac{dq}{dt} = -\frac{\varepsilon}{R}e^{-\frac{t}{RC}} \quad (11)$$

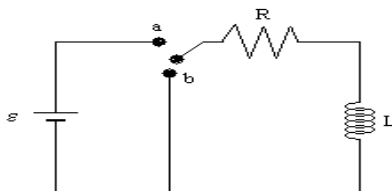
De la ecuación (11) observamos que la máxima corriente la tenemos para  $t = 0$  y es  $-\varepsilon/R$  cuando  $t \rightarrow \infty$  la corriente tiende a cero como se puede ver en la siguiente figura.



**Figura (6).** Variación de la corriente respecto al tiempo (proceso de descarga).

### III.4 Circuito que contiene autoinducción y resistencia (RL)

Una resistencia inductiva por la cual circula una corriente que aumenta de intensidad, se convierte en un generador de f.e.m. cuyo sentido es opuesto al de la corriente. Como consecuencia de esta fuerza contraelectromotriz, la intensidad de la corriente en un circuito inductivo no alcanzara su valor final en el instante mismo de cerrar el circuito, sino que aumentara a un ritmo que depende de su autoinducción y resistencia. La figura (7) muestra un circuito RL simple.



**Figura (7)** Circuito RL.

Cuando se conecta el interruptor en el punto a, la resistencia y la inductancia que están en serie, quedan conectados a la f.e.m. Al aplicar la segunda ley de Kirchhoff y de acuerdo a la Ley de Faraday obtenemos la siguiente expresión:

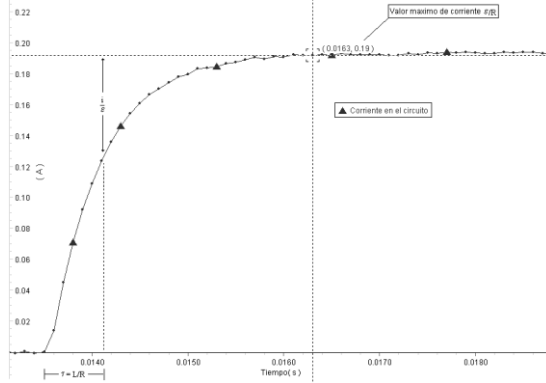
$$\varepsilon - L \frac{di}{dt} - iR = 0 \quad (12)$$



Esta es una ecuación diferencial de primer orden, la cual podemos resolver tomando como condiciones del circuito que para  $t = 0$ ,  $i = 0$  y que para un tiempo  $t$ , se tiene.

$$i = \frac{\varepsilon}{R} [1 - e^{-t/\frac{L}{R}}] \quad (13)$$

A la constante  $L/R$  se le conoce con el nombre de *constante de tiempo inductivo* y se representa por  $\tau_L = L/R$  y su significado físico es que corresponde al tiempo necesario para que la corriente alcance 63% de su valor final. La figura (8) muestra el comportamiento de la corriente respecto al tiempo durante este proceso.

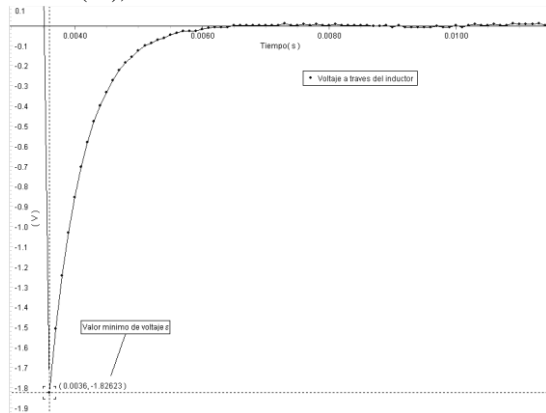


**Figura (8)** Variación de corriente respecto al tiempo, desde 0 hasta  $t$ .

A partir de la ecuación (13), derivando la corriente con respecto al tiempo obtenemos la f.e.m.  $\varepsilon_L$  inducida en el inductor, esto es:

$$\varepsilon_L = -L \frac{di}{dt} = -\varepsilon e^{-\frac{t}{\tau_L}} \quad (14)$$

La gráfica de la ecuación (14), muestra la variación de la f.e.m. inducida en el circuito RL.



**Figura (9)**. Variación de voltaje en el inductor respecto al tiempo, desde 0 hasta  $t$ .

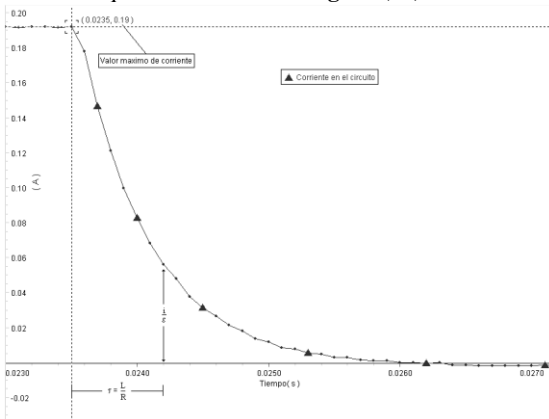
Cuando el interruptor cambia de a hacia la posición b, el inductor actúa como fuente de voltaje hasta que se disipa en la resistencia, la energía que tenía almacenada; aplicando la segunda ley de Kirchoff a este circuito de descarga se obtiene la ecuación diferencial.

$$L \frac{di}{dt} + iR = 0 \quad (15)$$

Resolviendo la ecuación (15), tenemos:

$$i = \frac{\varepsilon}{R} e^{-\frac{t}{\tau_L}} \quad (16)$$

La gráfica en este caso es la que se muestra en la **Figura (10)**.

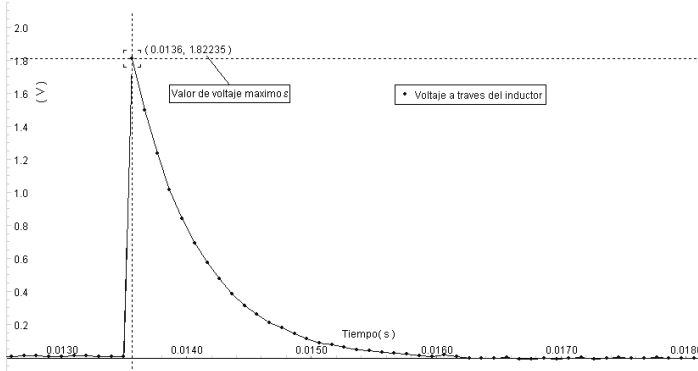


**Figura (10)** Variación de la corriente respecto al tiempo en el proceso de descarga.

El voltaje en el circuito lo podemos obtener derivando la corriente con respecto al tiempo y empleando la expresión dada por la ley de Faraday, esto es:

$$\varepsilon_L = \varepsilon e^{-\frac{t}{\tau_L}} \quad (17)$$

La gráfica en este caso es la que se muestra en la **Figura (11)**.



**Figura (11)** Variación del voltaje respecto al tiempo en el proceso de descarga.

#### IV. MATERIALES Y EQUIPOS

Nº	DESCRIPCION	CODIGO	CANTIDAD
1	Computadora personal		1
2	Interfase Science Workshop 750		1
3	Amplificador de potencia	CI-6552A	1
4	Sensor de voltaje	CI-6503	1
5	Sensor de carga	CI-6555	1
6	Laboratorio electrónico AC/DC	EM-8656	1
7	Condensador 330 $\mu$ F		1
8	Resistencia 100 $\Omega$		1
9	Multimetro digital		1

#### V. PROCEDIMIENTO Y ACTIVIDADES

##### Procedimiento para Configuración de Equipos y Accesorios

- Verificar la conexión y encendido de la interface.
- Ingresar al programa Data Studio y seleccionar “*crear experimento*”.
- Activar el “*amplificador de potencia*”, el “*sensor de carga*” y el “*sensor de voltaje*”, la configuración de voltaje y señal son específicas para cada experiencia a realizar.
- Genere una grafica voltaje vs. tiempo, carga vs, tiempo y corriente vs. tiempo.
- Mida con ayuda del multimetro la resistencia del inductor.

##### Primera Actividad (Circuito RC)

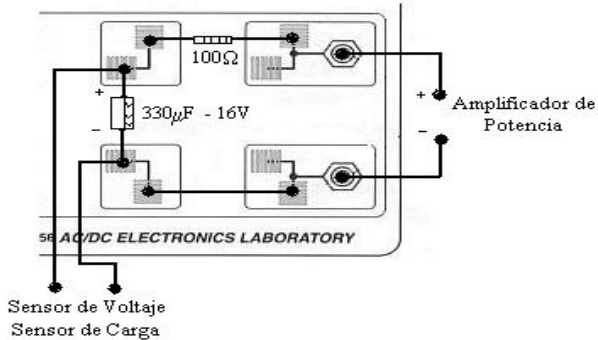
- Cierre el circuito con un capacitor de 330 $\mu$ F-16V y una resistencia de 100 $\Omega$  ambas conectadas en serie, empleando para ello los cables de conexión proporcionados.
- Realice el montaje tal como se muestra en la **Figura (12)**.
- Conecte los terminales del amplificador en las entradas del laboratorio electrónico.
- Conecte el sensor de voltaje a la interface y genere una grafica voltaje-tiempo.
- Conecte el sensor de carga a la interface y genere una grafica carga-tiempo; realice la calibración de este sensor indicando una ganancia de 1x (Switch en la parte superior).
- Las terminales de los sensores de carga y voltaje deben conectarse en los extremos del capacitor; esto debe hacerse respetando la polaridad del condensador.
- El selector de voltaje del amplificador debe colocarse a 4.0V, indicando una onda cuadrada positiva de 0.4 Hz, seleccione una frecuencia de muestreo de 1000Hz.
- En la ventana de configuración establezca detención automática en 4.0 segundos.
- Con el amplificador de potencia encendido, pulse el botón “*Inicio*” para iniciar la toma de datos, el programa detendrá automáticamente el proceso de registro.
- Usando la *herramienta inteligente* determine  $t_{1/2}$  para el proceso de carga; luego registre los valores máximos de carga y voltaje.
- Anote sus datos en la **Tabla (1)**. Repita el paso (i) cinco veces y calcule el promedio.
- Determine el error porcentual sobre el promedio de los valores máximos de carga y voltaje en el capacitor; emplee los valores conocidos teóricamente.
- Determine el error absoluto y porcentual sobre el valor experimental de la constante de tiempo capacitiva en la carga. Emplee para esto la siguiente ecuación:

$$\tau_{C_{exp}} = \frac{t_{1/2}}{\ln 2} \quad (18)$$

Donde:  $t_{1/2}$ , es el tiempo para que la carga alcance la mitad de su valor máximo (carga) o mínimo (descarga).

El valor teórico de  $\tau_C$ , puede calcularse considerando el valor dado por el fabricante para la Resistencia y el condensador empleados ( $100\Omega$  y  $330\mu F$ ), luego:

$$\tau_{C_{teo}} = RC \quad (19)$$



**Figura (12)** Disposición de equipos primera actividad.

**Tabla (1)** Datos de carga y voltaje vs. tiempo.

Medición	1	2	3	4	5
Carga máx. proceso de carga (C)					
Voltaje máx. proceso de carga (V)					
$t_{1/2}$ (carga)					
Carga máxima promedio(C)			Voltaje máximo promedio(V)		
$\tau_C$ (exp.carga)			$\tau_C$ (teo. carga)		
Error porcentual Carga máxima			Error porcentual Voltaje máximo		
Error absoluto $\tau_C$ Proceso de carga			Error porcentual $\tau_C$ Proceso de carga		

### Segunda Actividad (Circuito RL)

- Cierre el circuito con una resistencia de  $10\Omega$ , conectada en serie con el inductor fijo en la placa del laboratorio AC/DC; emplee para ello, los cables de conexión proporcionados.

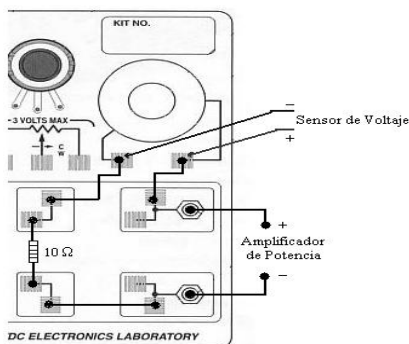
- b. Realice el montaje tal como se muestra en la **Figura (13)**.
- c. Conecte los terminales del amplificador en las entradas del laboratorio electrónico.
- d. Conecte el sensor de voltaje a la interface y genere una grafica voltaje-tiempo.
- e. Las terminales del sensor de voltaje deben conectarse en los extremos del inductor; esto debe hacerse respetando la polaridad de la fuente, a fin de obtener lecturas validas y no con el signo invertido.
- f. El selector de voltaje del amplificador debe colocarse a 3.0V, indicando una onda cuadrada positiva de 50.0Hz, seleccione una frecuencia de muestreo de 10000Hz.
- g. En la ventana de configuración establezca detención automática en 0.04 segundos.
- h. Con el amplificador de potencia encendido, pulse el botón “Inicio” para iniciar la toma de datos, el programa detendrá automáticamente el proceso de registro.
- i. Usando la *herramienta inteligente* determine  $t_{1/2}$  para el proceso de carga; luego registre los valores pico de corriente y voltaje, en este último *debe efectuarse una corrección, restando una unidad durante el proceso de descarga*.
- j. Anote sus datos en la tabla (2).
- k. Repita el paso (h) cinco veces y calcule el promedio.
- l. Determine el error porcentual sobre el promedio de los valores pico de corriente y voltaje en el inductor en la carga; emplee los valores conocidos teóricamente.
- m. Determine el error absoluto y porcentual sobre el valor experimental de la constante de tiempo inductiva en la carga  $\tau_L$ . Emplee para esto la siguiente ecuación:

$$\tau_{L\text{exp}} = \frac{t_{1/2}}{\ln 2} \quad (20)$$

Donde:  $t_{1/2}$ , es el tiempo para que la corriente alcance la mitad de su valor máximo (carga).

El valor teórico de  $\tau_L$ , puede calcularse considerando el valor dado por el fabricante para la inductancia empleada (0.0082 H) y tomando en cuenta el valor resistivo de esta, la resistencia de la inductancia debe medirse con un multímetro. Dado que la resistencia y la inductancia están conectadas en serie sus valores resistivos pueden sumarse sin problema, luego:

$$\tau_{L\text{teo}} = \frac{L}{R} \quad (21)$$



**Figura (13)** Disposición de equipos y accesorios en segunda actividad.

**Tabla (2)** Datos de corriente y voltaje vs. tiempo.

Medición	1	2	3	4	5
Corriente pico proceso de carga(A)					
Voltaje pico proceso de carga (V)					
$t_{1/2}$ (carga)					
Corriente pico Promedio (C)			Voltaje pico Promedio (V)		
$\tau_L$ (exp.carga)			$\tau_L$ (teo. carga)		
Error porcentual Corriente pico			Error porcentual Voltaje pico		
Error absoluto $\tau_L$ proceso de carga			Error porcentual $\tau_L$ proceso de carga		

## VI. CUESTIONARIO

1. En el circuito RC, ¿La constante de tiempo capacitiva de descarga es mayor que la de carga?
2. ¿Es posible que la corriente inicial de carga sea mayor que la de descarga?
3. ¿Puede existir carga en las placas de un condensador aunque no este conectado a una batería?
4. ¿Qué sucede con el campo eléctrico entre dos placas paralelas conductoras cargadas y aisladas entre si, si se conectan por medio de un alambre de cobre delgado?
5. ¿Qué factores en su opinión afectaron los valores experimentales obtenidos en la primera y segunda actividad?
6. Tomando en cuenta los datos para la inductancia dados por el fabricante y los obtenidos de la geometría del solenoide, calcule el error absoluto y porcentual para la inductancia.
7. Usando la ecuación (5), determine la energía almacenada en forma de campo magnético al interior del solenoide durante el proceso de carga en la segunda actividad.
8. ¿Qué ocurre con la autoinducción en la bobina si se introduce un núcleo ferromagnético?, ¿Qué sucede con la permeabilidad magnética?
9. ¿Cómo podría calcularse la densidad de energía debida al campo magnético terrestre?
10. ¿Cual es la función de un inductor en un circuito oscilador?

## 10. CIRCUITOS DE CORRIENTE ALTERNA

### I. INTRODUCCIÓN

En sesiones previas se demostró que cuando un arreglo de conductores se coloca frente a un campo magnético variable, se produce en estos una f.e.m. que varía según lo hace el campo inductor. Bajo el mismo principio se diseñan los generadores de corriente alterna, con la variante de que es el agrupamiento de conductores el que se mueve y no el campo magnético, que en este caso es uniforme; en esta sesión, supondremos que la forma de la f.e.m. de un alternador es una sinusoidal perfecta y analizaremos el comportamiento de circuitos frente a esta f.e.m. que varía con el tiempo.

### II. OBJETIVOS

Mediante el desarrollo de esta experiencia es posible lograr lo siguiente:

- Determinar experimentalmente la reactancia inductiva, capacitiva y la impedancia de un circuito RLC sometido a una f.e.m. alterna.
- Obtener experimentalmente los valores eficaces para la intensidad y f.e.m. en un circuito RLC sometido a una diferencia de potencial alterna.
- Determinar la frecuencia de resonancia del circuito RLC.

### III. FUNDAMENTO TEÓRICO

Iniciamos esta sesión asumiendo que existe de antemano un dispositivo capaz de proporcionarnos una f.e.m. alterna al cual denominaremos alternador.

#### III.1 Alternador

Este dispositivo es el prototipo de los generadores industriales de corriente alterna, en la figura (1), se muestran las estructuras del inductor y del inducido. Alrededor de la circunferencia interna del estator hay cierto número de polos. Como cada conductor situado sobre la superficie del inducido o rotor corta el campo magnético, se produce en él una f.e.m. inducida en cierto sentido cuando el conductor pasa frente a un polo norte, y en sentido opuesto cuando pasa frente a un polo sur. La f.e.m. inducida es por lo tanto alterna, y el número de ciclos completos en cada vuelta es igual al número de pares de polos.

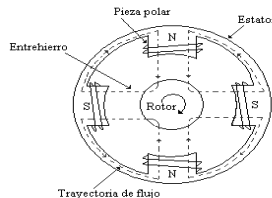


Figura (1) Alternador tetrapolar.

La forma de la f.e.m. es una sinusoidal perfecta dada por:

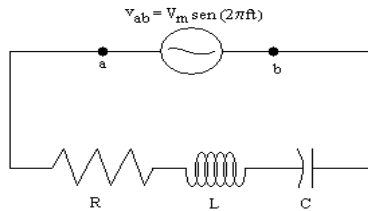
$$v = V_m \text{sen}(2\pi ft) \quad (1)$$

Siendo  $V$  la diferencia de potencial instantánea;  $V_m$  la diferencia de potencial máxima, y  $f$ , la frecuencia, igual al numero de revoluciones por segundo del rotor multiplicado por el numero de pares de polos, en la mayoría de los alternadores  $f = 60 \text{ ciclos/seg}$ .

El producto  $2\pi f$  se denomina frecuencia angular y se representa por  $\omega$ . Para un alternador bipolar sencillo,  $\omega$  es igual a la velocidad angular real del rotor en radianes/seg.

### III.2 Circuito RLC sometido a corriente alterna

Sea un circuito constituido por una resistencia, una autoinducción y un condensador, conectados en serie entre los bornes de un alternador, como se muestra en la **Figura (2)**.



**Figura (2)** Circuito RLC.

La diferencia de potencial instantánea entre a y b es igual a la suma de las diferencias de potencial instantáneas entre los bornes de R, L y C esto es:

$$V_{ab} = V_m \text{sen}(\omega t) = Ri + L \frac{di}{dt} + \frac{q}{C} \quad (2)$$

Derivando esta ecuación respecto a t, y sustituyendo dq/dt por i se obtiene:

$$\omega V_m \cos \omega t = R \frac{di}{dt} + L \frac{d^2i}{dt^2} + \frac{i}{C} \quad (3)$$

Su solución se compone de la suma de una intensidad estacionaria y de una intensidad transitoria. La corriente transitoria se amortigua exponencialmente, como la corriente de carga de un condensador, y, aunque en la práctica las intensidades y las diferencias de potencial transitorias pueden presentar interés, consideraremos únicamente la solución correspondiente al estado estacionario.

$$i = \frac{V_m}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}} \text{sen}(\omega t - \phi) = \frac{V_m}{Z} \text{sen}(\omega t - \phi) = I_m \text{sen}(\omega t - \phi) \quad (4)$$

y

$$\phi = \arctan \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R} \quad (5)$$

donde  $Z$  es la impedancia del circuito.

Las reactancias inductiva ( $X_L$ ) y la capacitiva ( $X_C$ ) se escribe según:



$$X_L = \omega L \quad (6)$$

$$X_C = \frac{1}{\omega C} \quad (7)$$

la corriente alcanzará su valor máximo cuando el circuito sea llevado a una frecuencia que denominaremos de resonancia, esta dado por:

$$\omega_{res} = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (8)$$

Para esta frecuencia los valores de reactancia tanto capacitiva como inductiva se igualan, es decir:  $X_L = X_C$ , siendo además que la impedancia  $Z$  es numéricamente igual a  $R$ , esto quiere decir que alcanza su valor mas bajo.

### III.2.1 Valores eficaces

Los valores instantáneos de una intensidad, f.e.m. ó diferencias de potencial alternas, varían de un modo continuo desde un valor máximo en un sentido, pasando por cero, hasta un máximo en sentido opuesto, y así sucesivamente. El valor eficaz de una intensidad de corriente variable es 0.707 veces su valor máximo y se interpreta como el valor de la corriente constante que desarrollase la misma cantidad de calor en el mismo tiempo y en la misma resistencia. Asimismo el valor eficaz de una diferencia de potencial que varíe sinusoidalmente es 0.707 veces su valor máximo, es decir:

$$I_e = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \quad \text{y} \quad V_e = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \quad (9)$$

## IV. MATERIALES Y EQUIPOS

Nº	DESCRIPCION	CODIGO	CANTIDAD
1	Computadora personal		1
2	Interfase Science Workshop 750		1
3	Amplificador de potencia	CI-6552A	1
4	Sensor de voltaje	CI-65031	
5	Laboratorio electrónico AC/DC	EM-8656	1
6	Condensador 100µF		1
7	Resistencia 10Ω		1
8	Cables de conexión		2

## V. PROCEDIMIENTO Y ACTIVIDADES

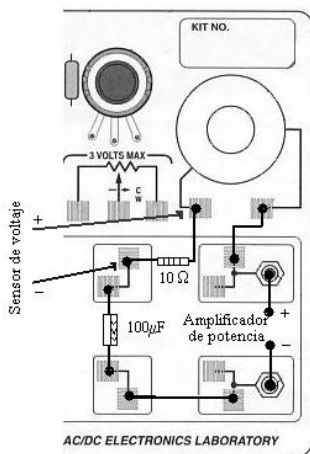
### Procedimiento para Configuración de Equipos y Accesorios

- Verificar la conexión y encendido de la interface.
- Ingresar al programa Data Studio y seleccionar “*crear experimento*”.
- Activar el “*amplificador de potencia*”, en generador de señales, elija una onda senoide de 20Hz y amplitud 3.0V, registre 5000 datos por segundo (5000 Hz).
- Seleccionar el “*sensor de voltaje*” de la lista de sensores y efectuar la conexión a la interface usando los cables para transmisión de datos de acuerdo a lo indicado por Data Studio.
- Establezca detención automática a los 2.0 segundos.

- f. Genere una gráfica de osciloscopio tanto para el voltaje y corriente de salida del amplificador como para el medido por el sensor de voltaje.

### Primera Actividad (Determinación de la frecuencia de resonancia)

- Conecte los terminales del amplificador en las entradas del laboratorio electrónico AC/DC.
- Cierre el circuito con una resistencia de  $10\Omega$ , el inductor fijo en el circuito y un capacitor de  $100\mu\text{F}$  conectadas en serie (debe respetarse la polaridad del capacitor electrolítico), emplee para esta operación los cables de conexión proporcionados.
- Conecte los terminales del sensor de voltaje en los extremos de la resistencia del circuito.
- Verifique la configuración de equipos según se muestra en la **Figura (3)**.
- Encender el amplificador de potencia y pulsar el botón “Inicio”, el registro de datos se detendrá automáticamente.
- Con ayuda de la *herramienta inteligente* determine los valores máximos de voltaje de salida y a través del resistor; determine también el valor máximo de corriente.
- Transfiera los datos del osciloscopio y genere la grafica voltaje de salida vs. voltaje del resistor.
- Anote sus datos en la **Tabla (1)**.
- Incremente la frecuencia en  $20\text{Hz}$  y repita los pasos desde (e) hasta (h) hasta alcanzar los  $200\text{Hz}$ .
- Usando la información recogida determine el valor experimental de la frecuencia angular de resonancia y compárelo con el logrado usando la ecuación (8); luego calcule el error absoluto y porcentual; considere  $L = 0.0082\text{H}$ .
- Calcule el valor eficaz para el voltaje y la corriente a la frecuencia de resonancia y calcule el error porcentual correspondiente.



**Figura (3)** Disposición de equipos y accesorios primera actividad.

**Tabla (1)** Datos de voltaje y corriente en circuito RLC.

Frecuencia	Voltaje max.	Voltaje max.	Corriente
20			
40			
80			
100			
120			
140			
160			
180			
200			
Frecuencia		Frecuencia	
Error		Error Porcentual	
Valor eficaz		Error Porcentual	
Valor eficaz		Error Porcentual	

## VI. CUESTIONARIO

1. ¿Qué factores determinan las discrepancias entre los valores teóricos y experimentales?
2. ¿Cuál es el valor de la impedancia y la reactancia a la frecuencia de 40Hz?
3. ¿Cuál es el ángulo de fase entre el voltaje y la corriente para la frecuencia de 180Hz?, ¿Por qué?
4. ¿A que se debe que la impedancia de un circuito en serie RLC dependa de la frecuencia?
5. ¿Qué ocurrirá si se conecta el circuito a un generador de voltaje constante en los bornes, pero de frecuencia variable?
6. ¿Cual es el significado físico de la elipse dibujada en la grafica voltaje de salida vs. voltaje en el resistor de la primera actividad, a una frecuencia de 40Hz?
7. ¿Cual es el significado físico de la recta dibujada en la grafica voltaje de salida vs. voltaje en el resistor de la primera actividad, a una frecuencia de 180Hz?
8. Realice una superposición de todas las graficas voltaje de salida vs. voltaje en el resistor obtenidas en la primera actividad, ¿Cuál es el significado físico del cambio en la dirección y excentricidad de las elipses dibujadas?
9. ¿Puede usted demostrar con sus resultados experimentales que la diferencia de potencial entre los extremos de la autoinducción esta avanzada  $90^\circ$  respecto a la intensidad?
10. ¿Qué es el efecto skin?

# 11. REFLEXIÓN Y REFRACCIÓN

## I. INTRODUCCIÓN

El trabajo de J. C. Maxwell y desarrollos posteriores de fines del siglo XIX hicieron evidente que la luz tiene naturaleza electromagnética. El concepto moderno describe el transporte de energía en términos de partículas elementales sin masa conocidas como fotones; sin embargo, esto no es siempre de interés práctico en óptica, dado que es imposible distinguir entre cuantos individuales. En esta sesión consideraremos ciertos fenómenos relacionados con la propagación de la luz y su interacción con medios materiales, al progresar a través de varias sustancias, cruzando interfaces y siendo reflejadas y refractadas por el camino.

## II. OBJETIVOS

Mediante el desarrollo de esta experiencia es posible lograr lo siguiente:

- Verificar experimentalmente las leyes de reflexión y refracción.
- Determinar el índice de refracción para el acrílico.
- Observar el comportamiento de los rayos de luz cuando pasan de un medio a otro.
- Determinar experimentalmente el ángulo crítico en la reflexión total.

## III. FUNDAMENTO TEÓRICO

### III.1 ley de reflexión y refracción

Cuando un rayo de luz pasa de un medio a otro y su velocidad de propagación es distinta en estos dos medios, se produce un cambio en la dirección de propagación del rayo de luz: a este cambio de dirección se le llama refracción y puede darse en los tres casos de la figura siguiente. Notar que en el único caso en el que, aun habiendo cambio de medio y de velocidad de propagación de la luz, no se produce refracción es cuando la luz incide en perpendicular (o normalmente) sobre la superficie de separación de los dos medios.

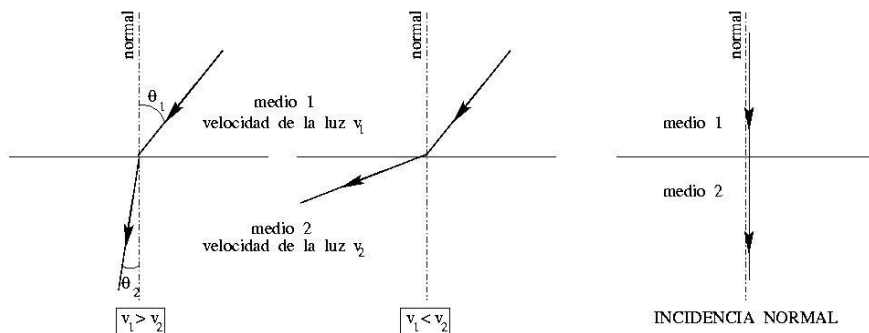


Figura 1 Reflexión y refracción

En cambio al hablar de la velocidad de propagación de la luz en un medio se puede equivalentemente hablar del índice de refracción  $n$  de un medio, que se define como.

$$n = \frac{\text{velocidad } c \text{ de la luz en el vacío}}{\text{velocidad } v \text{ de la luz en el medio}}, \quad (1)$$

y así la ley que describe la refracción viene dada por:

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (2)$$

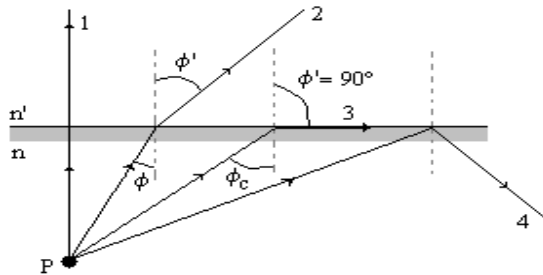
siendo  $\theta_1$  y  $\theta_2$  respectivamente el ángulo que forma el rayo incidente y el rayo refractado con la normal o perpendicular a la superficie de separación entre los dos medio. A la ecuación (2) se le llama ley de Snell y su comprobación experimental es uno de los objetivos de esta práctica. A mayor índice de refracción, más refringente es el medio, es decir, más desvía la dirección de propagación de la luz con respecto a la dirección del rayo incidente.

### III.2. Reflexión Total

La **Figura (3)** muestra cierto numero de rayos que parten de un manantial puntual **P** en un medio de índice  $n$  e inciden sobre la superficie de un segundo medio de índice  $n'$ , siendo  $n > n'$ . Según la ley de Snell,

$$\sin \phi' = \frac{n}{n'} \sin \phi \quad (3)$$

Puesto que  $\frac{n}{n'}$  es mayor que uno,  $\sin \phi'$  es mayor que  $\sin \phi$ , e igual, evidentemente, a la unidad (es decir,  $\phi' = 90^\circ$ ) para cierto ángulo  $\phi$  menor que  $90^\circ$ . Esto queda ilustrado en la figura para el rayo 3, el cual emerge rasante a la superficie formando un ángulo de refracción de  $90^\circ$ . El ángulo de incidencia para el cual el rayo refractado emerge tangente a la superficie se denomina ángulo límite y se representa en la figura por  $\phi_c$ .



**Figura (2)** Angulo crítico y reflexión total.

Si el ángulo de incidencia fuese mayor que el ángulo limite, el seno del ángulo de refracción calculado por la ley de Snell seria mayor que la unidad. Esto se interpreta diciendo que los rayos que inciden con un ángulo superior al límite no pasan al otro medio, sino que son reflejados totalmente en la superficie de separación. La reflexión total solo puede tener lugar cuando un rayo incide sobre la superficie de un medio cuyo índice es menor que el medio en el cual se esta propagando.

El ángulo límite para dos sustancias se obtiene haciendo en la ley de Snell,  $\phi' = 90^\circ$ , ó sea,  $\sin \phi' = 1$ . Tenemos entonces:

$$\sin \phi_c = \frac{n'}{n} \quad (4)$$

El ángulo límite de la superficie de separación aire-vidrio, tomando como valor típico para el índice de refracción del vidrio 1.5, es:

$$\text{sen}\phi_c = \frac{1}{1.5} = 0.67 \Rightarrow \phi_c = 42^\circ \quad (5)$$

#### IV. MATERIALES Y EQUIPOS

Nº	DESCRIPCION	CODIGO	CANTIDAD
1	Computadora personal		1
2	Interfase Science Workshop 750		1
3	Set de demostración de rayos ópticos	SE-8505	1
4	Láser ray box	SE-8506	1
5	Papel milimetrado		2
6	Plantilla angular en grados sexagesimales		1
7	Calibrador vernier		1

**Nota: LA RADIACIÓN LÁSER ES PELIGROSA PARA LA VISTA. NO MIRAR DIRECTAMENTE AL RAYO LÁSER**

#### V. PROCEDIMIENTO Y ACTIVIDADES

##### Procedimiento para Configuración de Equipos y Accesorios

- Conectar la caja de rayos láser (SE-8506) a la fuente de alimentación de 9V.
- Verificar la conexión de la fuente de 9V a la red domestica de 220V.
- Comprobar el estado de los siguientes accesorios:
  - Espejos cóncavo, convexo y plano
  - Lente plano cóncavo, plano y plano convexo
  - Placas plano paralelas
  - Rejilla para caja de rayos láser.
  - Plantilla graduada en grados sexagesimales

##### Primera Actividad (Reflexión en espejos planos, cóncavos y convexos)

- Sítue el espejo plano a 20 cm., de la caja de rayos láser, de manera que el centro del espejo y de la caja coincidan, ver **Figura (3a)**.
- Ambos la caja de rayos y el espejo deben estar sobre la plantilla graduada al mismo nivel.
- Posicione la rejilla tal como se muestra en la **Figura (3a)**, esto para permitir el paso de solo un rayo.
- Asegurese de retirar los ojos de la línea del rayo láser y encienda la caja moviendo el interruptor ubicado en la parte trasera.
- Determine el ángulo de incidencia y reflexión.
- Rote el espejo 20 grados alrededor de su eje central y en sentido antihorario, luego repita el paso (e), realice esta operación hasta completar 80 grados de rotación.
- Anote sus datos en la **Tabla (1)**.

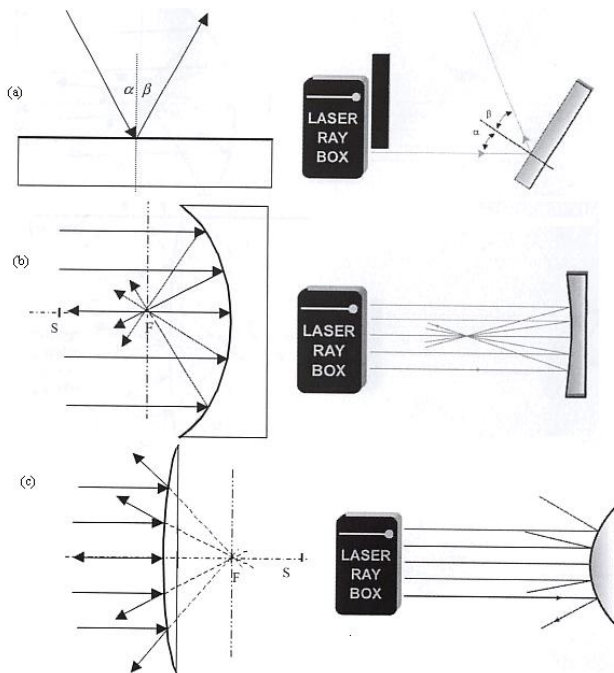
- h. Reemplace el espejo plano por el espejo cóncavo
- i. Sitúe el espejo cóncavo a 20cm., de la caja de rayos láser, de manera que el centro del espejo y de la caja coincidan, ver **Figura (3b)**.
- j. Ambos la caja de rayos y el espejo deben estar sobre la hoja de papel milimetrado al mismo nivel; luego, retire la rejilla de bloqueo.
- k. Asegurese de retirar los ojos de la línea del rayo láser y encienda la caja moviendo el interruptor ubicado en la parte trasera.
- l. Marque el punto de intersección de los rayos reflejados y determine la distancia al espejo esta distancia es f (distancia focal); luego emplee la siguiente formula:

$$r = 2f \quad (6)$$

- m. Usando la fórmula anterior calcule r (radio de curvatura del espejo), y anote su resultado en la **Tabla (1)**.
- n. Verifique que para cada rayo reflejado se cumple que el ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión.
- o. Reemplace el espejo plano por el espejo convexo
- p. Sitúe el espejo convexo a 20cm., de la caja de rayos láser, de manera que el centro del espejo y de la caja coincidan, ver **Figura (3c)**.
- q. Ambos la caja de rayos y el espejo deben estar sobre la hoja de papel milimetrado al mismo nivel.
- r. Asegurese de retirar los ojos de la línea del rayo láser y encienda la caja moviendo el interruptor ubicado en la parte trasera.
- s. Proyecte hacia atrás las direcciones seguidas por los rayos reflejados; luego, marque el punto de intersección y determine la distancia focal.
- t. emplee la ecuación (6) y calcule el radio de curvatura del espejo.
- u. Verifique que para cada rayo reflejado se cumple que el ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión.
- v. Anote su resultado en la **Tabla (1)**.

**Tabla (1)** Datos registrados de ángulos de incidencia, reflexión y radio de curvatura

<b>Primera Actividad</b>				
Espejos planos	1	2	3	4
Angulo de incidencia				
Angulo de Reflexión				
Espejo Cóncavo	Distancia Focal (cm.)		Radio de Curvatura (cm.)	
Espejo Convexo	Distancia Focal (cm.)		Radio de Curvatura (cm.)	

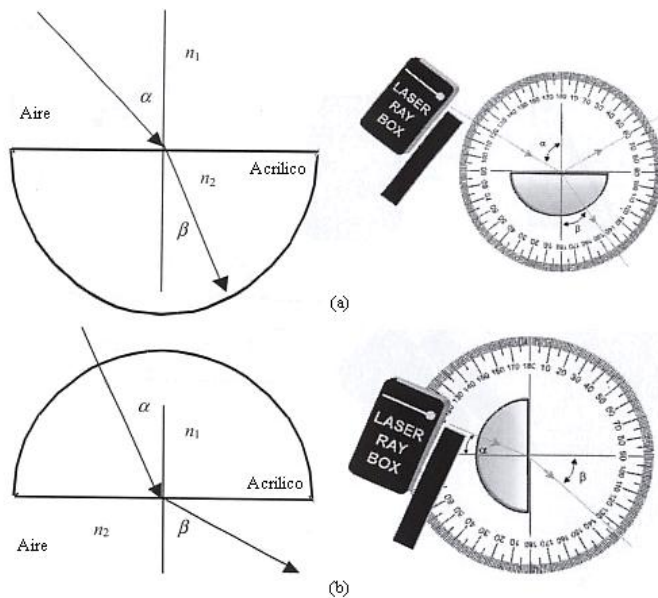


**Figura (3)** Configuración de equipos y accesorios primera actividad.

### Segunda Actividad (Refracción aire-Acrílico, Acrílico-aire)

- Sitúe el bloque semicircular de acrílico a 5 cm., de la caja de rayos láser.
- Ambos la caja de rayos y el bloque deben estar sobre la plantilla graduada al mismo nivel.
- Posicione la rejilla tal como se muestra en la **Figura (4a)**, esto para permitir el paso de solo un rayo.
- Asegurese de retirar los ojos de la línea del rayo láser y encienda la caja moviendo el interruptor ubicado en la parte trasera.
- Rote la caja de rayos 30 grados alrededor de su eje central y en sentido antihorario; luego, determine el ángulo de incidencia, reflexión y transmisión.
- Usando la ecuación (2), calcule el índice de refracción del material que compone el bloque transparente, recuerde que el índice de refracción del aire es muy aproximadamente igual a la unidad.
- Repita el proceso variando el ángulo de incidencia en 5 grados hasta completar 45 grados.
- Anote sus datos en la **Tabla (2)**.
- Repita los pasos desde (a) hasta (h) pero esta vez el rayo debe incidir al bloque desde la parte anterior, tal como se muestra en la **Figura (4b)**.
- Una vez calculado el índice de refracción para cada medida angular propuesta, calcule el promedio y el error porcentual correspondiente.





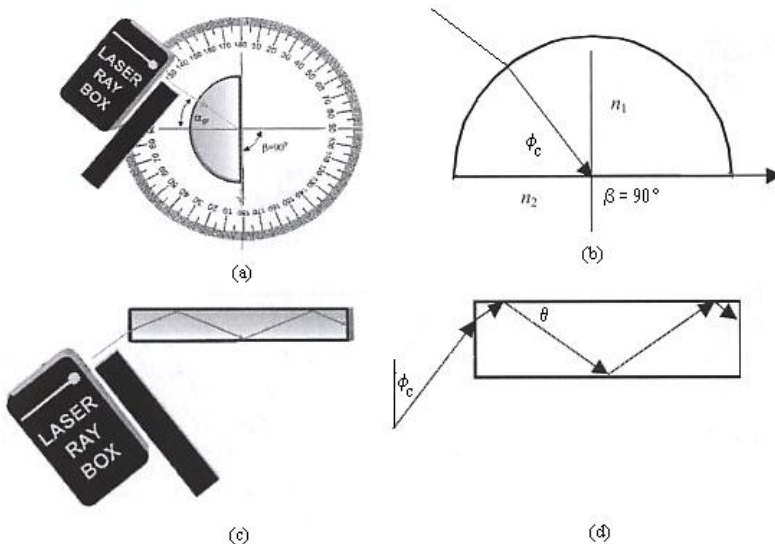
**Figura (4)** Configuración de equipos y accesorios segunda actividad.

**Tabla (2)** Datos registrados de ángulos e índice de refracción.

SEGUNDA ACTIVIDAD					
Aire-Acrílico	1	2	3	4	
Angulo de incidencia					
Angulo de Reflexión					
Angulo de Transmisión					
Acrílico-Aire	1	2	3	4	
Angulo de incidencia					
Angulo de Reflexión					
Angulo de Transmisión					
Índice de Refracción Experimental (prom.)		Índice de Refracción Teórico	1.5	Error Porcentual	

### Tercera Actividad (Angulo crítico y reflexión total)

- Sitúe el bloque semicircular sobre la platilla graduada en grados sexagesimales.
- Con la rejilla colocada en la caja de rayos láser, haga incidir el haz en un ángulo inicial de 40 grados respecto a la horizontal apuntando hacia el origen de coordenadas, tal como se muestra en la **Figura (5a)**.
- Varié el ángulo de incidencia hasta que el haz de salida forme  $90^\circ$  respecto a la horizontal, tal como se muestra en la **Figura (5b)**.
- Anote el valor angular para el cual se produce este efecto, y anótelolo como el ángulo crítico  $\phi_c$  para el material empleado.
- Compare este valor con el propuesto teóricamente en la ecuación (5); luego, calcule el error absoluto y porcentual.
- Anote sus datos en la **Tabla (3)**.
- Retire el bloque semicircular y coloque en su lugar el material de fibra óptica.
- Con la rejilla colocada en la caja de rayos láser, haga incidir el haz en un ángulo inicial igual al ángulo crítico hallado, tal como se muestra en la **Figura (5c)**.
- Verifique el ángulo de reflexión al interior del bloque, para el que se produce una reflexión total, tal como se muestra en la **Figura (5d)**
- Calcule el seno del ángulo de entrada de la luz en la fibra, este corresponderá al *parámetro de apertura numérica* para la fibra empleada.



**Figura (5)** Configuración de equipos y accesorios tercera actividad.

**Tabla (3)** Datos registrados de ángulos de incidencia, reflexión y radio de curvatura

Tercera Actividad					
	1	2	3	4	5
Angulo de incidencia	40	41	42	43	44
Angulo de reflexión al interior del bloque					
Angulo crítico $\phi_c$		Error Absoluto		Error Porcentual	
Angulo de entrada del haz en la fibra		Angulo de reflexión total		Apertura numérica	

## VI. CUESTIONARIO

1. Del análisis de la **Tabla (1)**, ¿Qué relación encuentra entre los ángulos de incidencia y reflexión?
2. ¿Qué puede afirmar respecto a la posición del rayo incidente, el reflejado y la normal?
3. ¿Cree usted que la reflexión de la luz se puede explicar, concibiendo la luz como de naturaleza corpuscular?
4. ¿Qué principio se podría establecer en el juego de billar, cuando las bolas chocan contra las bandas de la mesa sin efecto?
5. De los datos obtenidos de la **Tabla (2)**, ¿Qué puede afirmar acerca de la difracción de los rayos incidente y refractado cuando la luz pasa del aire al acrílico incidiendo con un ángulo de  $0^\circ$ ?
6. De los datos obtenidos en la **Tabla (2)** ¿Qué puede afirmar acerca de los ángulos de incidencia y refracción?, ¿Existe alguna diferencia entre sus valores?, ¿Es constante esta diferencia?
7. Construya una grafica de los valores de  $\theta_i$  en función de  $\theta_r$ , ¿Qué observa?
8. Construya una grafica de los valores de  $\sin \theta_i$  en función de  $\sin \theta_r$ , ¿Qué observa?
9. A partir de la grafica determine el valor experimental del índice de refracción del material empleado.
10. Usando el valor experimental para el índice de refracción del material, y la ecuación (1), calcule el valor de la velocidad de propagación de la luz láser en el acrílico, ¿Cuál es el porcentaje respecto a la velocidad de la luz?
11. ¿Por qué un prisma de porro es tan utilizado en instrumentos ópticos?
12. ¿Qué factores en su opinión afectaron los valores registrados en la **Tabla (3)**?
13. ¿El radio de una fibra óptica debe ser considerado en función del índice de refracción del material que la compone?, ¿Por qué?
14. ¿De que manera se transmite información a través de una fibra óptica?

## 12. LENTES

### I. INTRODUCCIÓN

Sin duda el sistema óptico más usado es la lente y eso debido al hecho de que vemos el mundo a través de un par de ellas. Las lentes se remontan hasta los vidrios quemadores de la antigüedad y en efecto, ¿Quién puede decir cuando el primer hombre miró a través de la lente líquida formada por una gota de agua?; esta sesión, tratará de la manipulación controlada de los frentes de onda (o rayos) por medio de la interposición de cuerpos refractores, despreciando cualquier efecto de difracción.

### II. OBJETIVOS

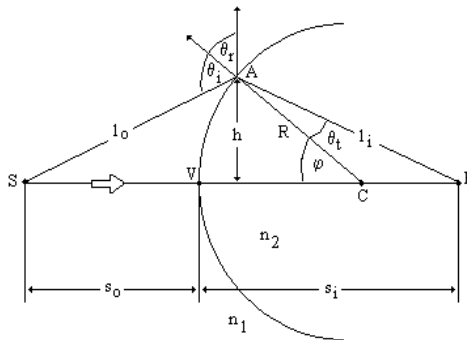
Mediante el desarrollo de esta experiencia es posible lograr lo siguiente:

- Verificar experimentalmente la ecuación de las lentes delgadas.
- Estudiar la formación de imágenes finitas y determinar el aumento de la lente.
- Localizar experimentalmente los puntos y planos focales para lentes bicóncavas y biconvexas.
- Demostrar el funcionamiento de instrumentos ópticos simples.

### III. FUNDAMENTO TEÓRICO

#### III.1 Refracción en superficies esféricas

La **Figura (1)** muestra una onda que parte de la fuente puntual  $S$  y que llega a una interface esférica de radio  $R$  centrada en  $C$ . El rayo  $SA$  será refractado en la interface hacia la normal local ( $n_2 > n_1$ ), de modo que las ondas se mueven más lentamente en el segundo medio, solo los rayos paraxiales convergen en un punto.



**Figura (1)** Refracción en una superficie esférica.

Aplicando la ley de Snell de la refracción puede deducirse una ecuación que relaciona la distancia imagen a la distancia objeto, al radio de curvatura y los índices de refracción, si se utilizan las aproximaciones de los ángulos pequeños, se encuentra la siguiente ecuación.

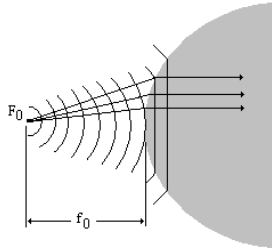
$$\frac{n_1}{s_0} + \frac{n_2}{s_i} = \frac{n_2 - n_1}{R} \quad (1)$$

Los rayos que llegan con ángulos pequeños con respecto al eje óptico se conocen como *rayos paraxiales*, el segmento del frente de onda saliente que corresponde a estos rayos paraxiales es esencialmente esférico y formara una imagen perfecta en su centro P colocado en  $s_i$ .

Si el punto  $F_0$  en la **Figura (2)** tiene su imagen en el infinito ( $s_i = \infty$ ) tenemos:

$$\frac{n_1}{s_0} + \frac{n_2}{\infty} = \frac{n_2 - n_1}{R} \Rightarrow f_0 = \frac{n_1}{n_2 - n_1} R \quad (2)$$

Esta distancia objeto especial se define como *la primera distancia focal* ó *distancia focal objeto*  $s_0 \equiv f_0$ .

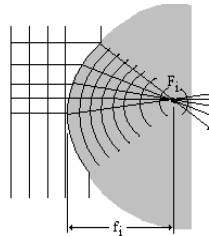


**Figura (2)** Ondas planas propagándose más allá de una interfase esférica.

El punto  $F_0$  se conoce como *primer foco* ó *foco objeto*. Similarmente el *segundo foco* ó *foco imagen* es el punto axial  $F_i$  donde la imagen se forma cuando  $s_0 = \infty$ , esto es:

$$\frac{n_1}{\infty} + \frac{n_2}{s_i} = \frac{n_2 - n_1}{R} \Rightarrow f_i = \frac{n_2}{n_2 - n_1} R \quad (3)$$

Definiendo la *segunda distancia focal* ó *imagen focal*  $f_i$  como la distancia  $s_i$  en este caso especial ver **Figura (3)**, tenemos:

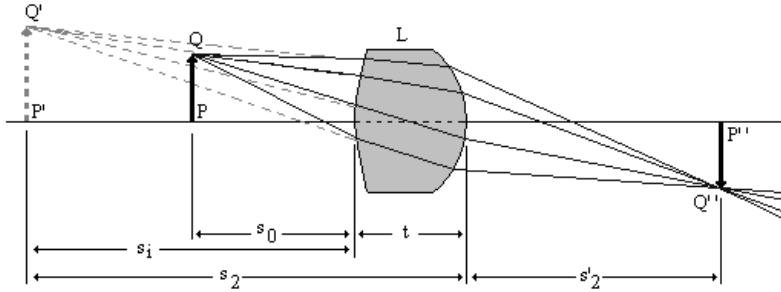


**Figura (3)** Reformando ondas planas a esféricas en una interface esférica.

### III.2 Ecuación de las lentes delgadas

Una lente es un sistema óptico limitado por dos superficies refringentes que tienen un eje común. El problema general de la refracción para una lente se resuelve aplicando sucesivamente a cada superficie el método visto anteriormente, siendo el objeto para la segunda superficie, la imagen formada por la primera. La **Figura (4)**. Muestra un pincel de rayos que divergen desde el punto  $Q$  de un objeto  $PQ$ . La primera superficie de la lente  $L$  forma una imagen virtual de  $Q$  en  $Q'$ , y esta imagen virtual sirve como objeto real para la segunda superficie de la lente, que forma una imagen real de  $Q'$  en  $Q''$ . La distancia  $s_0$  es la distancia objeto para la primera superficie.

La distancia  $s_i$  es la distancia imagen correspondiente. La distancia objeto para la segunda superficie es  $s_2$ , igual a la suma de  $s_i$  y del espesor  $t$  de la lente y  $s_2'$  es la distancia imagen para la segunda superficie.



**Figura (4)** La imagen formada por la primera superficie de una lente sirve de objeto para la segunda superficie.

Si la lente es tan delgada que su espesor  $t$  es despreciable comparado con las distancias  $s_0$ ,  $s_i$ ,  $s_2$  y  $s_2'$ , podemos suponer que  $s_i = s_2$  y medir las distancias objeto e imagen desde cada vértice de la lente ó desde su centro. Supondremos también que el medio existente a ambos lados de la lente es aire, de índice de refracción  $1$ . Para la primera refracción, la ecuación (1) se convierte en:

$$\frac{1}{s_0} + \frac{n}{s_i} = \frac{n-1}{R_1} \quad (4)$$

La refracción en la segunda superficie conduce a:

$$\frac{n}{s_2} + \frac{1}{s_2'} = \frac{1-n}{R_2} \quad (5)$$

Sumando ambas ecuaciones, y puesto que la lente es tan delgada que  $s_2 = -s_i$ , se obtiene:

$$\frac{1}{s_0} + \frac{1}{s_2'} = (n-1) \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) \quad (6)$$

La *distancia focal* de una lente delgada puede definirse como: *la distancia objeto de un punto objeto sobre el eje de la lente, cuya imagen se forma en el infinito*. Es evidente de la ecuación (10) que para una lente delgada  $f_i = f_0$  y consecuentemente podemos eliminar totalmente los subíndices. Entonces:

$$\frac{1}{f} = (n - 1) \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) \quad (7)$$

Luego:

$$\frac{1}{s_0} + \frac{1}{s_2'} = \frac{1}{f} \quad (8)$$

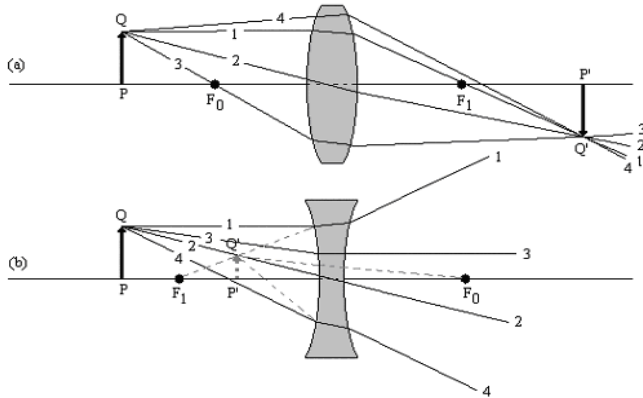
Esta es la famosa *formula gaussiana para las lentes*.

### III.3 Método Gráfico para formación de imágenes

La posición y tamaño de la imagen de un objeto, formada por una lente delgada, pueden hallarse por un método gráfico sencillo. Este método consiste en determinar el punto de intersección, después de atravesar la lente, de algunos rayos que parten de un punto dado del objeto. Entonces despreciando las aberraciones de la lente todos los rayos procedentes de este punto, que atraviesan la lente, se cortaran en el mismo punto imagen. Al utilizar el método gráfico, se supone que la desviación de cualquier rayo tiene lugar en un plano que pasa por el centro de la lente. Hay tres rayos cuyas trayectorias pueden dibujarse fácilmente, y son los representados en la figura (5).

- *Rayo paralelo al eje.*- Después de refractarse en la lente, este rayo pasa por el foco imagen de una lente convergente, ó parece venir del foco imagen de una lente divergente.
- *Rayo que pasa por el centro de la lente.*- Este rayo no es desviado apreciablemente, ya que las dos superficies de la lente a través de las cuales pasa el rayo central son aproximadamente paralelas si la lente es delgada.
- *Rayo que pasa por (ó se dirige hacia) el foco objeto.*- Este rayo emerge paralelamente al eje.

Si se ha encontrado la posición del punto imagen por medio de la intersección de dos cualesquiera de los rayos 1, 2 ó 3, pueden dibujarse las trayectorias de todos los demás rayos que proceden del mismo punto, como la del rayo 4 de la figura (5).



**Figura (5)** Método gráfico para obtener una imagen.

#### IV. MATERIALES Y EQUIPOS

Nº	DESCRIPCION	CODIGO	CANTIDAD
1	Computadora personal		1
2	Interfase Science Workshop 750		1
3	Ray Optics Demonstration Set	SE-8505	1
4	Láser ray box	SE-8506	1
5	Papel milimetrado		2
6	Plantilla angular en grados sexagesimales		1
7	Calibrador vernier		1

#### V. PROCEDIMIENTO Y ACTIVIDADES

##### Procedimiento para Configuración de Equipos y Accesorios

- Conectar la caja de rayos láser (SE-8506) a la fuente de alimentación de 9V.
- Verificar la conexión de la fuente de 9V a la red domestica de 220V.
- Comprobar el estado de los siguientes accesorios:
  - Lentes bicóncavo y biconvexo.
  - Rejilla para caja de rayos láser.

##### Primera Actividad (Planos focales, form. imagen y aumento, lente biconvexa)

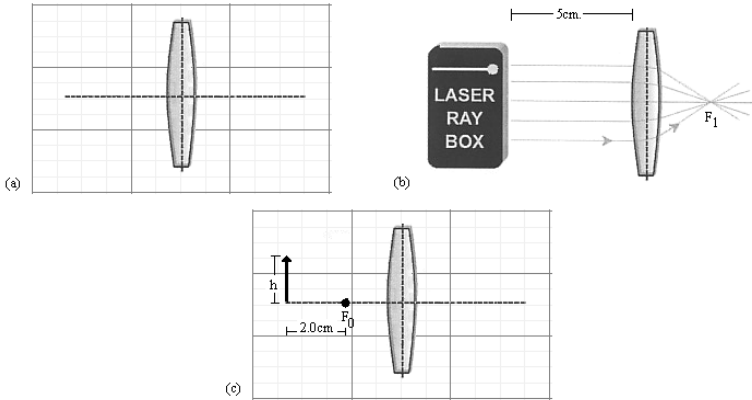
- Mida con el Vernier el alto y ancho de la lente, luego trace sobre una hoja de papel milimetrado una cruz; coloque la lente de manera que su centro coincida con el centro de la cruz trazada sobre el papel, ver **Figura (6a)**.
- Ubique la caja de rayos láser a 5cm. de la lente y marque el punto de intersección de los rayos luego de atravesarla, la distancia a este punto es  $F_1$ , ver **Figura (6b)**.
- Repita la operación posicionando la caja en el otro extremo, la distancia de intersección es ahora  $F_0$ .
- Trace una flecha de altura  $h = 1.5\text{cm}$  sobre el eje óptico a  $2.0\text{cm}$ . de  $F_0$ , esta figura hará las veces del objeto, ver **Figura (6c)**.
- Coloque la rejilla a la caja de rayos láser de modo que se proyecte solo un rayo.
- Ubique la caja en una posición que permita que el rayo se dirija desde el extremo superior de la flecha hacia el lente, ver **Figura (7)**; luego, siga los pasos mencionados en la sección III.3, para los tres rayos requeridos; a continuación, determine el punto en el que se cruzan, marquelo y dibuje una flecha desde el eje óptico hasta el punto de cruce y mida su altura  $h'$ ; esta, será la imagen formada.
- Determine la distancia desde la primera flecha hasta la lente ( $s_0$ ) y luego desde la lente hasta la flecha trazada por la intersección de líneas ( $s_2'$ ).
- Usando la ecuación (8), calcule la distancia focal  $f$ .
- Determine el aumento de la lente usando la siguiente ecuación:
- 

$$m = \frac{h'}{h} \quad (9)$$

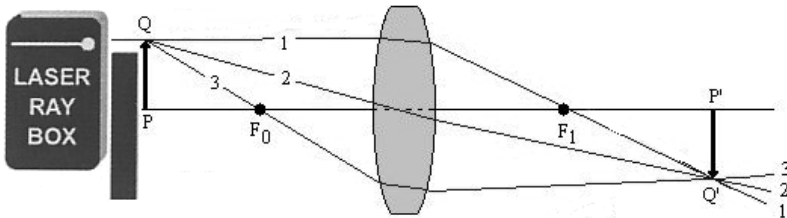


El signo negativo indica que cuando  $s_0$  y  $s_2'$  son positivas, la imagen esta invertida y  $h'$  y  $h$  tienen signos opuestos.

k. Anote sus datos en la **Tabla (1)**.



**Figura (6)** Configuración de equipos y accesorios primera actividad.



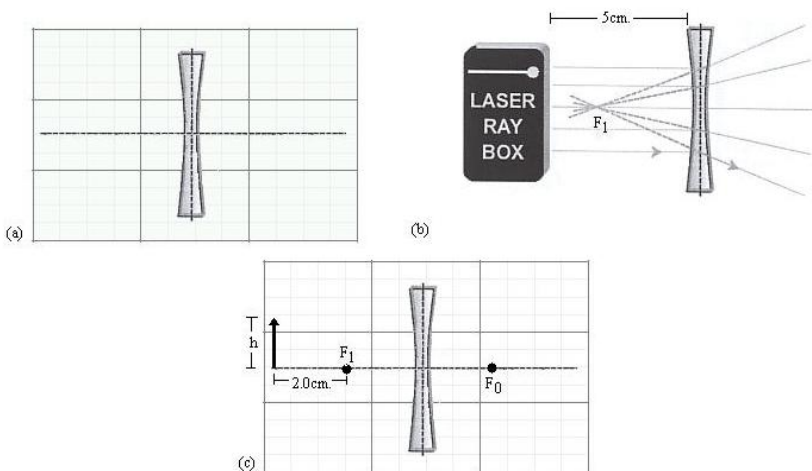
**Figura (7)** Formación de imagen método grafico, lente biconvexa.

**Tabla (1)** Planos focales, imagen y aumento.

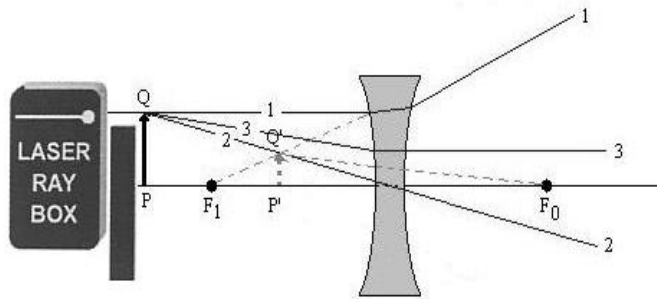
<b>Lente Biconvexa</b>			
Altura objeto ( $h$ )		Plano focal $F_0$	
Altura imagen ( $h'$ )		Plano focal $F_1$	
Distancia focal $f$		$s_0$ (cm.)	
Aumento			

## Segunda Actividad (Planos focales, form. imagen y aumento, lente bicóncava)

- Mida con el Vernier el alto y ancho de la lente, luego trace sobre una hoja de papel milimetrado una cruz; coloque la lente de manera que su centro coincida con el centro de la cruz trazada sobre el papel, ver **Figura (8a)**.
- Ubique la caja de rayos láser a 5cm. de la lente y marque el punto de intersección de la proyección hacia atrás en la dirección de los rayos que la atraviesan, la distancia a este punto es  $F_1$ , ver **Figura (8b)**.
- Repita la operación posicionando la caja en el otro extremo, la distancia de intersección es ahora  $F_0$ .
- Trace una flecha de altura  $h = 1.5\text{cm}$ . sobre el eje óptico a 2.0cm. de  $F_1$ , esta figura hará las veces del objeto, ver **Figura (8c)**.
- Coloque la rejilla a la caja de rayos láser de modo que se proyecte solo un rayo.
- Ubique la caja en una posición que permita que el rayo se dirija desde el extremo superior de la flecha hacia el lente, ver **Figura (9)**; luego, siga los pasos mencionados en la sección III.3, para los tres rayos requeridos; a continuación, determine el punto en el que se cruzan las proyecciones hacia atrás de los rayos salientes, márquelo y dibuje una flecha desde el eje óptico hasta el punto de cruce y mida su altura  $h'$ ; esta, será la imagen formada.
- Determine la distancia desde la primera flecha hasta la lente ( $s_0$ ) y luego desde la lente hasta la flecha trazada por la intersección de líneas ( $s_2'$ ).
- Usando la ecuación (8), calcule la distancia focal  $f$ .
- Determine el aumento de la lente usando la ecuación (9).
- Anote sus datos en la **Tabla (2)**.



**Figura (8)** Configuración de equipos y accesorios segunda actividad.



**Figura (9)** Formación de imagen método grafico, lente bicóncava.

**Tabla (2),** Planos focales, imagen y aumento.

	<b>Lente Bicóncava</b>		
Altura objeto (h)		Plano focal $F_0$	
Altura imagen ( $h'$ )		Plano focal $F_1$	
Distancia focal f		$s_0$ (cm.)	
Aumento			

## VI. CUESTIONARIO

1. Describir las posibles fuentes de error en el experimento.
2. ¿Qué ocurre cuando un objeto esta fuera del alcance del primer punto focal  $F_1$ ?
3. Un objeto colocado en el punto focal de una lente convergente, ¿Qué tipo de imagen produce?
4. ¿Qué significado tiene que la distancia focal sea negativa?
5. Calcular la distancia focal de dos lentes convergentes en contacto.
6. Explicar el mecanismo de la Hipermetropía.
7. Explicar la relación existente entre las longitudes de onda para diferentes rayos de luz y el índice de refracción de una lente.
8. Ubicar por medio de un grafico el punto focal de una lente divergente bicóncava.
9. ¿Es posible obtener con una lente convergente imágenes virtuales con objetos virtuales.
10. ¿Es posible obtener con una lente divergente imágenes reales con objetos reales?

## BIBLIOGRAFIA DE REFERENCIA

- Paúl G. Hewitt. *Física Conceptual*. Novena Edición .Editorial Person Addison Wesley.2004.
- Paul M. Fishbane, Stehen Gasorowicz, Stephen T. Thornton. *Física para Ciencias e Ingeniería*. Volumen II.Printice-Hall Hispanoamericana S.A.1994.
- Serway. *Física* .Tercera edición .Tomo II. Editorial Mc Graw Hill.1993.
- John P. Mckelvey, Howard Grotch. *Física para Ciencias e Ingeniería*.Volumen 2. Editorial Harla.1981.
- J. Aguilar,F. Senent. *Cuestiones de Física*. Editorial Reverte S.A. 1980.
- Arturo Talledo. *Teoría Campos Electromagnéticos*.
- Guías de Física y Química (Colección completa) – Biblioteca Especializada de la Facultad de Ciencias Naturales y Matemática (FCNM). Universidad Nacional del Callao (UNAC). – 2012.