



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN**

*Análisis y desarrollo de prácticas de electromagnetismo dirigido a instructores de docencia experimental.*

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

Presentan:

Benítez Solano Alejandro

Resendiz Lugo Omar Israel

Salgado Estrada Martin

Asesor: M.I. Ramón Osorio Galicia

Cuautitlán Izcalli, Estado de México 2009



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **Agradecimientos**

A mis padres Rogelio Benítez Vega y María Luisa Solano Martínez a quienes aprecio mucho por que me brindaron su confianza y apoyo en mis estudios profesionales, gracias por haberme inculcado los valores que me servirán en mi vida profesional.

A mis hermanos y amigos por acompañarme en las diferentes etapas de mi vida, su presencia ha sido siempre muy importante para mí.

A mis maestros y asesor porque me compartieron su tiempo, sabiduría y dedicación.

A la UNAM por brindarme los recursos necesarios en mi formación profesional y poder trascender orgulloso de pertenecer a esta comunidad, gracias.

**Benítez Solano Alejandro**

## **Agradecimientos**

Le agradezco profundamente a Dios por darme la oportunidad de vivir plenamente, ayudarme a afrontar los retos que se me presentan y alcanzar las metas que me he propuesto.

A mi familia por su grandioso apoyo, cariño y comprensión.

A el M.I Ramón Osorio Galicia por todo su tiempo y apoyo que nos brindo para la realización de este trabajo.

A mis compañeros Alejandro Benítez Solano y Martín Salgado Estrada por ser también parte de este valioso trabajo.

**Resendiz Lugo Omar Israel**

## **Agradecimientos**

A mis padres Fernando Salgado Vélez y Guadalupe Irma Estrada Rodríguez que me han apoyado a lo largo de toda mi vida y siempre cuento con ellos en todo.

A mis hermanos Citlalli y Fernando que siempre ha estado conmigo en las buenas y las malas.

Familia en general especialmente mis primos Cesar y Arturo que siempre hemos estado muy unidos.

Mis amigos Juan Carlos, Abraham, Armando, Omar, Francisco, Sergio y demás amigos que siempre nos la hemos pasado bien todos estos años.

A Sillverb Alejandro, Omar y Pedro mi banda formada con mis amigos, gracias por estar a mi lado en toda la carrera ojala y pudiéramos tocar siempre juntos.

Y a nuestro asesor M.I. Ramón Osorio Galicia gracias por su valiosa ayuda y dedicarnos su tiempo.

UNAM por haberme aceptado y ser una gran parte de los cimientos de mi vida. Gracias.

**Salgado Estrada Martin**

<b>INDICE</b>	<b>Pagina</b>
Introducción	
<b>Capítulo 1: Fundamentos teóricos</b>	<b>1</b>
1.1 Carga eléctrica, campo y potencial eléctrico	1
1.2 Capacitancia y capacitores	11
1.3 Constantes dieléctricas y rigidez dieléctrica	18
1.4 Resistencia óhmica, resistividad y ley de ohm	22
1.5 Fuentes de fuerza electromotriz	25
1.6 Leyes de Kirchhoff y circuitos RC	27
1.7 Campos magnéticos estacionarios	33
1.8 Ley de inducción electromagnética de Faraday	38
1.9 Propiedades magnéticas	42
<b>Capítulo 2: Cuestionarios previos</b>	<b>46</b>
2.1 Carga eléctrica, campo y potencial eléctrico	46
2.2 Capacitancia y capacitores	64
2.3 Constantes dieléctricas y rigidez dieléctrica	75
2.4 Resistencia óhmica, resistividad y ley de ohm	83
2.5 Fuentes de fuerza electromotriz	91
2.6 Uso y manejo del osciloscopio	97
2.7 Leyes de Kirchhoff y circuitos RC	99
2.8 Campos magnéticos estacionarios	107
2.9 Ley de inducción electromagnética de Faraday	113
2.10 Propiedades magnéticas	117
<b>Capítulo 3: Desarrollo experimental de las practicas</b>	<b>128</b>
3.1 Carga eléctrica, campo y potencial eléctrico	128
3.2 Capacitancia y capacitores	142

3.3 Constantes dieléctricas y rigidez dieléctrica	155
3.4 Resistencia óhmica, resistividad y ley de ohm	168
3.5 Fuentes de fuerza electromotriz	188
3.6 Uso y manejo del osciloscopio	198
3.7 Leyes de Kirchhoff y circuitos RC	204
3.8 Campos magnéticos estacionarios	212
3.9 Ley de inducción electromagnética de Faraday	226
3.10 Propiedades magnéticas	232
<b>Capítulo 4: Nuevos experimentos.</b>	<b>242</b>
4.1 Prueba destructiva de capacitores	242
4.2 Puente de Wheatstone básico	244
4.3 Medición de campo magnético con teslametro	253
Conclusiones	257
Bibliografía	258

## INTRODUCCIÓN

La presente tesis forma parte de la actualización de prácticas de la asignatura de Electricidad y Magnetismo. Las prácticas han sido modificadas y actualizadas de acuerdo al programa de la asignatura, dando como resultado la elaboración de diez prácticas, siete cubriendo los temas de Electricidad y tres para los temas de Magnetismo.

Debido a los cambios tecnológicos, se requiere una constante actualización de prácticas y establecimiento de nuevos procedimientos y métodos.

El trabajo está dirigido a los profesores del departamento de física que imparten en el laboratorio la parte experimental de la asignatura de Electricidad y Magnetismo en la carrera de Ingeniero Mecánico Electricista en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. Además servirá de apoyo para las carreras de Ingeniero Químico, Ingeniero en Alimentos, Ingeniero Agrícola y Químicos.

La revisión de las practicas se basa en dos premisas, la primera es considerar el programa de estudios de la asignatura y la segunda es el equipo de nueva adquisición, por lo anterior las prácticas de una edición a otra presentan cambios, estos crean problemas con varios instructores, debido a que no todos los profesores dan la clase teórica y por otra parte un número grande de maestros no pueden asistir a los cursos que se ofrecen sobre el desarrollo de las prácticas, debido a que trabajan tiempo parcial.

Lo anterior lleva a la necesidad de crear un manual que sirva de guía a los profesores del laboratorio, en donde se contemplen cuatro etapas:

- Cuestionario previo.
- Fundamentos teóricos.
- Desarrollo.
- Cuestionario final.

Cuestionario previo: Se contestaron considerando cuando menos cinco posibles respuestas de los diferentes libros de texto y sitios Web.



Fundamentos teóricos: Se presentan los fundamentos teóricos necesarios para que la práctica sea comprendida adecuadamente y pueda servir como guía para el profesor.

Desarrollo experimental: Se desarrollaron las prácticas paso a paso, explicando cómo hacerlo y lo que se espera resulte del experimento, así como la explicación de uso y manejo de equipo nuevo que se utilice para la realización del experimento.

Cuestionario final: La guía muestra las posibles respuestas y da una explicación teórica fundamentando como se lograron los resultados, análisis de estos, graficas y memorias de cálculos.

Por otra parte se propondrán nuevos experimentos ocupando los equipos de reciente adquisición y generando las preguntas de los cuestionarios, los fundamentos teóricos requeridos y la explicación de los procedimientos para su desarrollo.

## CAPITULO 1

### FUNDAMENTOS TEÓRICOS

La asignatura de Electricidad y Magnetismo, se conforma de dos partes la parte teórica y la parte experimental, lo experimental se imparte en el laboratorio a través de una serie de prácticas que cubren los temas del programa de la materia. Aunque en ambas partes se ven los mismos temas por diversas circunstancias existe un desfase entre los temas que se imparten en la teoría con los temas que abarcan las prácticas, lo que puede crear un problema con los alumnos a la hora de realizarlas, debido que aun no han visto la teoría que corresponde a la parte experimental, lo antes mencionado nos hace necesario el tener en cada práctica una introducción teórica, lo que permite al alumno entender los fenómenos a estudiar en la realización de la practica. Estos fundamentos solamente es un resumen de la teoría, tocando los temas puntualmente.

#### 1.1 CARGA ELÉCTRICA, CAMPO Y POTENCIAL ELÉCTRICO

Carga eléctrica y ley de coulomb.

En la naturaleza existen dos tipos de cargas denominados:

Electrones → carga negativa (-)

Protones → carga positiva (+)

La unidad de la carga es el Coulomb [C]

Por naturaleza los cuerpos están en un estado neutro, esto indica que tienen el mismo número de protones y electrones. Si un cuerpo contiene un exceso de electrones se dice que el cuerpo se encuentra cargado negativamente (Fig. 1.1.1); si tiene un exceso de protones el cuerpo se encuentra cargado positivamente (Fig. 1.1.2).

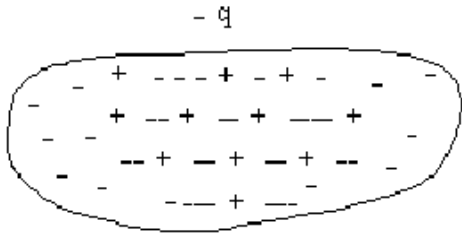


Figura 1.1.1 Cuerpo cargado negativamente.

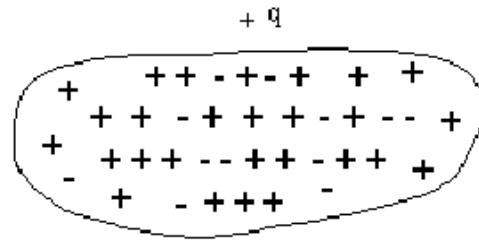


Figura 1.1.2 Cuerpo cargado positivamente.

Ley de signos de las cargas: Cargas del mismo signo se repelen y cargas de signo contrario se atraen. En la figura (1.1.3) se ilustra tal situación.

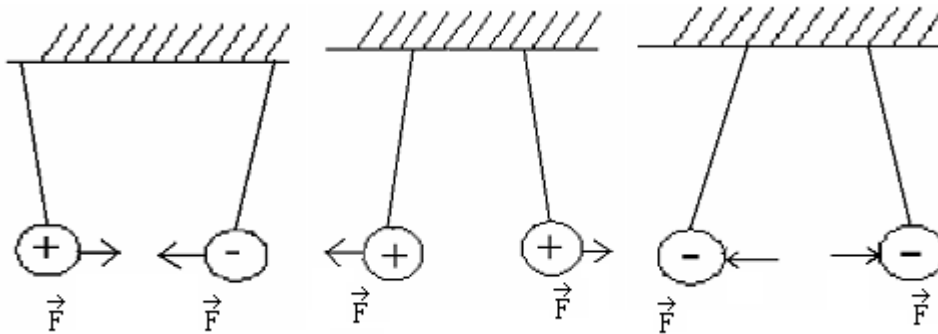


Figura 1.1.3 Acción de las fuerzas dependiendo del signo de su carga.

### LEY DE COULOMB.

Nos permite calcular la fuerza eléctrica entre dos cargas eléctricas figura (1.1.4).

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

$\vec{F}$  - Fuerza eléctrica [N]

$q_1$  y  $q_2$  - Cargas eléctricas [C]

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

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

k - constante de proporcionalidad  $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \times 10^9 \left[ \frac{N \cdot m^2}{C^2} \right]$

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

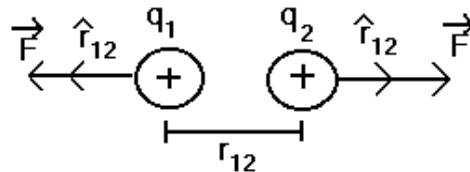


Figura 1.1.4 Fuerzas generadas por dos cargas puntuales del mismo signo.

Si se trata de varias cargas y se requiere encontrar la fuerza resultante sobre una carga debido a las demás cargas la suma se puede realizar vectorialmente (Figura 1.5).

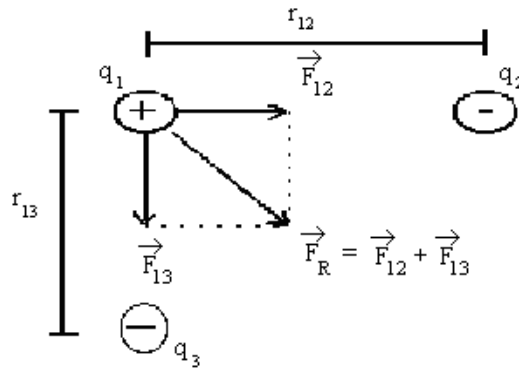


Figura 1.1.5 Fuerza que se ejerce sobre la carga q1 debido a las otras dos cargas.

Generalizando:

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \dots + \vec{F}_n$$

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

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

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

Además los cósenos directores se escriben

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

## LEY DE LA CONSERVACIÓN DE LA CARGA ELÉCTRICA.

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

## MÉTODOS DE CARGAR DE UN CUERPO

### Frotamiento

Consiste en cargar un cuerpo frotándolo con otro susceptible a ceder o ganar electrones, como se observa en la figura 1.1.6.



Figura 1.1.6: Forma de cargar un cuerpo por medio de frotamiento. Las barras de plástico frotadas con piel adquieren carga negativa y se repelen mutuamente.

### Inducción

Consiste en cargar un cuerpo atrayendo o repeliendo sus electrones al acercarle un cuerpo previamente cargado como se observa en la figura 1.1.7.

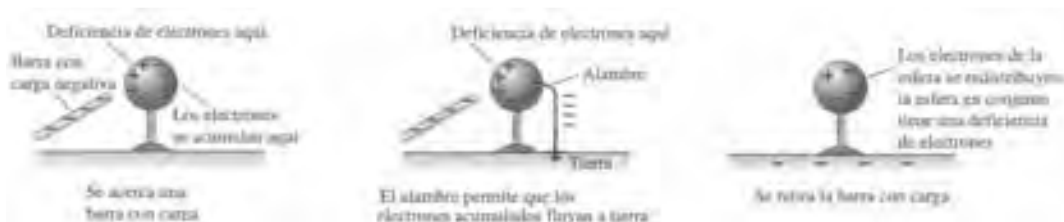


Figura 1.1.7. Carga de un cuerpo por inducción.

## Contacto

En este procedimiento la carga de un objeto se lleva a cabo solo si otro objeto lo toca directamente (Figura 1.1.8).



Figura 1.1.8. Carga de un cuerpo por contacto.

## CAMPO ELÉCTRICO.

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

## INTENSIDAD DE CAMPO ELÉCTRICO.

Definición: La intensidad de campo eléctrico  $\vec{E}$  es la fuerza eléctrica por unidad de carga de prueba (figura 1.1.9).

## CAMPO ELÉCTRICO PARA CARGAS PUNTUALES.

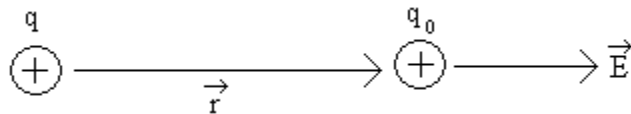


Figura 1.1.9 Campo eléctrico ejercido por la carga  $q$  a la carga de prueba  $q_0$ .

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

$\vec{E}$ .- Campo eléctrico

$\vec{F}$ .- Fuerza eléctrica $q_0$ .- Carga de prueba

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

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

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

$\vec{E} = k \frac{q}{r^2} \hat{r}$  Campo eléctrico para cargas puntuales

Debido a varias cargas puntuales la intensidad de campo eléctrico resultante en un punto (figura 1.1.10) se puede obtener:

$$\vec{E}_p = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \dots + \vec{E}_n$$

Intensidad de campo eléctrico debido a un dipolo eléctrico

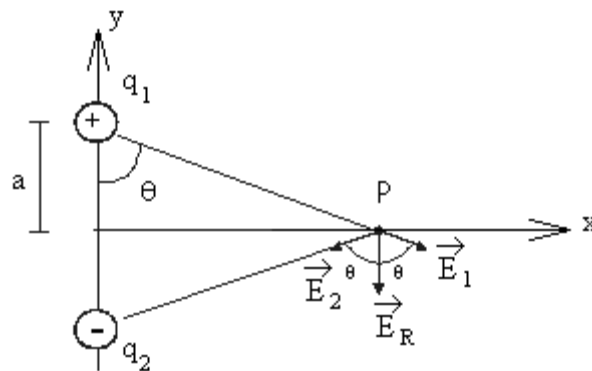


Figura 1.1.10 Campo que ejerce un dipolo eléctrico.

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

$$|\vec{E}_R| = \vec{E}_1 \cos \theta + \vec{E}_2 \cos \theta$$

donde :

$$E_1 = \frac{kq}{\left(x^2 + \left(\frac{a}{2}\right)^2\right)}$$

$$E_2 = \frac{kq}{\left(x^2 + \left(\frac{a}{2}\right)^2\right)}$$

$$\cos \theta = \frac{a/2}{\sqrt{x^2 + \left(\frac{a}{2}\right)^2}}$$

Obteniendo la suma

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

$qa = p$  : Se conoce como momento dipolar eléctrico

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{p}{\left[x^2 + \left(\frac{a}{2}\right)^2\right]^{3/2}} \quad \text{Campo eléctrico para un dipolo eléctrico}$$

Si suponemos que  $x \gg a$

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

Los campos eléctricos se pueden representar por líneas de fuerzas (figura 1.1.11), para dibujar las líneas deben cumplir las siguientes características:

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

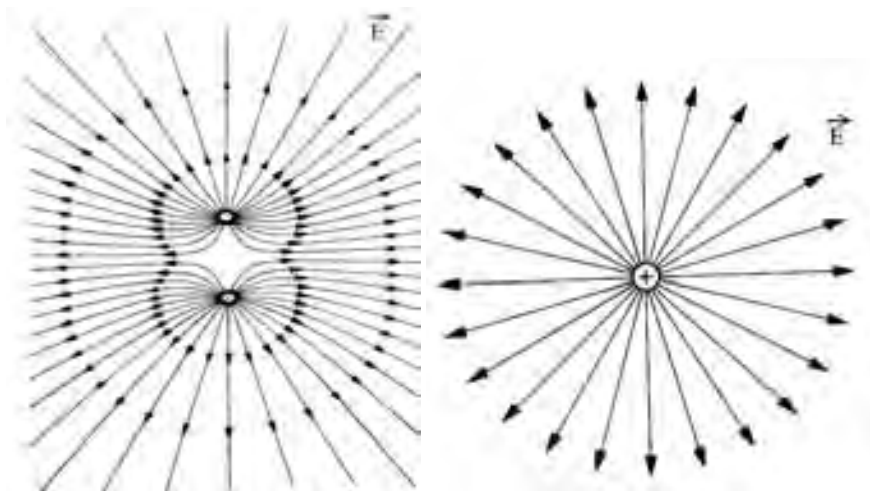


Figura 1.1.11 Líneas de fuerza para diferentes distribuciones de carga eléctrica.



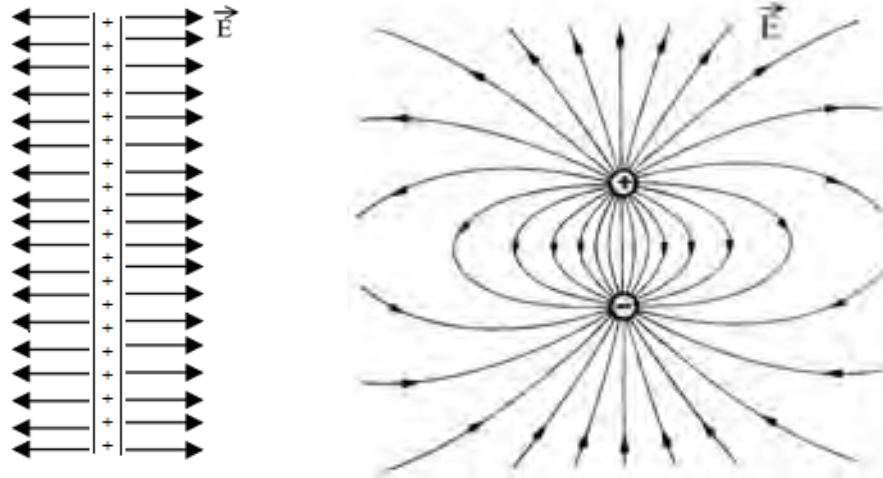


Figura 1.1.11 Líneas de fuerza para diferentes distribuciones de carga eléctrica.

### POTENCIAL ELÉCTRICO.

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

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

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

por tanto

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

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

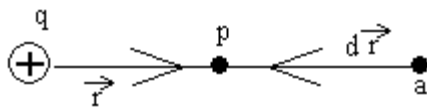
Potencial eléctrico a partir del campo eléctrico.

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

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

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

Potencial eléctrico debido a una carga puntual (figura 1.1.12).



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

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

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

$$V_p = k \frac{q}{r_p} \quad \text{Potencial para una carga puntual}$$

Figura 1.1.12 Potencial eléctrico debido a una carga puntual.

Cabe recordar que el potencial eléctrico es una magnitud escalar y su valor para

“N” cargas aisladas es:

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

## SUPERFICIES EQUIPOTENCIALES

Son aquellas superficies que en cualquier punto tienen el mismo potencial (Figura 1.1.13).

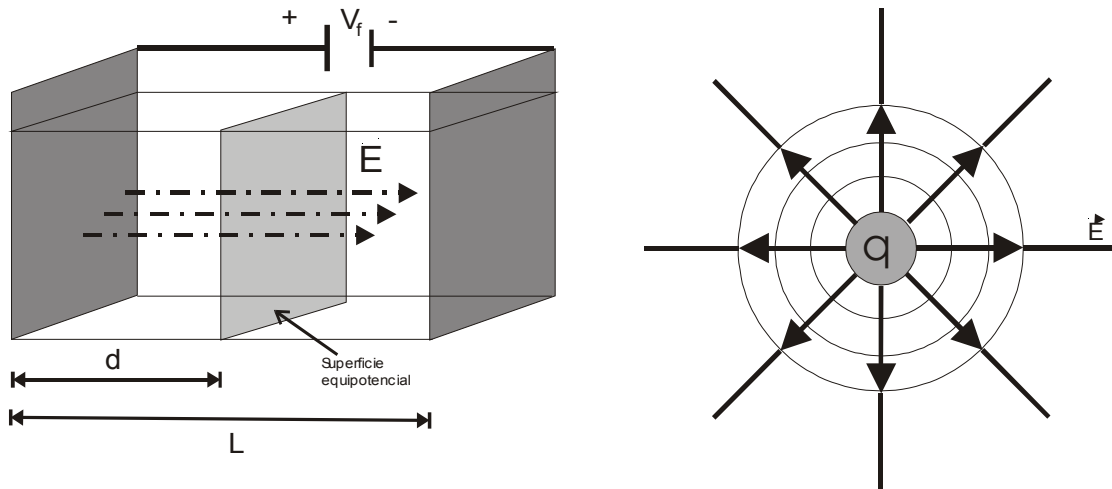


Figura 1.1.13. Superficies equipotenciales para dos diferentes distribuciones de carga.

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

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

si  $V(x, y, z)$

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

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

Donde

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

## 1.2 CAPACITANCIA Y CAPACITORES

El capacitor es un componente que nos permite almacenar energía eléctrica. La figura 1.2.1 muestra la construcción básica del capacitor y sus diferentes símbolos gráficos



Figura 1.2.1 Constitución de un capacitor y su simbología

El símbolo del capacitor es la letra C. El símbolo gráfico que se utiliza depende de la construcción particular del capacitor. La unidad de capacitancia es el faradio, que se simboliza F, el faradio es una unidad demasiado grande para la mayoría de los capacitores comerciales, por lo que se acostumbra utilizar unidades menores: El microfaradio [ $\mu\text{F}$ ], el nano faradio [nF] y el Pico faradio [pF] cuantitativamente:

$$1[\mu\text{F}] = 10^{-6}[\text{F}] ; 1[\text{nF}] = 10^{-9}[\text{F}] ; 1[\text{pF}] = 10^{-12}[\text{F}]$$

Sin embargo es importante saber que en la actualidad ya existen capacitores de Faradios, estos utilizan tecnologías de nanotubos y nano esferas.

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

La capacitancia de un capacitor está determinada por tres factores:

- La superficie (A) de las placas conductoras.
- La distancia (d) entre las placas.
- La constante dieléctrica  $K_e$  o  $\epsilon_R$ , la cual es una característica del tipo de material aislante entre las placas.

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

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

Donde:

$$\varepsilon = \varepsilon_R \varepsilon_0 \quad \text{o} \quad \varepsilon = K_e \varepsilon_0$$

Donde: A [m<sup>2</sup>]

d [m]

C [F]

$\varepsilon_0$  – Permitividad del vacío;  $\varepsilon_0 \left[ \frac{C^2}{N * m^2} \right]$  o  $\left[ \frac{F}{m} \right]$

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

Otro tipo de capacitor de mucho uso es el que tiene aire como dieléctrico. La mayoría de estos son de capacitancia variable por lo que se les llama "capacitores variables". La capacitancia varía cambiando la superficie superpuesta de las placas. Los capacitores variables son utilizados en circuitos en los cuales el valor de la capacitancia debe ser cambiada exactamente a fin de adaptarse a los parámetros del circuito requerido, antes o

durante el funcionamiento del circuito (ejemplo: para sintonizar frecuencias en el receptor de radio).

Al conectarse un capacitor a las terminales de una batería de fuerza electromotriz cada placa adquiere una carga de la misma magnitud exactamente, Para comprender este efecto enfoquémonos primero a la placa conectada a la terminal negativa de la batería (figura 1.2.2). El campo eléctrico aplica una fuerza sobre los electrones en el alambre justo en el exterior de esta placa, esta fuerza hace que los electrones se introduzcan en la placa. Dicho movimiento seguirá ocurriendo hasta que la placa, el alambre y la terminal queden todos a un mismo potencial eléctrico.



Figura 1.2.2 Capacitor cargado por una batería o fuente de fuerza electromotriz.

Una batería ideal (figura 1.2.2) mantiene entre sus terminales una diferencia constante de potencial. La placa positiva y el alambre que la conecta a la terminal positiva son conductores y, por ello (en condiciones electroestáticas), han de tener el mismo potencial  $V+$  que la terminal positiva de la batería. La placa negativa y el alambre que la conecta a la terminal negativa de la batería también son conductores; (cuando el interruptor está cerrado) debe, pues, tener el mismo potencial  $V-$  que la terminal negativa. La energía se almacena en su campo eléctrico que se encuentra en la región entre las placas.

### **Voltaje del capacitor en función de la carga y la capacitancia.**

La carga que se acumula en el capacitor provoca una diferencia de potencial entre sus placas. Cuanto mayor es la carga, mayor será el voltaje sobre el capacitor, es decir, la carga  $Q$  y el voltaje  $[V]$  son directamente proporcionales entre sí. Por otra parte la capacitancia  $C$

tiene influencia inversa sobre el voltaje; una cierta carga eléctrica en un capacitor de baja capacidad producirá un voltaje mayor si la misma carga se encontrase en un capacitor de capacitancia elevada.

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

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

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

Q es la carga [C]

C es la capacitancia [F]

### Conexión de capacitores.

Análogamente como los resistores, los capacitores también pueden ser conectados en serie, en paralelo y en combinaciones serie - paralelo. Por supuesto que el cálculo de la capacitancia total es diferente del que estamos familiarizados para resistores. El primero está basado en la ecuación anterior que da el voltaje en función de la carga y de la capacitancia del capacitor.

La figura 1.2.3 muestra un circuito de dos capacitores conectados en paralelo.

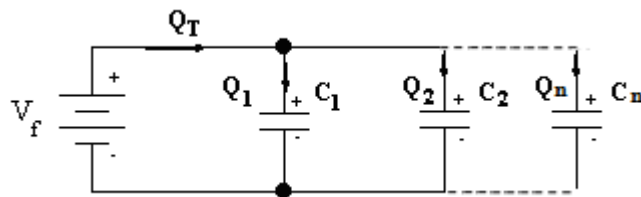


Figura 1.2.3 Capacitores conectados en paralelo

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

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

En el caso particular de dos capacitores en paralelo obtendremos:

$$Q_t = Q_1 + Q_2$$

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

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

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

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

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

Investiguemos ahora un circuito eléctrico con capacitores conectados en serie según se muestra en la figura 1.2.4.

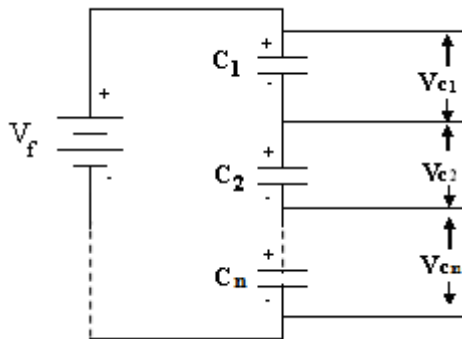


Figura 1.2.4 Capacitores conectados en serie

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



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

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

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

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

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

De donde se obtiene:

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

Además

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

Por tanto

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

En el caso particular de dos capacitores en serie obtenemos

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

### **Almacenamiento de energía en un capacitor.**

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

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

Integrando

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

Se obtiene

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

De la relación  $Q = CV$  obtenemos

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

### El capacitor real.

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

El capacitor puede ser representado eléctricamente por un circuito equivalente que contiene un elemento capacitivo en paralelo con una resistencia de pérdidas (Figura 1.2.5).

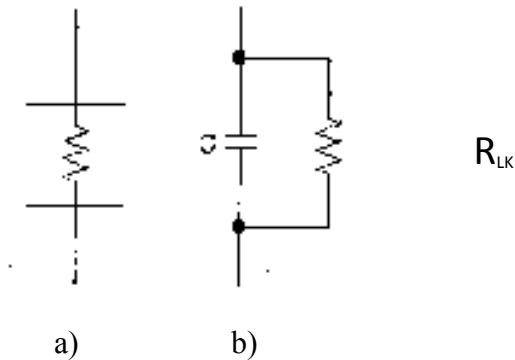


Figura 1.2.5: a) Resistencia de pérdidas entre las placas del capacitor  
b) Circuito equivalente del capacitor real

### 1.3 CONSTANTES DIELECTRICAS Y RIGIDEZ DIELECTRICA

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

Los dieléctricos se clasifican en polares y no polares. Molécula polar (dipolo eléctrico permanente), es aquella en la cual los centros de gravedad de los protones y electrones no coinciden, además al introducirse en un campo eléctrico estas se orientan en la dirección del campo eléctrico, figura (1.3.1).

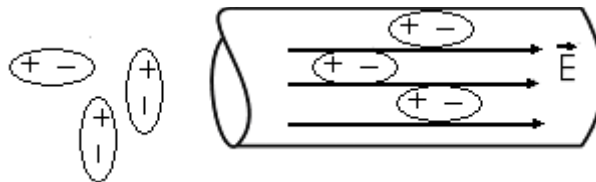


Figura 1.3.1 Polarización de un material dieléctrico polar.

Molécula no polar (dipolo eléctrico inducido). Es aquella en la cual los centros de gravedad de los protones y electrones coinciden, además al introducirse en un campo eléctrico los protones y electrones sufren un desplazamiento orientándose en la dirección del campo eléctrico. Figura (1.3.2).

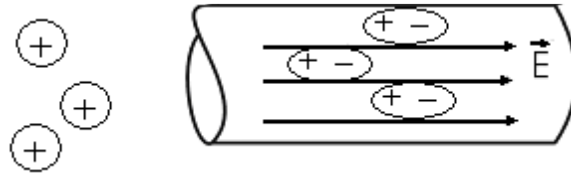


Figura 1.3.2 Polarización de un material dieléctrico no polar.

Se define momento dipolar eléctrico como el producto de una de las cargas por la distancia de separación entre ellas, denotada por  $\vec{p} = q\vec{\ell}$  [C • m] cuya dirección se indica en la figura 1.3.3.

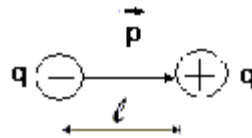


Figura 1.3.3 Momento dipolar eléctrico de una carga puntual.

Considerando un bloque de material dieléctrico polarizado según se muestra en la figura 1.3.4 y aplicando el teorema de Gauss, se obtiene el campo eléctrico en el material dieléctrico.

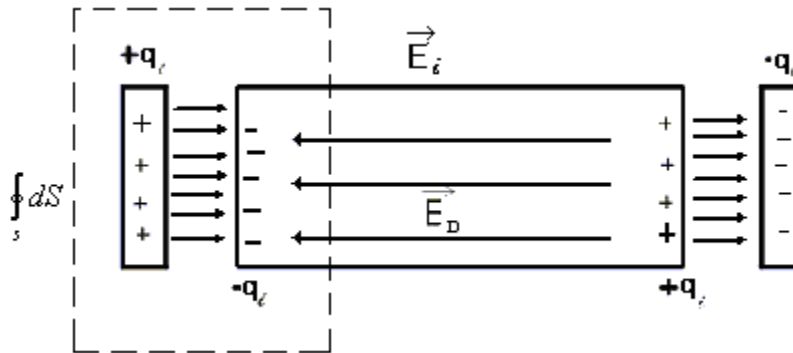


Figura 1.3.4 Capacitor con material dieléctrico, aplicando la ley de Gauss para analizar campo eléctrico.

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

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

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

$\vec{E}_\ell$  Campo eléctrico debido a la carga libre ( $q_\ell$ )

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

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

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

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

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

Al sustituir

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

Se tiene

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

En particular para materiales dieléctricos se tiene la relación lineal

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

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

$$\vec{E}_D = \frac{\sigma_l - X_e \varepsilon_0 E_D}{\varepsilon_0}$$

Donde

$$E_D = \frac{\sigma_l}{\varepsilon_0(1 + X_e)}$$

Denotando  $\varepsilon_R$  ó  $K_R = 1 + X_e$  La permitividad relativa o constante dieléctrica, se tiene:

$$E_D = \frac{\sigma_l}{\varepsilon_0 \varepsilon_R} = \frac{\sigma_l}{\varepsilon}$$

Donde  $\varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_R$  es la permitividad eléctrica absoluta del material dieléctrico.

Además de  $\varepsilon_R = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}$  Se tiene:

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

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

## 1.4 RESISTENCIA ÓHMICA, RESISTIVIDAD Y LEY DE OHM.

Se recordara que un conductor es un material en cuyo interior hay electrones libres que se mueven por la fuerza ejercida sobre ellas por un campo eléctrico. El movimiento de las cargas constituye una corriente. Si deseamos que circule una corriente permanente en un conductor, se debe mantener continuamente un campo, o un gradiente de potencial eléctrico dentro de él. Consideremos la figura 1.4.1 si hay “ $n$ ” electrones libres por unidad de volumen, la carga total ( $dq$ ) que atraviesa el área ( $s$ ) en el tiempo ( $dt$ ) y con una velocidad ( $v$ ) es:

$$dq = nesvdt$$

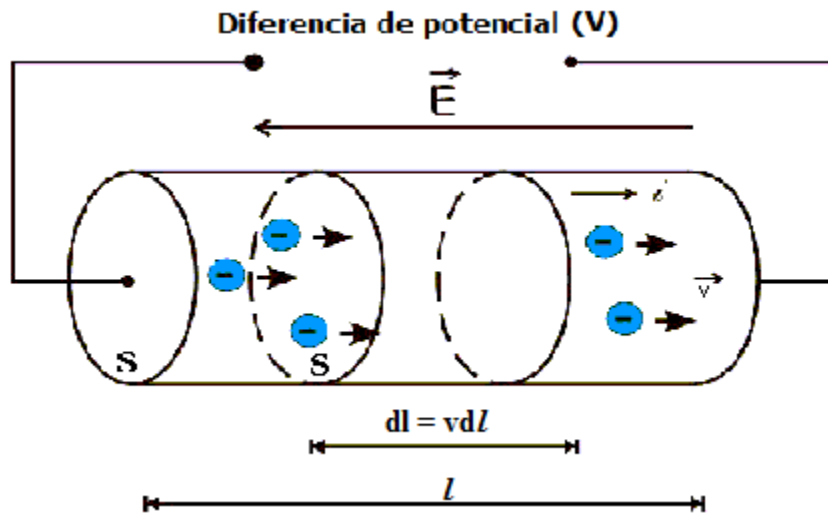


Figura 1.4.1 Conductor eléctrico por donde circula una corriente eléctrica.

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

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

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

$$i = nevs$$

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

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

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

Recordando

$$V = -\int \vec{E} \cdot d\vec{l} \quad \text{Se tiene } V = \frac{1}{\sigma} \int \vec{J} \cdot d\vec{l} \quad \text{donde para el hilo conductor de la figura 1, } V = \frac{J}{\sigma} l$$

y de la ecuación de densidad de corriente eléctrica ( $J$ ) tenemos  $V = \frac{l}{\sigma s} i$ , o bien  $V = \frac{\rho l}{s} i$ ,

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

Donde:

$V$  = Voltaje aplicado [Volt, V]

$i$  = intensidad de corriente [Ampere, A]

$R$  = Resistencia eléctrica [Ohm,  $\Omega$ ]

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

$\rho$  = resistividad propia del material [Ohm metro,  $\Omega \cdot \text{m}$ ], donde  $\rho = \frac{1}{\sigma}$

$l$  = Longitud del hilo conductor [m]

$s$  = área de sección transversal del hilo conductor [ $\text{m}^2$ ]

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



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

Donde:

R = resistencia a la temperatura T

$R_0$  = resistencia a la temperatura  $T_0$

$\alpha$  = coeficiente de variación de la resistencia con la temperatura.

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

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

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

Para una resistencia en particular:  $P_R = Ri_R^2$  o  $P_R = \frac{V_R^2}{R}$  donde podemos escribir:

$P_R = \frac{dH}{dt} = Ri_R^2$  [W] indicando que la cantidad de calor producido por segundo es

directamente proporcional al cuadrado de la corriente, por tanto:

$$H = R \int i_R^2 dt \text{ [joules, J]} \qquad \text{Ley de Joule.}$$

## 1.5 FUENTES DE FUERZA ELECTROMOTRIZ (FEM) Y SU RESISTENCIA INTERNA.

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

Una fuente de voltaje ideal mantiene constante su voltaje independientemente de la corriente que fluye en ella. Sin embargo las fuentes de voltaje ideales no existen, pues todas las fuentes poseen una resistencia interna. Consideramos el circuito de la figura 1.6.1a para tal circunstancia la lectura del voltímetro es la fuerza electromotriz ( $\mathcal{E}$ ) de la pila.

Ahora bien para la figura (1.6.1b) la lectura del voltímetro es la diferencia de potencial en terminales de la resistencia ( $V_R$ )

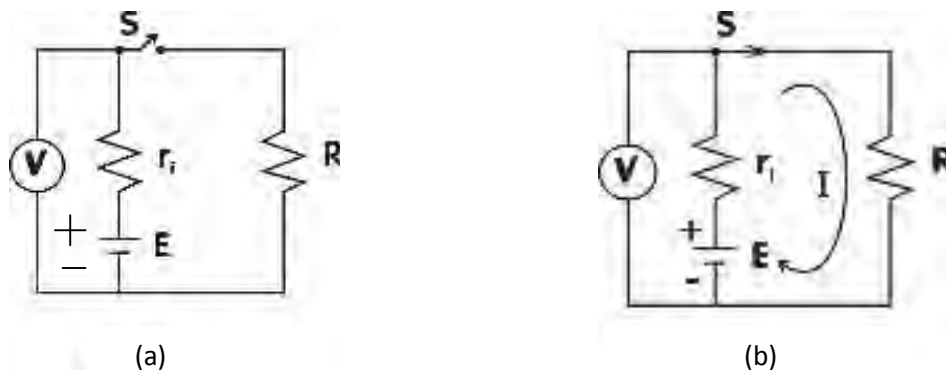


Figura 1.6.1 Fuentes e fem, representando su resistencia interna.

Si aplicamos el principio de conservación de la energía al circuito de la figura 1.6.1 es decir la suma de potencias debido a elementos activos (fuentes) igual a la suma de potencias en elementos pasivos (resistencias).

Se tiene

$$P_E = P_{r_i} + P_R$$

y en términos de voltaje y corriente

$$EI = r_i I^2 + RI^2$$

Por tanto al despejar

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

Tenemos:

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

Finalmente

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

El valor de la resistencia interna de la pila se obtiene conociendo la fem (E), resistencia de carga (R) y el voltaje ( $V_R$ ).

## 1.6 CIRCUITOS BÁSICOS DE CORRIENTE DIRECTA Y LEYES DE KIRCHHOFF.

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

Malla.- Es cualquier trayectoria cerrada en un circuito.

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

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

Las Leyes de Kirchhoff se fundamentan en el principio de la conservación de la energía y pueden enunciarse como sigue:

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

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

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

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

$$\sum f_{ems} + \sum Ri = 0$$

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

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

A continuación aplicamos dichas leyes al circuito de la figura 1.7.1.

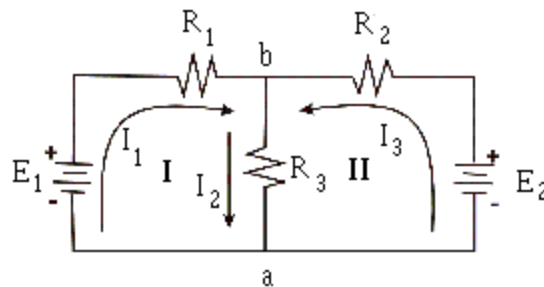


Figura 1.7.1 Circuito de c.d. con dos fuentes de fem.

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

$$-I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

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

$$-\varepsilon_1 + R_1 I_1 + R_3 I_2 = 0$$

Igualmente a la malla II

$$-R_2 I_3 - R_3 I_2 + \varepsilon_2 = 0$$

Ordenando el sistema de ecuaciones

$$\begin{aligned} -I_1 + I_2 - I_3 &= 0 \\ R_1 I_1 + R_3 I_2 &= 12 \\ -R_3 I_2 - R_2 I_3 &= -10 \end{aligned}$$

El sistema de ecuaciones lineales se puede resolver por métodos alternativos ejemplo. Determinantes y regla de kramer, eliminación de Gauss, método de Gauss – Jordán etc.

Otro ejemplo de aplicación de las leyes de Kirchhoff al circuito resistencia y capacitancia (RC) excitado por una fuente de corriente directa el cual se muestra en la figura 1.7.2.

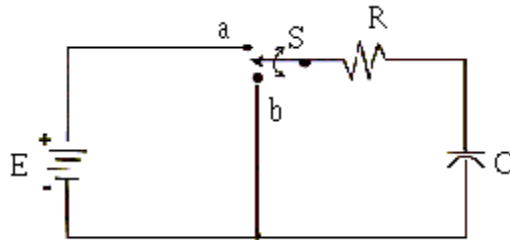


Figura 1.7.2 Circuito RC excitado con una fuente de c.d.,

Con el interruptor en la posición “a” se tiene el proceso de energización (considerando el capacitor totalmente desenergizado). Figura 1.7.3.

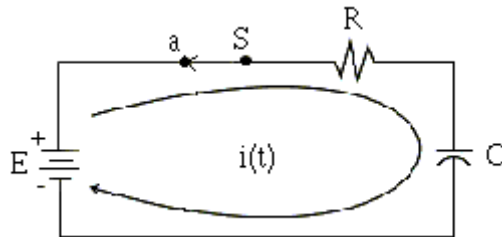


Figura 1.7.3. Circuito RC energizado con una fuente de c.d.

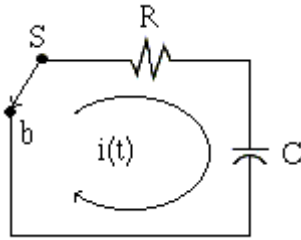


Figura 1.7.4 Circuito RC

Aplicando LVK se tiene

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

Donde

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

Multiplicando por  $(d/dt)$

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

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

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

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

Haciendo  $(d/dt)=D$

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

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

Raíz característica

Sustituyendo se tiene

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

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

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

Sustituyendo en ecuación anterior

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

Por lo tanto

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

Ahora

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

$$V_C(t) = \mathcal{E} \left[ 1 - e^{(-\frac{1}{RC})t} \right] \quad [\text{V}] \quad \text{Para todo } t \geq 0.$$

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

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

Multiplicando por  $(d/dt)$  tenemos

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



Cuya solución homogénea es.

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

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

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

También

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

Finalmente

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

## 1.7 CAMPOS MAGNÉTICOS ESTACIONARIOS

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

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

Para representar un campo magnético ( $B$ ) se utiliza líneas de fuerza, las cuales cumplen las siguientes características.

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

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

Matemáticamente:

$$\Phi_B = \oint_S \vec{B} \cdot d\vec{s} = 0$$

### “NO EXISTEN POLOS MAGNÉTICOS AISLADOS”

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

3º Para determinar la dirección de las líneas de fuerza debido a una corriente eléctrica en un hilo conductor, sea aplica la regla de la mano derecha “se toma al conductor con la mano

derecha; con el dedo pulgar se apunta hacia donde fluye la corriente y la dirección de los dedos restantes nos indican la dirección de las líneas de fuerza”.

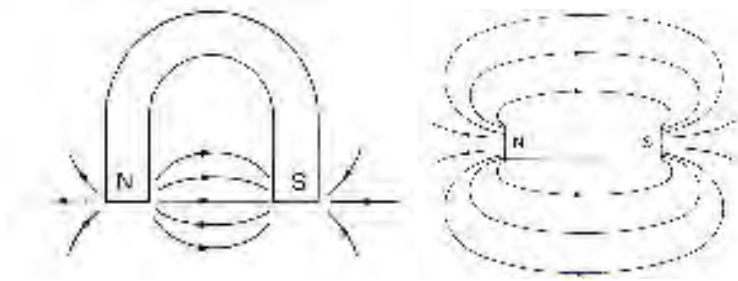


Figura 1.7.1 Líneas de campo magnético para un imán en U y un imán recto

### DEFINICIÓN DE CAMPO MAGNÉTICO ( $\vec{B}$ )

Teniendo presente la fuerza electrostática entre dos cargas en reposo, como se indica la figura (1.7.2) se tiene:

$$\vec{F} = \frac{qq_1}{r^2} \left( \frac{\vec{r}}{r} \right) [N] \text{ Ley de coulomb}$$

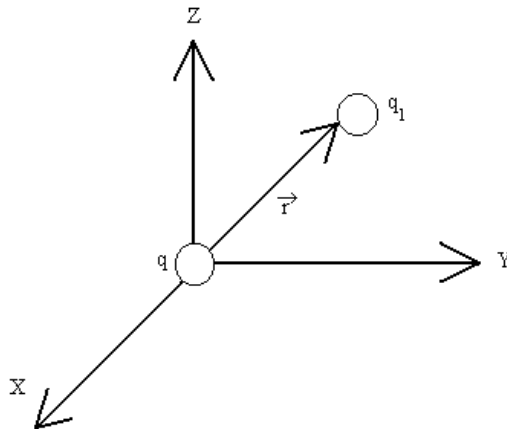


Figura 1.7.2 Fuerza electrostática entre dos cargas.

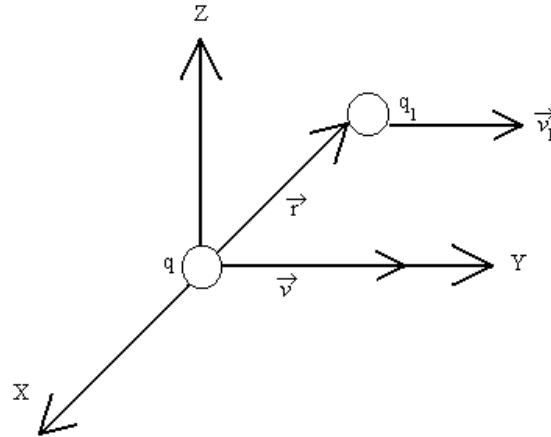


Figura 1.7.3 Cargas puntuales con una velocidad determinada.

Ahora si las cargas se mueven uniformemente con velocidades  $\vec{v}$  y  $\vec{v}_1$  respectivamente figura 1.7.3, existirá además una “fuerza magnética”  $\vec{F}_B$  ejercida sobre  $q$  debido a  $q_1$  dada por:

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

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

Descomponiendo en factores

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

Donde se define:

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

Por tanto se tiene

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

Y las unidades para  $B = \left[ \frac{N \cdot s}{C \cdot m} \right]$  o  $[Tesla]$  o  $\left[ \frac{weber}{m^2} \right]$

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

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

Donde  $i d\vec{l}$  es un pequeño elemento de corriente. Ahora aplicando la Ley de Biot y Savart a un hilo conductor rectilíneo al cual fluye una corriente, ver figura (1.7.4) se tiene:

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

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

$$C_B = \oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_o i \quad \text{Ley circuital de ampere}$$

$$\text{Donde } \vec{B} = B \hat{i}_\phi$$

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

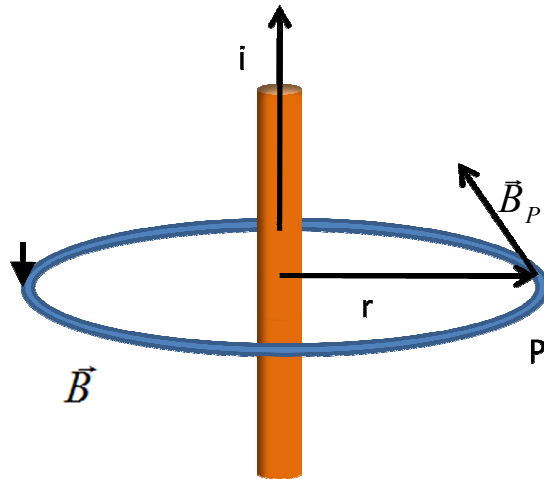


Figura 1.7.4. Hilo conductor rectilíneo al cual fluye una corriente.

## 1.8 LEY DE FARADAY Y PRINCIPIO DEL TRANSFORMADOR

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

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

### Principio básico del transformador:

El transformador simple, consta de dos bobinas colocadas muy cerca y aisladas eléctricamente una de otra; según se muestra en la figura (1.8.1)

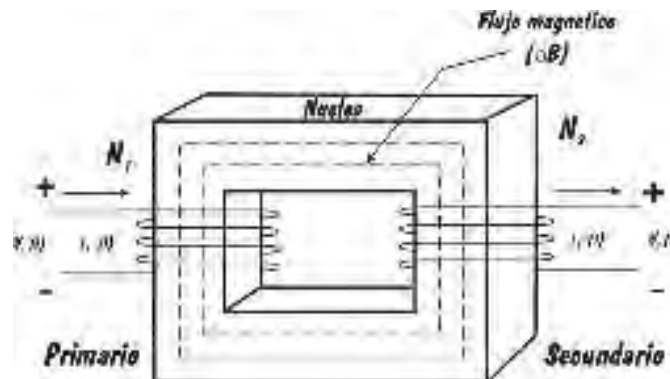


Figura 1.8.1 Transformador monofásico.

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

De la Ley de Faraday se tiene:

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

Donde  $N_1$  = Número de espiras en el primario

$\phi_{B1(t)}$  = Flujo magnético debido a “ $i_1$ ” en el primario

Si la fuente de voltaje suministra una señal armónica entonces:

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

Por tanto si el flujo magnético es

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

Existe una relación entre weber y maxwell

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

Sustituyendo anterior ecuación en la Ley de Faraday

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

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

Frecuencia angular (velocidad angular)

F = frecuencia [Hertz ó ciclos/s]

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

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

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

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



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

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

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

$N_2$  = Número de espiras del secundario

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

Ahora dividiendo las dos ecuaciones anteriores obtenemos:

$$\frac{V_1(t)}{V_2(t)} = \frac{N_1(t)}{N_2(t)} = a \quad [\text{V}]$$

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

Considerando un transformador “ideal” de rendimiento 100% tenemos que potencia eléctrica en el primario es igual potencia eléctrica en el secundario, entonces tenemos.

$$V_p(t)ip(t) \cos \theta_p = V_s(t)is(t) \cos \theta_s$$

Donde                       $\cos \theta_p = - \cos \theta_s$

Por tanto                       $V_p(t)ip(t) = V_s(t)is(t)$

$$\frac{V_p(t)}{V_s(t)} = \frac{i_s(t)}{i_p(t)} \quad ; \quad \frac{V_p(t)}{V_s(t)} = \frac{N_p}{N_s} = a$$
$$\therefore \frac{N_p}{N_s} = \frac{i_s(t)}{i_p(t)}$$

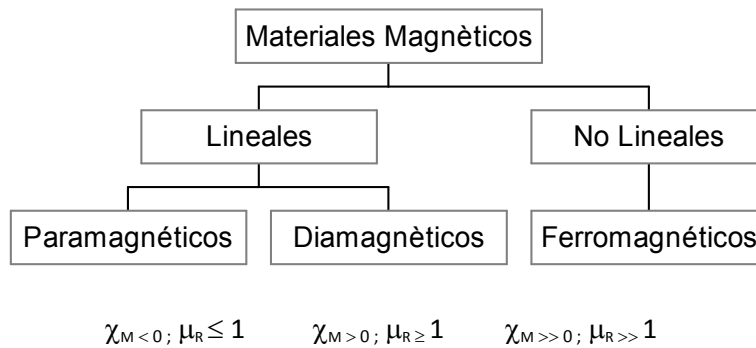
Por lo tanto la relación de transformación “a” se puede obtener también dividiendo las corrientes del primario y secundario:

$$a = \frac{i_s(t)}{i_p(t)}$$

## 1.9 PROPIEDADES MAGNÉTICAS DE LA MATERIA

Propiedades magnéticas de la materia.

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



Donde:

$\chi_M$  es la susceptibilidad magnética

$\mu_R$  es la permeabilidad magnética relativa

Teniendo presente la expresión de campo magnético en el núcleo de un solenoide figura 1.9.1

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

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

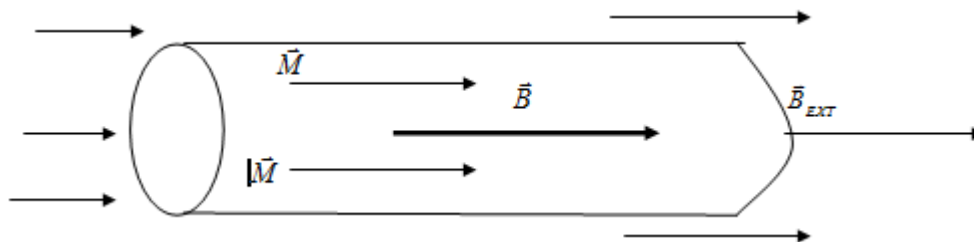


Figura 1.9.1 Núcleo del solenoide

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

Donde:

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

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

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

### Campo magnético total del solenoide con núcleo

Definiendo la intensidad de campo magnético como:

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

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

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

Por lo tanto:

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}_{ext}}{\mu_o} \quad \text{o bien;} \quad \vec{B}_{ext} = \mu_o \vec{H}$$

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

También combinando las dos ecuaciones anteriores se tiene:

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

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

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

Donde  $\chi_M$  se llama susceptibilidad magnética del material

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

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

Donde  $\mu_R$  se llama permeabilidad magnética relativa del material

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

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

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

Donde  $\mu$  Permeabilidad magnética absoluta

$\mu_R$  Permeabilidad magnética relativa

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

$$1 \text{ weber} = 10^8 \text{ maxwell}$$

$$1 \text{ weber/m}^2 = 10^4 \text{ gauss}$$

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

## CAPITULO 2

### CUESTIONARIOS PREVIOS

Tiene como objetivo que el alumno evalúe sus conocimientos y que adquiera los que no ha visto en teoría para el buen desarrollo de la práctica.

Los cuestionarios previos se resolvieron considerando cuando menos cinco diferentes bibliografías y algunos casos se consultaron sitios web. Cuando las respuestas de las diferentes bibliografías coincidían se agruparon para no repetir las.

#### 2.1. PRÁCTICA DE CARGA ELÉCTRICA, CAMPO Y POTENCIAL ELÉCTRICO

##### **Preguntas:**

##### **1. Defina los siguientes conceptos: carga eléctrica y ley de la conservación de la carga eléctrica**

Carga eléctrica: Es una propiedad inherente a la materia.

Existe <sup>(1,2,5)</sup> una gran variedad de experimentos simples para demostrar la existencia de fuerzas y cargas eléctricas. Un experimento sencillo es frotar un globo inflado en tela de lana. El globo se puede adherir entonces a una pared a menudo durante horas enteras. Cuando los materiales se comportan de esta manera se dicen que están electrificados. O que se han cargado eléctricamente.

Con una serie de experimentos sencillos, se determinó que existen dos tipos de cargas eléctricas, a las que Benjamín Franklin (1706-1790) les dio el nombre de positiva y negativa. Los electrones poseen carga negativa y los protones carga positiva.

Otro <sup>(1)</sup> aspecto importante de la electricidad que se hace evidente a partir de la observación experimental es que en un sistema aislado, la carga eléctrica siempre se

conserva. Esto es cuando se frota un objeto contra otro, no se crea carga en este proceso. El estado de electrificación se debe a una transferencia de carga de uno de los objetos hacia el otro. Uno adquiere parte de carga negativa el otro queda con carga positiva.

En <sup>(3)</sup> un átomo neutro el número de electrones es igual al número de protones del núcleo. Si se separa uno o más electrones, la estructura restante con carga positiva es un ion positivo. Un ion negativo es un átomo que ha ganado uno o más electrones. Esta ganancia o pérdida de electrones se conoce como ionización, en un cuerpo macroscópico se aplica este mismo principio es decir que un cuerpo cargado tiene una cantidad mayor de iones positivos o negativos.

En la <sup>(4)</sup> naturaleza existen dos tipos de cargas denominados:

Electrones - carga negativa (-)

Protones - carga positiva (+)

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

### **Ley de la conservación de la carga:**

La <sup>(2)</sup> cantidad neta de carga producida en cualquier proceso es cero.

La <sup>(3)</sup> suma algebraica de todas las cargas eléctricas en cualquier sistema cerrado es constante.

La <sup>(4,5)</sup> carga no se crea ni se destruye y en el proceso de cargar eléctricamente un material solo se transfiere de un material a otro.



## 2. Los tres procedimientos para cargar un cuerpo eléctricamente son: frotamiento, inducción y contacto. ¿En qué consiste cada procedimiento?

### Frotamiento

Cuando <sup>(1)</sup> una varilla de vidrio es frotada con seda, se transfieren electrones de vidrio a la seda. Debido a la conservación de la carga, cada electrón añade carga negativa a la seda y una cantidad igual de carga positiva queda atrás en la varilla.

La carga <sup>(2)</sup> de un objeto adquirida por frotamiento se explica considerando que tan intensamente los electrones son atraídos por el núcleo del material. Cuando una regla de plástico se carga negativamente al frotarla con una toalla de papel, los electrones en esta última se retienen menos firmemente que los que se encuentran en el plástico de este modo algunos de los electrones son extraídos de la toalla hacia el plástico.

Consiste <sup>(3,4)</sup> en cargar un cuerpo frotándolo con otro susceptible a ceder o ganar electrones, como se observa en la figura 2.1.1.

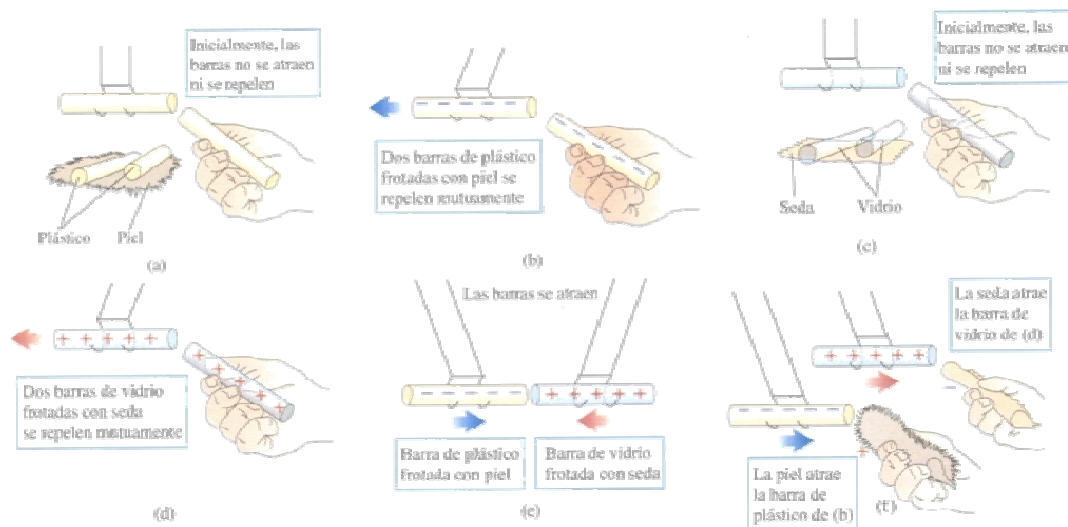


Figura 2.1.1 <sup>(3)</sup>: Experimentos de electrostática. (a, b) Las barras de plástico frotadas con piel adquieren carga negativa y se repelen mutuamente. (c, d) Las barras de vidrio frotadas con seda adquieren carga positiva y se repelen mutuamente. (e, f) Los objetos con carga negativa y los objetos con carga positiva se atraen mutuamente.

## Inducción

Cargar <sup>(1)</sup> un objeto por inducción no requiere hacer contacto con el objeto que induce la carga; esto en comparación con cargar un objeto mediante frotamiento (*esto es, por conducción*), en donde si se requiere el contacto entre ambos objetos.

Supóngase <sup>(1,2)</sup> que un objeto cargado positivamente se acerca a una barra metálica neutra sin tocarla. Aunque los electrones de la barra metálica no la abandonan, continúan moviéndose dentro del metal hacia el objeto cargado; esto produce una carga positiva en el extremo opuesto. En este caso se dice que se ha inducido una carga en los dos extremos de la barra metálica. No se creó carga alguna, solo ha sido separada y la carga neta en la barra metálica sigue siendo cero.

Consiste <sup>(3,4)</sup> en cargar un cuerpo atrayendo o repeliendo sus electrones al acercarle un cuerpo previamente cargado como se observa en la figura 2.1.2.



Figura 2.1.2. Carga de una esfera metálica por inducción.

**Contacto:**

En <sup>(1,3,4)</sup> este procedimiento la carga de un objeto se lleva acabo solo si otro objeto lo toca directamente (Figura 2.1.3).



Figura 2.1.3. Carga por contacto.

Supóngase <sup>(2)</sup> un objeto metálico cargado positivamente se acerca a un segundo objeto (neutro). Si ambos se ponen en contacto, los electrones libres en el neutro son atraídos por el objeto cargado positivamente y algunos pasaran a él. Como en estas circunstancias el objeto ha perdido algunos de sus electrones negativos, tendrá una carga positiva neta.

**3. Charles Augustin Coulomb estableció la ley que cuantifica las fuerzas electrostáticas. Enuncie brevemente en qué consiste su experimento, establezca su ecuación e identifique cada término en ella.**

Charles <sup>(1)</sup> Coulomb (1736-1806) midió las magnitudes de las fuerzas eléctricas entre objetos cargados usando la balanza de torsión, que el mismo inventó.

De los experimentos de Coulomb, podemos generalizar las siguientes propiedades de la fuerza eléctrica entre dos partículas estacionarias cargadas. La fuerza eléctrica:

- Es inversamente proporcional al cuadrado de la separación  $r$  entre partículas y está orientada en dirección a la línea que une las partículas.
- Es proporcional al producto de las cargas  $q_1$  y  $q_2$  de ambas partículas.
- Es de atracción si las cargas son de signos opuestos y de repulsión si las cargas son del mismo signo.
- Es una fuerza conservativa.

Podemos expresar la ley de Coulomb como una ecuación que determina la magnitud de una fuerza eléctrica (a veces llamada fuerza de coulomb) entre dos cargas puntuales:

$$F = K \frac{|q_1||q_2|}{r^2}$$

Donde:

$K_e$  es una constante conocida como constante de Coulomb. El valor de la constante de Coulomb depende de la elección de las unidades. La unidad de carga SI es el **coulomb (C)**. La constante de coulomb  $K_e$  en unidades de SI posee el valor

$$K = 8.9875 \times 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}$$

Utilizando <sup>(2,3,5)</sup> una balanza de torsión (figura 2.1.4) Coulomb fue capaz de preparar pequeñas esferas con cantidades diferentes de carga en las que se conocía la proporción de dichas cargas. Supuso que si la esfera conductora cargada se pone en contacto con una esfera descargada idéntica, la carga en la primera se distribuiría en ese caso igualmente en las dos esferas debido a la simetría. Así concluyo que la fuerza de un objeto cargado pequeño que ejerce sobre un segundo objeto es proporcional al producto de la cantidad de carga en uno, con  $q_1$ , por cantidad de carga en otro  $q_2$  e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia  $r$  entre ellos.

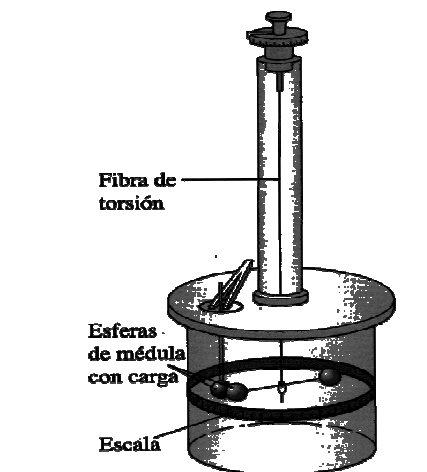


Figura 2.1.4. Balanza de torsión del tipo que empleó Coulomb para medir la fuerza eléctrica.

$$F = K \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

F - fuerza

K - constante de proporcionalidad de la ley de Coulomb =  $8.988 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$

$q_1$  y  $q_2$  cargas puntuales

r - distancia entre las cargas.

$$K = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \therefore F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q_1 q_2|}{r^2}$$

$\epsilon_0$  = permitividad del medio

$$\epsilon_0 = 8.85418781762 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Nm}^2$$

### Ley de Coulomb.

Nos <sup>(4,5)</sup> permite calcular la fuerza eléctrica entre dos cargas eléctricas.

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

$\vec{F}$  - Fuerza eléctrica [N]

$q_1$  y  $q_2$  - Cargas eléctricas [C]

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

$\hat{r}_{12}$  - Vector unitario

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \quad k = 9 \times 10^9 \left[ \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2} \right]$$

k - constante de proporcionalidad

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

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

Si se trata de varias cargas y se requiere encontrar la fuerza resultante sobre una carga debido a las demás cargas la suma se puede realizar vectorialmente.

#### 4. Explique brevemente el principio de operación del generador Van de Graaff.

Este <sup>(1,5)</sup> tipo de generador se utiliza extensamente en la investigación de la física nuclear. La carga es continuamente llevada a un electrodo a un alto potencial por medio de una banda transportadora hecha de material aislante. El electrodo de alto voltaje es un domo metálico hueco montado sobre una columna aislante. La banda se carga en el punto A por medio de un efecto corona entre unas agujas metálicas parecidas a un peine y unas rejillas a tierra. Las agujas se mantienen a un potencial eléctrico positivo que usualmente es de  $10^4$  volts. La carga positiva de la banda transportadora se transfiere al domo mediante un segundo peine de agujas en el punto B (Figura 2.1.5).

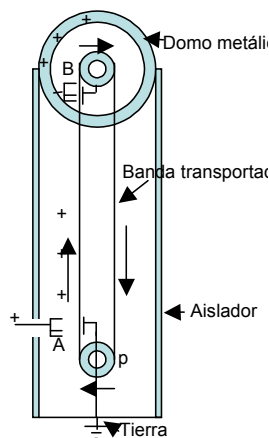


Figura 2.1.5. Generador Van de Graaff.

El sistema <sup>(6)</sup> de excitación puede construirse de muchas formas diferentes; la original, usando un excitador electrónico, es la mejor. Otras se muestran en el gráfico (Figura 2.1.6).

El sistema de fricción que usamos, es muy popular y simple; funciona cargando el rodillo inferior mediante fricción con el cinturón, pero su eficacia es francamente reducida.

Los otros métodos, tales como el de Holtz y Toepler, adaptan el sistema de carga de sus respectivas máquinas de inducción. Ambos rodillos son conductores y la máquina puede producir cualquier polaridad en la terminal.

La excitación de una unidad sencilla como la que mostramos, puede mejorarse mediante inducción o spray de carga sobre el cinturón aislante, mientras que el rodillo inferior se conecta a tierra, o bien cargando el rodillo inferior y conectando a tierra el peine de carga.

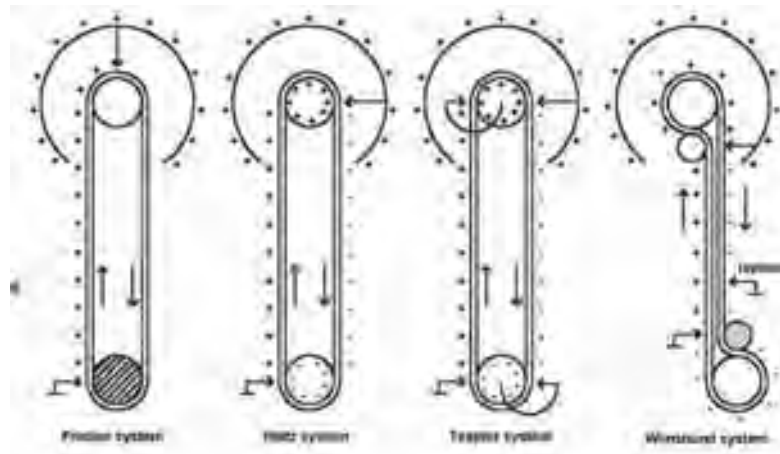


Figura 2.1.6. Diferentes métodos de excitación del generador de Van de Graaff.

Vista en corte <sup>(3,4)</sup> de las partes fundamentales de un generador electrostático Van de Graaff (Figura 2.1.7). El sumidero de electrones de la parte inferior atrae electrones de la banda y le proporciona así una carga positiva; en la parte superior la banda atrae electrones de la coraza conductora y le imparte una carga positiva.

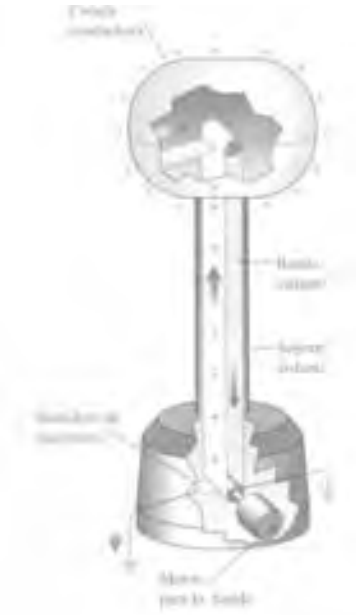


Figura 2.1.7. Vista en corte de un generador de Van de Graaff.

**5. Defina el concepto de intensidad de campo eléctrico y establezca la expresión matemática debido a una carga puntual aislada.**

Se define <sup>(1,2,5)</sup> el vector  $\vec{E}$  del campo eléctrico en un punto en el espacio, como la fuerza eléctrica  $\vec{F}$  que actúa sobre una carga de prueba positiva  $q_0$  colocada en ese punto, dividida entre la carga de prueba:

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

También se puede expresar la ecuación como:

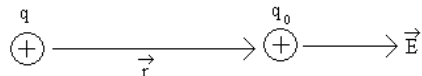
$$\vec{F} = q_0 \vec{E}$$

Donde se usa para la carga el símbolo general  $q$ . Esta ecuación proporciona la fuerza ejercida sobre una partícula cargada colocada en un campo eléctrico. Si  $q$  es positiva, la fuerza tiene la misma dirección que el campo. Si es negativa, la fuerza y el campo tienen direcciones opuestas.



El campo <sup>(3)</sup> eléctrico es una magnitud vectorial, es la fuerza en cada unidad de carga de prueba en cualquier punto, siempre y cuando la carga de prueba sea lo suficientemente pequeña para no perturbar las cargas que crean el campo. El campo eléctrico producido por una carga puntual tiene una dirección radial hacia la carga o en sentido contrario a esta.

La <sup>(4)</sup> intensidad de campo eléctrico  $\vec{E}$  es la fuerza eléctrica por unidad de carga de prueba.



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

$\vec{E}$  - Campo eléctrico

$\vec{F}$  - Fuerza eléctrica

$q_0$  - Carga de prueba

Pero la fuerza para una carga puntual es:  $\vec{F} = k \frac{qq_0}{r^2} \hat{r}$

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} = k \frac{qq_0}{rq_0} \hat{r} \qquad \vec{E} = k \frac{q}{r^2} \hat{r}$$

**6. Enuncie las características de las líneas de fuerza que representan un campo eléctrico y dibuje las líneas de campo eléctrico debido a tres formas geométricas diferentes de cuerpos cargados uniformemente.**

- Las <sup>(1,2)</sup> líneas deben empezar en una carga positiva y terminar en una carga negativa. En caso de que haya un exceso de carga, algunas líneas empezaran o terminaran en el infinito.
- No es posible que las líneas de carga eléctrica se crucen.
- Las líneas de fuerza indican la dirección del campo eléctrico; el campo apunta en la dirección tangente a las líneas del campo en cualquier punto.

- Las líneas se dibujan de manera que el campo eléctrico  $\vec{E}$ , sea proporcional al número de líneas que cruzan un área unitaria perpendicular a las líneas.
- Tanto más juntas estén las líneas, más intenso será el campo eléctrico en esa región.

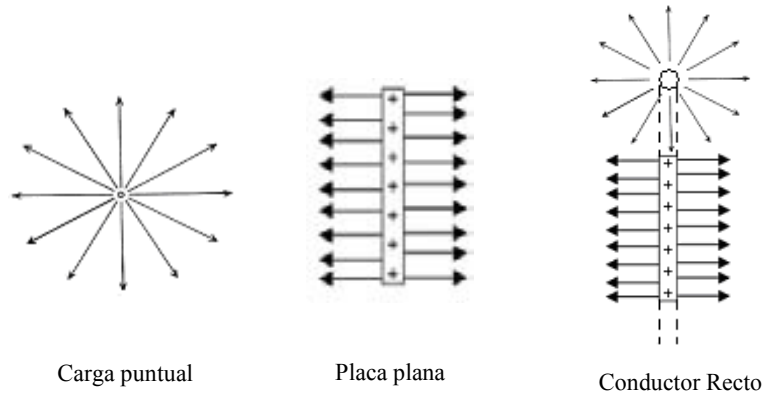


Figura 2.1.8. Configuraciones de líneas de campo eléctrico

- Las líneas <sup>(3)</sup> de campo ofrecen una representación gráfica de los campos eléctricos (Figura 2.1.8).
- En cualquier punto de una línea de campo, la tangente a la línea tiene la dirección  $\vec{E}$  en ese punto, el número de líneas en unidad de área (perpendicular a su dirección) es proporcional a la magnitud de  $\vec{E}$  en el punto.

Los campos <sup>(4)</sup> eléctricos se pueden representar por líneas de fuerzas, para dibujar las líneas deben cumplir las siguientes características:

- Las líneas de fuerzas dan la dirección del campo eléctrico en cualquier punto.
- Las líneas de fuerza se originan en la carga positiva y terminan en la carga negativa.
- Las líneas de fuerza se trazan de tal modo que el número de líneas por unidad de área de sección transversal son proporcionales a la magnitud del campo eléctrico.
- Las líneas tienen dirección normal al área de donde salen o entran y nunca se cruzan.
- Las líneas <sup>(5)</sup> de fuerza dan la dirección del campo eléctrico en cualquier punto.
- Se originan en cargas positivas y terminan en cargas negativas.

- Se trazan de tal modo de que numero de líneas por unidad de área de sección transversal (perpendicular a las líneas) sea proporcional a la magnitud del campo eléctrico (figura 2.1.9).

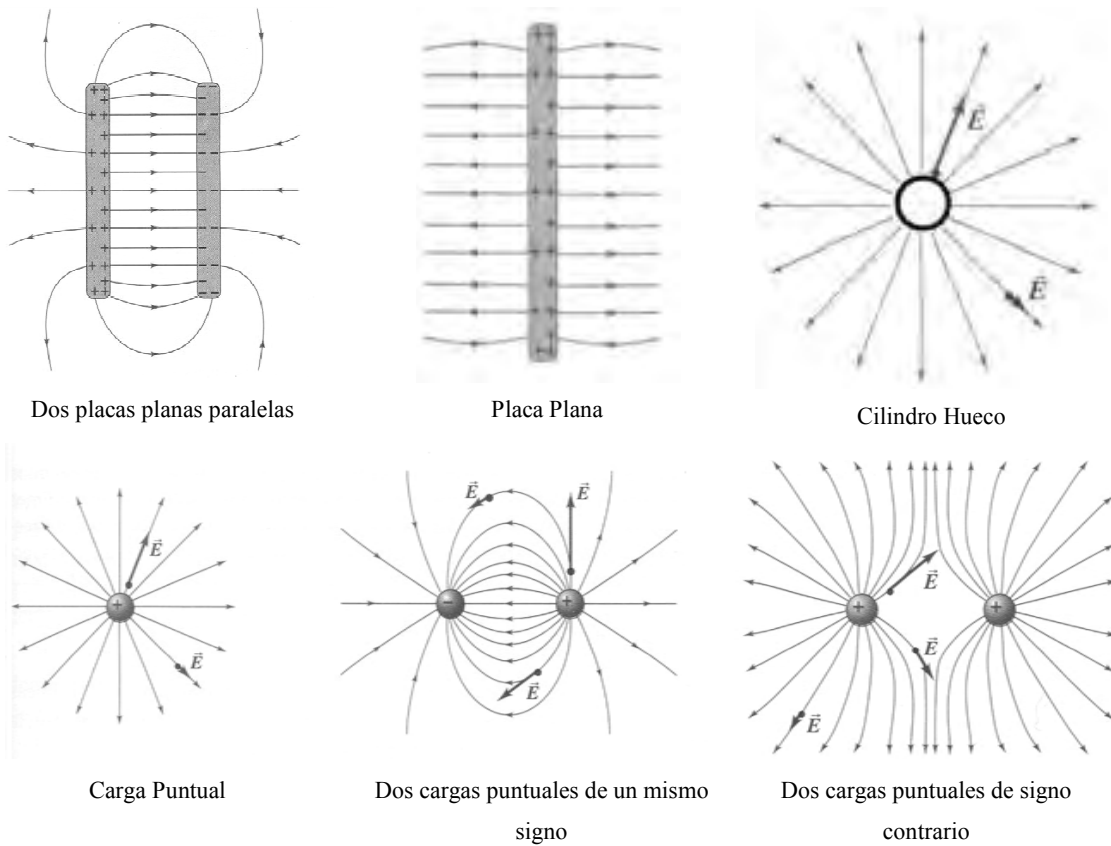


Figura 2.1.9. Configuración de líneas de campo.

**7. Se afirma que en el interior de un material conductor cargado el campo eléctrico es cero. Dé una explicación al respecto.**

Cuando <sup>(1)</sup> dentro de un conductor no hay ningún movimiento neto de carga, el conductor esta en **equilibrio electrostático**. Un conductor en equilibrio electrostático tiene las siguientes propiedades:

- En el interior del conductor el campo eléctrico es cero
- Si un conductor aislado tiene carga, esta reside en su superficie.

- El campo eléctrico justo fuera de un conductor cargado es perpendicular a la superficie del conductor.
- En un conductor de forma irregular, la densidad de carga superficial es máxima en aquellos puntos donde el radio de curvatura de la superficie es el menor.

El <sup>(2)</sup> campo eléctrico en el interior de un buen conductor es cero en una situación estática; esto es, cuando las cargas se encuentran en reposo. Si hubiera un campo eléctrico dentro de un conductor, existiría una fuerza sobre sus electrones libres; por lo que ellos se moverán hasta alcanzar posiciones donde se encuentra el campo eléctrico, y por consiguiente, la fuerza sobre ellos será cero.

Por <sup>(3)</sup> que en el centro del cuerpo las líneas de campo eléctrico se anulan.

Si <sup>(5)</sup> no fuera así, el campo ejercería una fuerza sobre los electrones de conducción que están presentes en cualquier conductor, y se generarían corrientes internas. Los campos eléctricos aparecen dentro de un conductor durante el proceso de carga, pero estos campos no duran mucho. Las corrientes internas actúan rápidamente para redistribuir la carga agregada de tal modo que los campos eléctricos del conductor son cero.

**8. Defina el concepto de potencial eléctrico como función del campo eléctrico al desplazar una carga puntual de prueba, y establezca su ecuación.**

El <sup>(1,2,3,5)</sup> potencial eléctrico se define como la energía potencial por unidad de carga de prueba. Para una trayectoria que no es recta como se muestra en la figura 2.1.10.

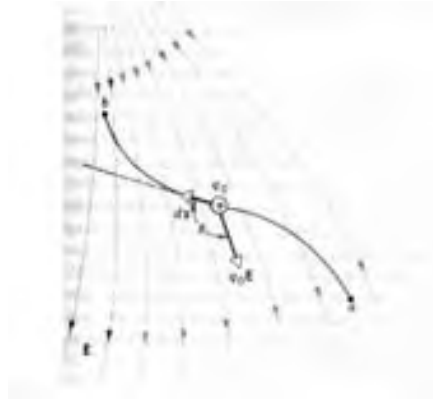


Figura 2.1.10. La carga de prueba  $q_0$  se mueve desde a hasta b en el campo eléctrico no uniforme  $\mathbf{E}$ .

El campo eléctrico ejerce una fuerza  $q_0\mathbf{E}$  sobre la carga de prueba, como se muestra. Un desplazamiento infinitesimal a lo largo de la trayectoria se representa por  $d\mathbf{s}$ . Para encontrar el trabajo total  $W_{ab}$  realizado por el campo eléctrico cuando la carga se mueve desde a hasta b, sumamos (integramos) el trabajo para todas los segmentos infinitesimales en que este dividida la trayectoria.

$$W_{a \rightarrow b} = \int_a^b \vec{F} \cdot d\vec{s} = q_0 \int_a^b \vec{E} \cdot d\vec{s}$$

Si  $V_b - V_a = (U_b - U_a)/q_0 = -W_{ab}/q_0$  la ecuación queda:

$$V_a - V_b = -\int_a^b \vec{E} \cdot d\vec{s} = -\int_a^b E \cos \Phi ds$$

Conviene elegir que el punto 'a' sea el punto de referencia en  $\infty$ , en donde  $V_a$  se considera que es cero. Entonces se puede determinar el potencial en cualquier punto P como:

$$V_p = -\int_a^b \vec{E} \cdot d\vec{s}$$

Se define <sup>(4)</sup> como el trabajo realizado por una carga para ir de un punto a otro o como la diferencia de la energía potencial eléctrica por unidad de carga de prueba:

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

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

por tanto

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

Potencial eléctrico a partir del campo eléctrico.

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

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

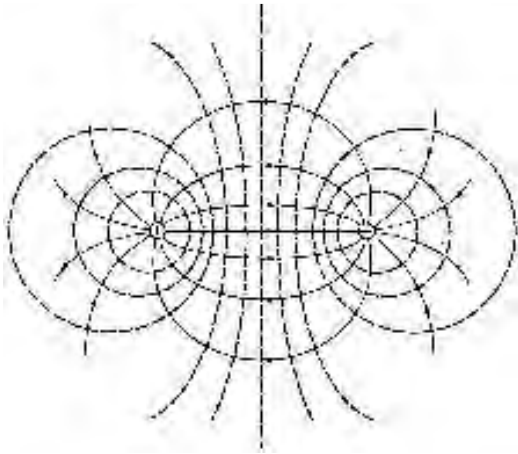
$$V_{ab} = V_b - V_a = -EL[V]$$

**9. La distribución del potencial eléctrico en un campo eléctrico puede representarse gráficamente por superficies equipotenciales. Describa las características de una superficie equipotencial y dibuje tres ejemplos.**

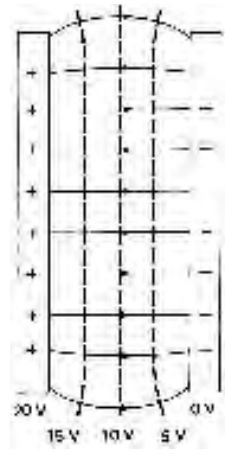
A cualquier <sup>(1,5)</sup> superficie formada por una distribución continua de puntos con el mismo potencial eléctrico se denomina superficie equipotencial.

Las superficies equipotenciales de un campo eléctrico uniforme consisten en una familia de planos paralelos todos ellos perpendiculares al campo.

Una superficie <sup>(2, 3,4)</sup> equipotencial es una superficie en la que el potencial tiene el mismo valor en todos sus puntos, en un punto donde una línea de campo cruza una superficie equipotencial ambas son perpendiculares. Cuando todas las cargas están en reposo la superficie de un conductor siempre es una superficie equipotencial y todos los puntos del interior del conductor están al mismo potencial (Figura 2.1.11).



Líneas equipotenciales (líneas punteadas) y líneas de campo eléctrico (líneas continuas) para dos partículas con carga opuesta.



Líneas equipotenciales (líneas punteadas) entre dos placas paralelas cargadas; nótese que dichas líneas son perpendiculares a las líneas de campo eléctrico (líneas continuas).

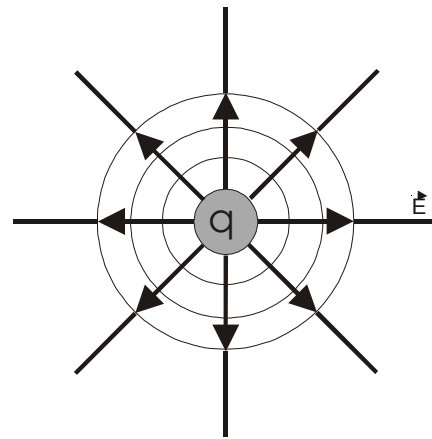
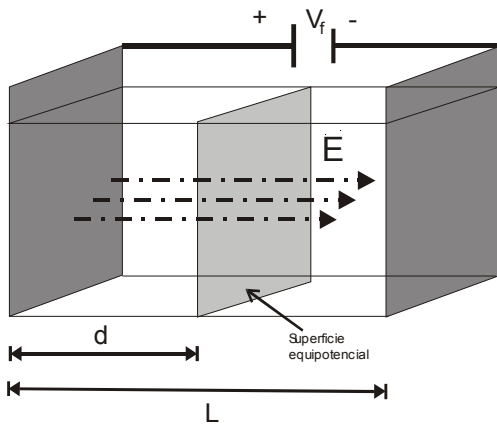


Figura 2.1.11. Superficies equipotenciales

**10. Si se conoce la función de potencial eléctrico en cierta región del espacio; defina la ecuación que permite calcular el campo eléctrico en esa región (Gradiente de potencial eléctrico). Dar su respuesta en coordenadas cartesianas.**

En general <sup>(1,2,3,5)</sup> el potencial eléctrico es una función de las tres coordenadas espaciales. Si  $V(\mathbf{r})$  se da en coordenadas cartesianas las componentes  $E_x$ ,  $E_y$  y  $E_z$  del campo eléctrico pueden ser fácilmente determinados partiendo de  $V(x, y, z)$  como derivadas parciales

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

Por ejemplo si  $V=3x^2+y^2+yz$  entonces:

$$\begin{aligned} \frac{\partial V}{\partial x} &= \frac{\partial}{\partial x}(3x^2y + y^2 + yz) = \frac{\partial}{\partial x}(3x^2y) = 3y \frac{d}{dx}(x^2) = 6xy \\ \frac{\partial V}{\partial y} &= \frac{\partial}{\partial y}(3x^2y + y^2 + yz) = \frac{\partial}{\partial x}(3x^2y) + \frac{\partial}{\partial y}(y^2) + \frac{\partial}{\partial z}(yz) = 3x^2 + 2y + z \\ \frac{\partial V}{\partial z} &= \frac{\partial}{\partial z}(3x^2y + y^2 + yz) = \frac{\partial}{\partial z}(yz) = y \end{aligned}$$

En notación vectorial a menudo  $E$  se escribe en los sistemas de coordenadas cartesianas de la forma

$$E = -\nabla V = -\left( \hat{i} \frac{\partial}{\partial x} + \hat{j} \frac{\partial}{\partial y} + \hat{k} \frac{\partial}{\partial z} \right) V$$

Podemos usar <sup>(4)</sup> el gradiente de potencial para considerar las direcciones de variación máxima del potencial:

si  $V(x, y, z)$

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

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

donde

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



## 2.2 CAPACITANCIA Y CAPACITORES

1. Defina el concepto de capacitancia eléctrica, además describa los elementos fundamentales que forman un capacitor.

La capacitancia <sup>(1)</sup> “C” de un capacitor se define como la relación de la magnitud de la carga en cualquiera de los conductores a la magnitud de la diferencia de potencial entre dichos conductores.

$$C = \frac{Q}{V_{ab}}$$

Capacitancia: Es <sup>(2,3)</sup> una medida de alcance de un capacitor para almacenar energía. Es la relación de carga de cada conductor en un capacitor con relación a la diferencia de potencial entre los conductores. Esta depende del tamaño y forma de los conductores y del material aislante que esta entre ellos. Sin embargo la relación de carga respecto a la diferencia de potencial no cambia es decir:

$$C = \frac{Q}{V_{ab}} \quad (\text{Definición de capacitancia})$$

Un capacitor está formado por dos conductores cualesquiera separados por un aislador (o vacío) figura 2.2.1.

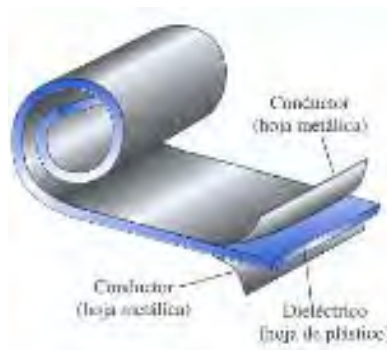


Figura 2.2.1. Composición de un capacitor

La unidad SI de capacitancia es el farad (F):  $1\text{F} = 1 \text{ Coulomb/Volt}$ . Son comunes los valores de mF,  $\mu\text{F}$ , nF y pF.

La <sup>(4)</sup> capacitancia de un capacitor está determinada por tres factores:

- La superficie (A) de las placas conductoras.
- La distancia (d) entre las placas.
- La constante dieléctrica  $K_e$  o  $\epsilon_R$ , la cual es una característica del tipo de material aislante entre las placas.

Donde:

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

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

$$C = \epsilon_0 \frac{A}{d} \quad (\text{Para vacío})$$

Ó

$$C = K_e \epsilon_0 \frac{A}{d} \quad (\text{Con material dieléctrico})$$

En donde: A [m<sup>2</sup>]

d [m]

C [F]

$\epsilon_0$  [C<sup>2</sup>/N·m<sup>2</sup>]

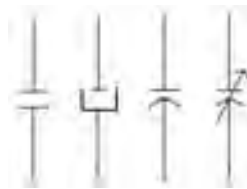


Figura 2.2.2. Símbolos de capacitores

La <sup>(5)</sup> capacitancia es un factor geométrico que depende del tamaño, la forma y la separación de las placas, lo mismo que del material que ocupa el espacio entre ellas. La capacitancia de un capacitor no depende de  $\Delta V$  ni de la carga 'q'.

$$C = \frac{Q}{V_{ab}}$$

$$1F = 1 \text{ Coulomb/Volt}$$

## **2. Al conectarse un capacitor a las terminales de una batería de fuerza electromotriz (fem):**

### **2.1 ¿Por qué cada placa adquiere una carga de la misma magnitud exactamente?**

Para <sup>(1)</sup> comprender este efecto enfoquémonos primero a la placa conectada a la terminal negativa de la batería (figura 2.2.3). El campo eléctrico aplica una fuerza sobre los electrones en el alambre justo en el exterior de esta placa, esta fuerza hace que los electrones se introduzcan en la placa. Dicho movimiento seguirá ocurriendo hasta que la placa, el alambre y la terminal queden todos a un mismo potencial eléctrico.

Un proceso similar se presenta en la otra placa del capacitor, pues los electrones se mueven de la placa hacia el alambre, dejando la placa una carga positiva. En esta configuración final la diferencia de potencial entre las placas del capacitor es la misma que la que existe entre las terminales de la batería.

Al conectarse <sup>(2)</sup> el capacitor a una batería este se carga rápidamente, una placa adquiere una carga negativa y la otra una cantidad igual de de carga positiva.

En <sup>(3)</sup> un capacitor cada conductor tiene una carga inicialmente de cero y se transfieren electrones de un conductor a otro; a esto se le denomina cargar el capacitor. De tal manera que los dos conductores tienen cargas de igual magnitud y signo opuesto y la carga neta del capacitor en conjunto sigue siendo cero.

Cuando <sup>(4,5)</sup> conectamos una batería (figura 2.2.3) al capacitor (cerrando el interruptor en el circuito) la batería “bombea” electrones de la placa positiva (antes sin carga) del capacitor a la placa negativa. Una vez que la batería mueve una cantidad de carga de magnitud ‘q’ la de la placa positiva +q y la placa negativa, -q.

## 2.2 ¿En qué situación se considera que el capacitor adquirió su carga máxima?

Se <sup>(1)</sup> dice que un capacitor adquirió una carga máxima hasta que la placa, el alambre y la terminal queden todos a un mismo potencial eléctrico. Una vez alcanzado este punto de equilibrio ya no existirá una diferencia de potencial entre la terminal y la placa lo que resulta en un campo eléctrico nulo en el alambre y la detención de movimiento de los electrones.

Una <sup>(4,5)</sup> batería ideal (figura 2.2.3) mantiene entre sus terminales una diferencia constante de potencial. La placa positiva y el alambre que la conecta a la terminal positiva son conductores y, por ello (en condiciones electroestáticas), han de tener el mismo potencial  $V+$  que la terminal positiva de la batería. La placa negativa y el alambre que la conecta a la terminal negativa de la batería también son conductores; (cuando el interruptor está cerrado) debe, pues, tener el mismo potencial  $V-$  que la terminal negativa.



Figura 2.2.3. Principio de carga de un capacitor

**3. Una vez que se ha cargado completamente un capacitor ¿En dónde almacena su energía acumulada?**

La energía se almacena en sus placas paralelas a través del campo eléctrico

La <sup>(1,2,3,5)</sup> energía se almacena en su campo eléctrico que se encuentra en la región entre las placas.

**4. Deduzca la relación que cuantifica un arreglo de capacitores en paralelo ¿Qué relación guardan entre si los voltajes entre placas de cada capacitor en este tipo de arreglos?**

La figura 2.2.4 muestra un circuito de dos capacitores conectados en paralelo.

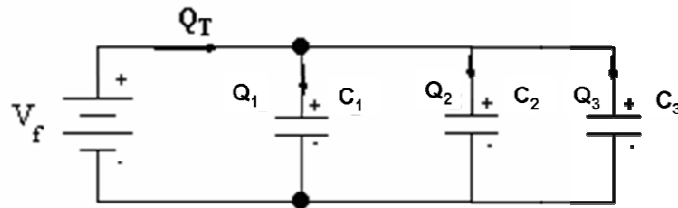


Figura 2.2.4. Conexión en paralelo de capacitores.

Los voltajes <sup>(1,2,3,4,5)</sup> son iguales  $V_f = V_1 = V_2 = V_3$

Las cargas  $Q$  no son iguales puesto que pueden llegar cargas a cada capacitor de modo independiente desde la fuente de voltaje  $V_f$ . Las cargas son:

$$Q = CV$$

$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3 = (C_1 + C_2 + C_3)V_f$$

Por consiguiente

$$\frac{Q_T}{V_f} = C_1 + C_2 + C_3$$

Sustituyendo tenemos:

$$C_T = C_1 + C_2 + C_3$$

**5. Deduzca la relación que cuantifica un arreglo de capacitores en serie ¿Qué relación guardan entre si las cargas en las placas de los capacitores en este tipo de arreglo?**

La figura 2.2.5 muestra un circuito de dos capacitores conectados en serie.

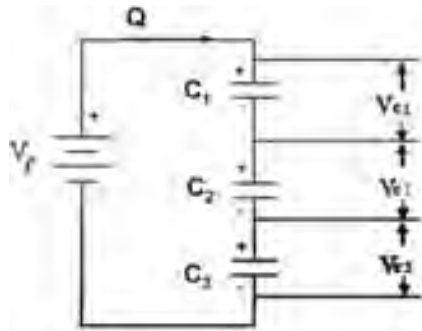


Figura 2.2.5. Conexión en serie de capacitores.

La suma de voltajes <sup>(1,2,3,4,5)</sup> debe ser igual a la suma de voltajes correspondientes a cada uno de los capacitores.

$$V_f = V_1 + V_2 + V_3$$

$$Q_T = Q_1 = Q_2 = Q_3$$

$$\text{Si } Q = CV \text{ entonces } V = \frac{Q}{C}$$

Sustituyendo el voltaje obtenemos:

$$\frac{Q}{C_T} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \frac{Q}{C_3}$$

O bien:

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

**6. ¿Cuántos tipos de capacitores existen? Dé una clasificación de acuerdo al material dieléctrico empleado entre sus placas, además indique cuales son los capacitores polarizados y no polarizados**

Existe <sup>(4,7)</sup> una gran variedad de capacitores pero los más conocidos para uso comercial se muestran a continuación (Figura 2.2.6).

- **De aire.** Se trata de condensadores, normalmente de placas paralelas, con dieléctrico de aire y encapsulados en vidrio. Como la constante de permitividad eléctrica es la unidad, sólo permite valores de capacidad muy pequeños. Se utilizan en radio y radar, pues carecen de pérdidas y polarización en el dieléctrico, funcionando bien a frecuencias elevadas.
- **De mica.** La mica posee varias propiedades que la hacen adecuada para dieléctrico de condensadores: bajas pérdidas, exfoliación en láminas finas, soporta altas temperaturas y no se degrada por oxidación o con la humedad. Sobre una cara de la lámina de mica se deposita aluminio, que forma una armadura. Se apilan varias de estas láminas, soldando los extremos alternativamente a cada uno de los terminales. Estos condensadores funcionan bien en altas frecuencias y soportan tensiones elevadas, pero son caros y se ven gradualmente sustituidos por otros tipos.
- **De papel.** El dieléctrico es papel parafinado, bakelizado o sometido a algún otro tratamiento que reduce su higroscopía y aumenta el aislamiento. Se apilan dos cintas de papel, una de aluminio, otras dos de papel y otra de aluminio y se enrollan en espiral. las cintas de aluminio constituyen las dos armaduras, que se conectan a sendos terminales. Se utilizan dos cintas de papel para evitar los poros que pueden presentar.
  - o **Autorregenerables.** Los condensadores de papel tienen aplicaciones en ambientes industriales. Los condensadores autorregenerables son condensadores de papel, pero la armadura se realiza depositando aluminio sobre el papel. Ante una situación de sobrecarga que supere la rigidez

dieléctrica del dieléctrico, el papel se rompe en algún punto, produciéndose un cortocircuito entre las armaduras, pero este corto provoca una alta densidad de corriente por las armaduras en la zona de la rotura. Esta corriente funde la fina capa de aluminio que rodea al cortocircuito, restableciendo el aislamiento entre las armaduras.

- **Electrolítico.** El dieléctrico es una disolución electrolítica que ocupa una cuba electrolítica. Con la tensión adecuada, el electrolito deposita una capa aislante muy fina sobre la cuba, que actúa como una armadura y el electrolito como la otra. Consigue capacidades muy elevadas, pero tienen una polaridad determinada, por lo que no son adecuados para funcionar con corriente alterna. La polarización inversa destruye el óxido, produciendo una corriente en el electrolito que aumenta la temperatura, pudiendo hacer arder o estallar el condensador. Existen de varios tipos:
  - **De aluminio.** Es el tipo normal. La cuba es de aluminio y el electrolito una disolución de ácido bórico. Funciona bien a bajas frecuencias, pero presenta pérdidas grandes a frecuencias medias y altas. Se emplea en fuentes de alimentación y equipos de audio. Muy utilizado en fuentes de alimentación conmutadas.
  - **De tantalio** (tántalos). Es otro condensador electrolítico, pero emplea tantalio en lugar de aluminio. Consigue corrientes de pérdidas bajas, mucho menores que en los condensadores de aluminio. Suelen tener mejor relación capacidad/volumen, pero arden en caso de que se polaricen inversamente. Para corriente alterna. Está formado por dos condensadores electrolíticos en serie, con sus terminales positivos interconectados.
- **De poliéster.** Está formado por láminas delgadas de poliéster sobre las que se deposita aluminio, que forma las armaduras. Se apilan estas láminas y se conectan por los extremos. Del mismo modo, también se encuentran condensadores de policarbonato y polipropileno.



- **Styroflex.** Otro tipo de condensadores de plástico, muy utilizado en radio, por responder bien en altas frecuencias y ser uno de los primeros tipos de condensador de plástico.
  
- **Cerámico.** Utiliza cerámicas de varios tipos para formar el dieléctrico. Existen tipos formados por una sola lámina de dieléctrico, pero también los hay formados por láminas apiladas. Dependiendo del tipo, funcionan a distintas frecuencias, llegando hasta las microondas.
  
- **Variable.** Este tipo de condensador tiene una armadura móvil que gira en torno a un eje, permitiendo que se introduzca más o menos dentro de la otra. El perfil de la armadura suele ser tal que la variación de capacidad es proporcional al logaritmo del ángulo que gira el eje.
  - **De ajuste.** Son tipos especiales de condensadores variables. Las armaduras son semicirculares, pudiendo girar una de ellas en torno al centro, variando así la capacidad. Otro tipo se basa en acercar las armaduras, mediante un tornillo que las aprieta



Condensadores electrolíticos axiales



Condensadores de poliéster



Condensadores cerámicos, "SMD (montaje superficial)" y de "disco"



Condensadores electrolíticos de tantalio



Condensador variable de una radio AM

Figura 2.2.6 Diferentes tipos de capacitores.

Es importante conocer los avances tecnológicos de la nanotecnología, que permiten en la actualidad a través de la aplicación de nano esferas y nanotubos obtener capacitores de faradios; a continuación se muestran fotografías de algunos.

Capacitancia	1 Faradio
Voltaje Pico Admisible	20 Volts CD
Voltaje Nominal	16 Volts CD
Temperatura de Trabajo	< 95 °C
E.S.R.	< 0.0017 Ohms
Dimensiones	Diámetro 76, largo 240 mm



Figura2.2.7. Capacitores de Faradios.

## 2.3 CONSTANTES DIELECTRICAS Y RIGIDEZ DIELECTRICA

### 1. Describir el fenómeno de polarización para un material conductor al introducirlo dentro de un campo eléctrico uniforme; auxíliese por medio de figuras.

Los <sup>(3)</sup> conductores contienen carga que se traslada libremente y cuando está presente un campo eléctrico parte de la carga se distribuye en la superficie a fin que no haya un campo eléctrico en el interior del conductor.

Cuando <sup>(4)</sup> un material conductor, se coloca dentro de un campo eléctrico, se produce siempre una redistribución de las cargas del material (este desplazamiento de cargas resultante del campo exterior aplicado, se llama polarización del material). Si el material es conductor, los electrones libres situados dentro de él se mueven de modo que en el interior del conductor el campo eléctrico se anule y constituya un volumen equipotencial (figura 2.3.1).

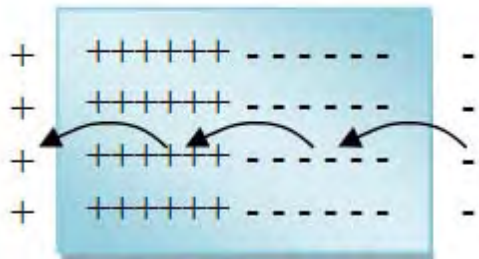
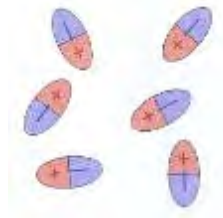


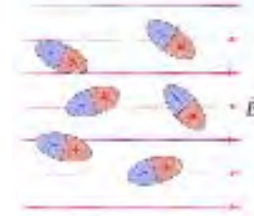
Figura 2.3.1. Polarización de un material conductor.

### 2. Describa el fenómeno de polarización para un material dieléctrico al introducirlo dentro de un campo eléctrico uniforme; auxíliese por medio de figuras.

Cuando <sup>(1,2,3)</sup> se coloca un dieléctrico entre un campo eléctrico, sus moléculas tienden a orientarse como en la figura 2.3.2 como resultado de los momentos de torsión de campo eléctrico.



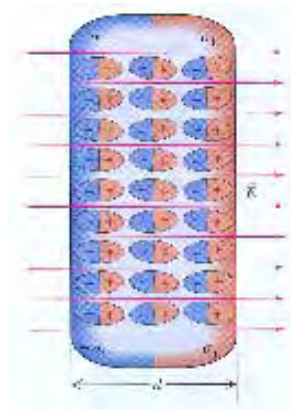
Moléculas polares sin campo eléctrico aplicado



Moléculas polares sin campo eléctrico aplicado

Figura 2.3.2. Polarización para un material dieléctrico.

Con moléculas ya sean polares o no polares, la redistribución de la carga provocada por el campo de lugar a la formación de una capa de carga en cada superficie del material dieléctrico (Figura 2.3.3). Estas capas son cargas superficiales y su densidad de carga se denota por  $\sigma$ . Las cargas no tienen libertad de trasladarse indefinidamente como sería el caso en un conductor, porque cada carga está unida a una molécula. De hecho se les llama cargas ligadas para distinguirlas de las cargas libres que se agregan o se quitan a las placas conductoras del capacitor. En el interior del material la carga neta por unidad de volumen sigue siendo cero. A esta redistribución de carga se le denomina polarización y se dice que el material está polarizado.

Figura 2.3.3: Polarización de un dieléctrico en un campo eléctrico  $\vec{E}$ 

Cuando <sup>(2)</sup> introducimos un dieléctrico en un campo eléctrico, este ejercerá un momento de torsión sobre los dipolos, que tenderá a hacerlos girar de modo que sean paralelos al campo, el movimiento térmico de las moléculas evitara el alineamiento perfecto de todas ellas, pero tanto mayor sea el campo, mejor será el alineamiento. Aun cuando las moléculas no sean

polares, el campo eléctrico sobre las placas inducirá una separación de carga en las moléculas, por lo que ellas adquirirán un momento bipolar inducido; a pesar de que los electrones no abandonan las moléculas se mueven ligeramente dentro de las mismas hacia la placa positiva.

Los <sup>(4)</sup> dieléctricos se clasifican en polares y no polares. Molécula polar (dipolo eléctrico permanente), es aquella en la cual los centros de gravedad de los protones y electrones no coinciden, además al introducirse en un campo eléctrico estas se orientan en la dirección del campo eléctrico (figura 2.3.4).



Figura 2.3.4. Polarización de un dieléctrico polar

Molécula no polar (dipolo eléctrico inducido). Es aquella en la cual los centros de gravedad de los protones y electrones coinciden, además al introducirse en un campo eléctrico los protones y electrones sufren un desplazamiento orientándose en la dirección del campo eléctrico (figura 2.3.5).



Figura 2.3.5. Polarización de un dieléctrico no polar.

### 3. ¿Qué sucede al introducir un dieléctrico entre las placas de un capacitor, aumenta o disminuye su capacitancia? ¿Por qué sucede este fenómeno?

La <sup>(2)</sup> capacitancia aumenta en un factor  $K$  que recibe el nombre de constante dieléctrica. Los dieléctricos establecen una conexión más difícil que el aire, por lo que pueden aplicarse voltajes mayores sin que la carga atraviese el dieléctrico. Además un dieléctrico permite

que las placas se acerquen para aumentar la capacitancia sin el temor de que hagan contacto.

$$C = KC_0; \quad C_0 - \text{Capacitancia en el vacío.}$$

Cuando <sup>(1,3,5)</sup> el espacio entre los conductores está ocupado por un material dieléctrico, la capacitancia aumenta por un factor de K, llamado constante dieléctrica del material. La magnitud  $\epsilon$  se conoce como permitividad del dieléctrico.

$$\epsilon = K\epsilon_0$$

Los voltajes con y sin dieléctrico están interrelacionados mediante el factor k como sigue:

$$\Delta V = \frac{\Delta V_0}{K}$$

En vista de que la carga  $Q_0$  del capacitor no se modifica, podemos concluir que la capacitancia debería cambiar al valor.

$$C = \frac{Q_0}{\Delta V} = \frac{Q_0}{\Delta V/K} = K \frac{Q_0}{\Delta V}$$

$$C = KC_0$$

Cuando se tiene una cantidad fija de carga en las placas del capacitor, las cargas inducidas en la superficie del campo disminuyen en el campo eléctrico y la diferencia de potencial entre las placas por un mismo factor: K. La carga superficial es consecuencia de la polarización, un reordenamiento microscópico de la carga del dieléctrico.

$$C = KC_0 = K\epsilon_0 \frac{A}{d} = \epsilon \frac{A}{d}$$

**4. Para una diferencia de potencial dada, ¿Cómo es la carga que almacena un capacitor con dieléctrico con respecto a la que almacena sin dieléctrico (en el vacío), mayor o menor?, justifique su respuesta.**

Mayor <sup>(1,2,5)</sup> debido a que los dieléctricos establecen una conexión más difícil que el aire, por lo que pueden aplicarse voltajes mayores sin que la carga atraviese el dieléctrico. Además un dieléctrico permite que las placas se acerquen para aumentar la capacitancia sin el temor de que hagan contacto.

Mayor debido a que la capacitancia aumenta en un factor  $K$ , considerando que la energía almacenada se calcula por medio de:

$$U = \frac{1}{2}CV^2 \qquad U = \frac{1}{2}KC_0V^2$$

**5. ¿Qué se entiende por rigidez dieléctrica?**

Es <sup>(1,2)</sup> el máximo campo eléctrico que un material aislante puede soportar sin que forme en él una trayectoria eléctrica por la que se conduzca carga eléctrica.

Es <sup>(3)</sup> la magnitud máxima de campo eléctrico que un material puede soportar sin que ocurra una ruptura. En esta magnitud influyen de manera importante la temperatura, las impurezas en pequeñas cantidades, las pequeñas irregularidades en los electrodos metálicos y otros factores.

Cada <sup>(5)</sup> material dieléctrico tiene una resistencia o rigidez dieléctrica característica y es el valor máximo del campo dieléctrico que puede soportar sin perforación.



- 6. Al aplicar una diferencia de potencial a dos placas circulares paralelas, separadas una distancia  $d$ , se da origen a un campo eléctrico entre placas. ¿Cómo se calcula la intensidad de tal campo eléctrico? Indique sus unidades.**

El <sup>(2,3)</sup> campo eléctrico dentro de un dieléctrico también se altera. Cuando ningún dieléctrico esta presente el campo eléctrico entre las placas de un capacitor de placas paralelas esta dado por la ecuación:

$$E = \frac{V_0}{d} \left[ \frac{V}{m} \right]$$

Donde  $V_0$  es la diferencia de potencial entre las placas y  $d$  es su separación. Si el capacitor se encuentra aislado de modo que la carga permanezca fija en las placas cuando se introduce el dieléctrico, la diferencia de potencial desciende a  $V = V_0/K$ . Así que el campo eléctrico en el dieléctrico en estas circunstancias es:

$$E = \frac{V}{d} = \frac{V_0}{Kd} \quad \text{ó} \quad E = \frac{E_0}{K}$$

- 7. Elabore una tabla con diez materiales dieléctricos con su respectiva constante dieléctrica y valor máximo de campo eléctrico de ruptura (valor de campo eléctrico antes de la ruptura de rigidez dieléctrica).**

Material	Constante dieléctrica K	Valor máximo de campo eléctrico ( $10^6$ V/m)
Aire (seco)	1.00059	3
Baquelita	4.9	24
Vacio	1.00000	-
Mylar	3.2	7
Hule de neopreno	6.7	12
Nylon	3.4	14
Papel	3.7	16
Papel impregnado en parafina	3.5	11
Poliestireno	2.56	24

Agua	80	-
Porcelana	6	12
Vidrio pyrex	5.6	14

**8. Defina qué es un transformador eléctrico y qué se entiende como relación de transformación. Indique su expresión matemática. (auxílese de los fundamentos teóricos de la practica 9).**

En<sup>(1)</sup> su forma más sencilla, el transformador de ca consta de dos bobinas de alambre enrolladas alrededor de un núcleo de hierro (figura 2.3.6) la bobina de la izquierda que está conectada a la fuente de entrada de voltaje alterno y tiene  $N_1$  vueltas, se denomina devanado primario. A la bobina del lado derecho formada por  $N_2$  vueltas y conectada por un resistor de carga  $R$  se llama devanado secundario

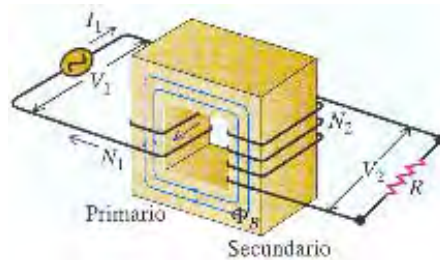


Figura 2.3.6: Diagrama esquemático de un transformador elevador idealizado.

Los <sup>(2)</sup> transformadores sirven para transformar los niveles de voltaje y corriente en un circuito de c.a. En un transformador ideal sin pérdidas de energía si el devanado primario tiene  $N_1$  espiras y el devanado secundario  $N_2$  espiras, las amplitudes (o valores rms) de los voltajes están relacionados por la ecuación.

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{N_2}{N_1}$$

Las amplitudes (o valores rms) de los voltajes y corrientes del primario y el secundario están relacionados por la ecuación.

$$V_1 I_1 = V_2 I_2$$

Dispositivo <sup>(3,5)</sup> para cambiar la magnitud de voltaje de ca, se compone de una bobina primaria y una secundaria. El flujo magnético variable debido a un voltaje variable en el primario induce un voltaje en el secundario.

$$E = -\frac{d\Phi_B}{dt}$$

## 2.4 RESISTENCIA ÓHMICA, RESISTIVIDAD Y LEY DE OHM

### 1. Enuncie la Ley de Ohm describiendo sus parámetros y unidades correspondientes.

En <sup>(1)</sup> muchos materiales (incluyendo la mayor parte de los metales) la relación de la densidad de corriente al campo eléctrico es una constante  $\sigma$  que es independiente del campo eléctrico que produce la corriente.

$$\vec{J} = \sigma \vec{E}$$

Donde  $\sigma$  se conoce como conductividad del conductor.

Podemos obtener una ecuación útil en aplicaciones prácticas si consideramos un segmento de alambre recto de área de sección transversal uniforme  $A$  y de longitud  $l$  como se muestra (figura 2.4.1).

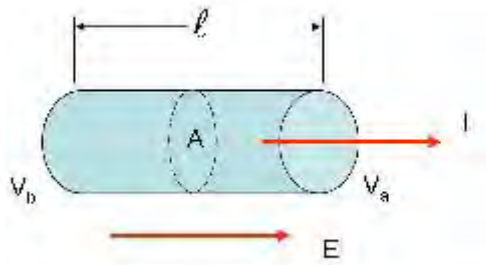


Figura 2.4.1. Alambre conductor

De un extremo a otro se mantiene una diferencia de potencial  $\Delta V = V_b - V_a$ , lo que genera en el alambre un campo eléctrico y una corriente. Si se supone que el campo es uniforme, la diferencia de potencial está relacionada con el campo mediante la proporción.

$$\Delta V = E\ell$$

Por lo tanto podemos expresar la magnitud de la densidad de corriente en el alambre de la forma.

$$J = \sigma E = \sigma \frac{\Delta V}{\ell}$$

Dado que  $J = I/A$ , podemos escribir la diferencia de potencial de la manera.

$$\Delta V = \frac{\ell}{\sigma} j = \left( \frac{\ell}{\sigma A} \right) I = RI$$

La cantidad  $R = \ell / \sigma A$  se conoce como la resistencia del conductor. Podemos definir la resistencia como la relación de la diferencia de potencial aplicada a un conductor entre la corriente que pasa por el mismo:

$$R = \frac{\Delta V}{I}$$

De este resultado se puede observar que la resistencia tiene unidades en el SI de volts por ampere. Un volt por ampere se define como un ohm.

$$1\Omega \equiv \frac{1 V}{1 A}$$

Establece <sup>(2)</sup> que la corriente en buen conductor es proporcional a la diferencia de potencial aplicada en sus extremos; la constante de proporcionalidad se denomina resistencia R del material por lo que  $V=IR$ . La unidad de resistencia es el ohm ( $\Omega$ ),  $1 \Omega = 1 V/A$

La densidad de corriente  $\vec{J}$  en un conductor depende del campo eléctrico  $\vec{E}$  y de las propiedades del material. Pero en caso de los materiales, en especial metales, a una temperatura dada,  $\vec{J}$  es casi directamente proporcional a  $\vec{E}$  y la relación de las magnitudes  $\vec{E}$  y  $\vec{J}$  es constante. La ley de ohm es un modelo idealizado que describe bastante bien el comportamiento de ciertos materiales pero no es una descripción general de toda la materia.

En <sup>(5)</sup> un objeto podemos medir la corriente  $i$  con varias diferencias de potencial aplicado y graficar  $i$  en función de  $\Delta V$ . Si la grafica produce una línea recta, el objeto es óhmico y se sujeta a la ley de Ohm. He aquí una formulación equivalente de ella:

La resistencia de un objeto no depende de la magnitud ni del signo de la diferencia de potencial aplicada.

La relación  $\Delta V = iR$  no es una formulación de la ley de Ohm. Es una ecuación que define la resistencia y se aplica tanto a objetos óhmicos como a no óhmicos.

## 2. Los valores de resistencia óhmica se pueden obtener a través de un código de colores. Investigue y muestre en una tabla el mismo.

La <sup>(5)</sup> resistencia puede estar marcada por un código estándar de 4 bandas de color cerca de uno de los extremos, las dos primeras bandas (a partir de la banda más próxima a un extremo) son dígitos, y la tercera es un multiplicador de potencia de 10. Por ejemplo amarillo-violeta-naranja, significa  $47 \times 10^3 \Omega$  ó  $47 \text{k}\Omega$ . La cuarta banda indica la precisión del valor (figura 2.4.2).

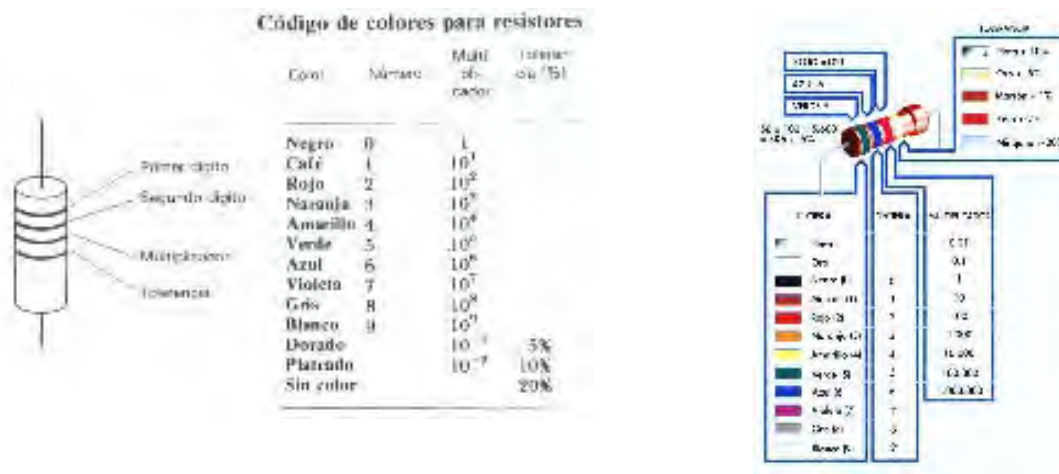


Figura 2.4.2. Código de colores para resistores.

**3. Atendiendo al punto 2 indique el valor de las siguientes resistencias:**

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

1	1 kΩ a ±5%
2	2.7kΩ a ±5%
3	10kΩ a ±10%
4	47kΩ a ±10%
5	2.2MΩ ±2%
6	10Ω a ±5%

**4. ¿Qué características nominales proporciona el fabricante de una resistencia óhmica?**

El valor de resistencia, potencia y tolerancia.

**5. Considerando los valores nominales de resistencia óhmica, a partir de la expresión de potencia eléctrica, deduzca la fórmula que cuantifique el voltaje máximo que se puede aplicar a la misma.**

Considerando <sup>(1,2,3,4,5)</sup> la fórmula de potencia y la de resistencia tenemos:

$$P_R = V_{MAX} I \dots (1)$$

$$I = \frac{V_{MAX}}{R} \dots(2)$$

Sustituyendo 2 en 1

$$P_R = \frac{V_{MAX}^2}{R}$$

Despejando  $V_{MAX}$

$$V_{MAX} = \sqrt{RP_R}$$

## 6. Defina los conceptos: conductividad eléctrica y resistividad eléctrica.

La <sup>(1,2)</sup> conductividad eléctrica es la capacidad de un cuerpo de permitir el paso de la corriente eléctrica a través de sí. La conductividad es la inversa de la resistividad y su unidad es el S/m (siemens por metro).

$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

Se le llama resistividad al grado de dificultad que encuentran los electrones en sus desplazamientos en diferentes tipos de materiales. Se designa por la letra griega rho minúscula ( $\rho$ ) y se mide en ohm por metro ( $\Omega \cdot m$ ).

La <sup>(3)</sup> conductividad es el recíproco de la resistividad. Sus unidades son  $(\Omega \cdot m)^{-1}$ . Los buenos conductores de electricidad tienen una conductividad más grande que los aisladores. La conductividad es el análogo eléctrico directo de la conductividad térmica.

Se define como resistividad  $\rho$  de un material como la relación de magnitudes del campo eléctrico y la densidad de corriente.

$$\rho = \frac{E}{J} \left[ V \cdot \frac{m}{A} \right]$$



La <sup>(5)</sup> constante de proporcionalidad entre la densidad de corriente y el campo eléctrico es la conductividad eléctrica del material  $\sigma$  del material. La conductividad es una propiedad de todo material, no de alguna parte de él. La unidad de conductividad en el SI es el siemens por metro (S/m), el siemens se define como

$$1 \text{ siemens} = 1 \text{ ampere} / \text{volt}$$

Es más común encontrar materiales caracterizados por su resistividad, que es el inverso de la conductividad.

$$\rho = 1/\sigma$$

Las unidades de la resistividad son ohm  $\cdot$  metro, donde el ohm (cuyo símbolo es  $\Omega$ ) se define así.

$$1 \text{ ohm} = 1 \text{ volt/ampere}$$

**7. ¿De qué parámetros geométricos y físicos depende la resistencia óhmica de un alambre conductor? Indique la ecuación de resistencia óhmica en función de estos parámetros.**

La <sup>(1,2,3,5)</sup> resistencia de un alambre metálico es directamente proporcional a su longitud  $L$  y a su resistividad  $\rho$  e inversamente proporcional al área  $A$  de la sección transversal.

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

Donde  $\rho$  se denomina resistividad y depende del material utilizado.

**8. Defina el concepto densidad de corriente eléctrica y escriba su expresión correspondiente.**

Densidad <sup>(1,2,3)</sup> de corriente ( $\mathbf{j}$ ) es la corriente por unidad de área de la sección transversal. Desde el punto de vista microscópico, la densidad de corriente se relaciona con el número

de portadores de carga por unidad de volumen,  $n$ , su carga,  $q$  y su velocidad de arrastre,  $v_d$ , mediante  $j = -nev_d$  donde el signo menos indica que la dirección del flujo de corriente (positiva) es opuesta a la velocidad de arrastre de los electrones.

También se puede expresar de la manera:  $j = \frac{I}{A}$  [A/m<sup>2</sup>]

Se puede definir además una densidad de corriente vectorial  $\vec{J}$  que incluye la dirección de la velocidad que deriva.

$$\vec{J} = nq\vec{v}_d$$

El <sup>(5)</sup> conductor tiene una superficie transversal  $A$ ; así que en el tiempo  $t$  todos los electrones del volumen  $AL$  atravesarán una superficie de extremo a extremo del conductor (figura 2.4.3). Si la densidad de los electrones (numero por unidad de volumen) es  $n$ , la magnitud de la carga neta que atraviesa la superficie la superficie es  $q = enAL$ , y la densidad de corriente es:

$$j = \frac{q}{At} = \frac{enAL}{AL/v_d} = env_d$$

En notación vectorial, lo anterior se expresa así.

$$\vec{j} = -en\vec{v}_d$$

El signo negativo nos recuerda otra vez que la dirección de la densidad de corriente es contraria a la del movimiento de los electrones.

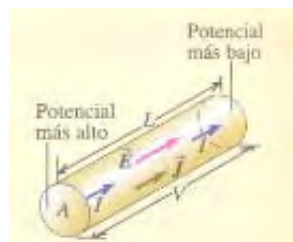


Figura 2.4.3. Superficie transversal de un conductor.

**9. Escriba la expresión matemática de variación de la resistencia con respecto a la temperatura y defina cada término.**

La <sup>(1,2)</sup> resistividad de un conductor varía de manera casi lineal con la temperatura, según la expresión:

$$\rho_T = \rho_0 [1 \pm \alpha(T - T_0)]$$

Donde  $\rho_T$  es la resistividad a la temperatura  $T$ ,  $\rho_0$  es la resistividad conocida a una temperatura estándar  $T_0$  y  $\alpha$  es el coeficiente térmico de la resistencia.

La <sup>(3)</sup> resistividad de un conductor metálico casi siempre aumenta con la temperatura, como se muestra en la figura. A medida que sube la temperatura, los iones del conductor vibran con mayor amplitud, lo que aumenta la posibilidad de que un electrón en movimiento choque con un ion; esto dificulta la deriva de electrones a través de del conductor y, por tanto, reduce la corriente.

$$\rho(T) = \rho_0 [1 \pm \alpha(T - T_0)]$$

Donde  $\rho_0$  es la resistividad a una temperatura de referencia  $T_0$  (con frecuencia  $0^\circ\text{C}$  o  $20^\circ\text{C}$ ), y  $\rho(T)$  es la resistividad de la temperatura  $T$ , que puede ser mayor o menor que  $T_0$ . El factor se denomina coeficiente de temperatura de la resistividad.

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

Es <sup>(5)</sup> el cambio fraccional de la resistividad  $d\rho/\rho$  por el cambio de temperatura  $dT$ . Es decir,  $\alpha$  da la dependencia de la resistividad respecto a la temperatura en relación con una temperatura en particular.

$$\alpha = \frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dT}$$

## 2.5 FUENTES DE FUERZA ELECTROMOTRIZ

### 1. Explique qué es una fuente de fuerza electromotriz.

Se <sup>(2)</sup> denomina fem o fuerza electromotriz a la diferencia de potencial cuando no fluye carga a un circuito externo. Se representa con la letra  $\varepsilon$ .

Se <sup>(3)</sup> llama fuerza electromotriz (fem) a la influencia que hace fluir corriente de un potencial menor a otro mayor. Este término es muy poco adecuado porque la fem no es una fuerza, si no una cantidad de energía por unidad de carga, como el potencial. La unidad SI de fem es la misma que la de potencial: el volt ( $1V = 1J/C$ ). Se representa la fem mediante el símbolo  $\varepsilon$ . Una fem mantiene una diferencia de potencial constante entre sus bornes, independientemente de la corriente que pase a través de ella.

$$\varepsilon = V_{ab} = IR \text{ (Fuente ideal fem)}$$

Fuente <sup>(4)</sup> de fuerza electromotriz (fem,  $\mathcal{E}$ ) es todo dispositivo capaz de transformar algún tipo de energía a energía eléctrica. Como ejemplos el generador eléctrico que transforma energía mecánica en energía eléctrica, la pila (batería) que transforma energía química en energía eléctrica.

Casi <sup>(5)</sup> todos los circuitos requieren una fuente externa de energía para mover una carga a través de ellos. Por tanto, el circuito debe contener un dispositivo que mantenga la diferencia entre dos puntos, del mismo modo que el fluido circulante necesita un dispositivo análogo (una bomba) que mantenga una diferencia de presión entre dos puntos. Al dispositivo que realiza esta función en un circuito eléctrica se le llama fuente (o sede) de la fuerza electromotriz (cuyo símbolo es  $\varepsilon$  y se abrevia fem).

**2. Enuncie cuatro tipos diferentes de fuentes de fuerza electromotriz e indique su conversión de energía.**

Baterías <sup>(3)</sup> (química – energía potencial eléctrica), generadores eléctricos (mecánica – energía potencial eléctrica), celdas solares (energía luminosa – energía potencial eléctrica), termopares (térmica – energía potencial eléctrica) y celdas de combustible.

Una <sup>(5)</sup> fuente común de fuerza electromotriz es la batería ordinaria; otra es el generador eléctrico de las plantas de energía. Las celdas solares son fuentes que se emplean en naves espaciales y calculadoras de bolsillo. Otras fuentes menos comunes son celdas de combustible (con las cuales se suministra energía a los transbordadores espaciales) y las termopilas. Los sistemas biológicos, entre ellos el corazón, funcionan como fuentes de fuerza electromotriz.

Como ejemplos <sup>(4)</sup> el generador eléctrico que transforma energía mecánica en energía eléctrica, la pila (batería) que transforma energía química en energía eléctrica.

**3. ¿Qué es un electrolito? Mencione ejemplos de soluciones usadas como electrolito.**

Un <sup>(8)</sup> electrólito es una sustancia que se descompone en iones (partículas cargadas de electricidad) cuando se disuelve en los líquidos del cuerpo o el agua, permitiendo que la energía eléctrica pase a través de ellos. Algunos de los ejemplos de electrolitos son el sodio, el potasio, el cloruro y el calcio. La responsabilidad principal de los electrolitos en los seres vivos es llevar nutrientes hacia las células y sacar los desechos fuera de estas.

Cloruro <sup>(9)</sup> de sodio, Cromato de potasio, Yoduro de potasio, Ácido sulfúrico, Sulfato sódico son algunas soluciones usadas.

**4. ¿Por qué para una misma densidad de electrolito, la diferencia de potencial de cada electrodo es diferente?**

Debido a la electronegatividad que tiene cada material.

La electronegatividad ( $\chi$ ) de un elemento es la capacidad que tiene un átomo de dicho elemento para atraer hacia sí los electrones, cuando forma parte de un compuesto. Si un átomo tiene una gran tendencia a atraer electrones se dice que es muy electronegativo (como los elementos próximos al flúor) y si su tendencia es a perder esos electrones se dice que es muy electropositivo (como los elementos alcalinos). La electronegatividad tiene numerosas aplicaciones tanto en las energías de enlaces, como en las predicciones de la polaridad de los enlaces y las moléculas y, también, en la racionalización de los tipos de reacciones que pueden experimentar las especies químicas.

**5. Explique el fenómeno de electrólisis en una batería.**

La <sup>(10)</sup> electrólisis es un método de separación de los elementos que forman un compuesto aplicando electricidad: se produce en primer lugar la descomposición en iones, seguido de diversos efectos o reacciones secundarios según los casos concretos.

*Electrólisis* procede de dos radicales, *electro* que hace referencia a electricidad y *lisis* que quiere decir rotura.

El proceso electrolítico consiste en lo siguiente. Se disuelve una sustancia en un determinado disolvente, con el fin de que los iones que constituyen dicha sustancia estén presentes en la disolución. Posteriormente se aplica una corriente eléctrica a un par de electrodos conductores colocados en la disolución. El electrodo cargado negativamente se conoce como cátodo, y el cargado positivamente como ánodo. Cada electrodo atrae a los iones de carga opuesta. Así, los iones positivos, o cationes, son atraídos al cátodo, mientras que los iones negativos, o aniones, se desplazan hacia el ánodo (figura 2.5.1). La energía necesaria para separar a los iones e incrementar su concentración en los electrodos,

proviene de una fuente de potencia eléctrica que mantiene la diferencia de potencial en los electrodos.

La electrólisis no depende de la transferencia de calor, aunque éste puede ser producido en un proceso electrolítico, por tanto, la eficiencia del proceso puede ser cercana al 100%.



Figura 2.5.1 Electrólisis en una batería

#### 6. En que afecta la resistencia interna a una fuente de fuerza electromotriz.

En <sup>(3)</sup> el caso de una fuente real de fem, la tensión de bornes es igual a la fem solo si ninguna corriente circula a través de la fuente.

La diferencia de potencial entre los bornes en una fuente real en un circuito no es igual a la fem. La razón es que la carga que se traslada a través del material de cualquier fuente real encuentra resistencia. Si esta resistencia se comporta de acuerdo a la ley de Ohm,  $r$  es constante e independiente de la corriente  $I$ . Conforme la corriente avanza a través de  $r$ , experimenta una caída de potencial asociada e igual a  $Ir$ . De este modo cuando una corriente fluye a través de una fuente, del borne negativo  $b$  al borne positivo  $a$ , la diferencia de potencial  $V_{ab}$  entre los bornes es:

$$V_{ab} = \varepsilon - Ir$$

Si  $V_{ab} = IR$  entonces  $\varepsilon - Ir = IR$

O bien,

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r} \text{ (Corriente fuente con resistencia interna)}$$

Figura

Las <sup>(4)</sup> fuentes de voltaje ideales no existen, pues todas las fuentes poseen una resistencia interna. Consideramos el circuito de la figura 2.5.2a para tal circunstancia la lectura del voltímetro es la fuerza electromotriz ( $\mathcal{E}$ ) de la pila.

Ahora bien para la figura 2.5.2b la lectura del voltímetro es la diferencia de potencial en terminales de la resistencia ( $V_R$ ).

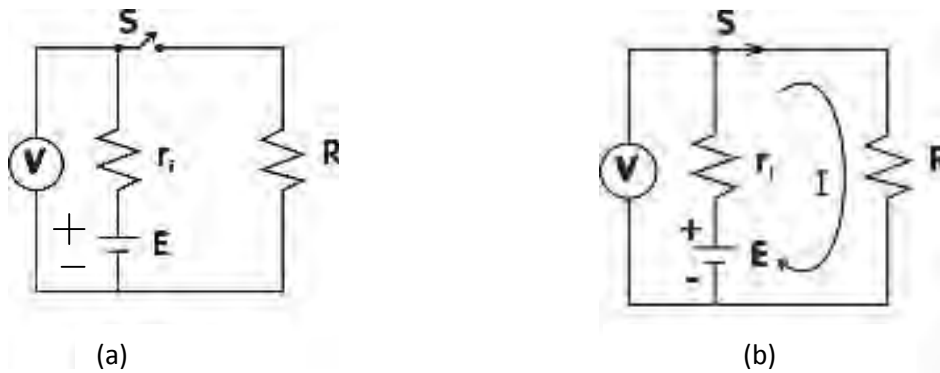


Figura 2.5.2 Fuente de fuerza electromotriz

Si aplicamos el principio de conservación de la energía al circuito de la figura 2.5.2 es decir la suma de potencias debido a elementos activos (fuentes) igual a la suma de potencias en elementos pasivos (resistencias).

Se tiene

$$P_E = P_{r_i} + P_R$$

y en términos de voltaje y corriente

$$EI = r_i I^2 + RI^2$$



Por tanto al despejar

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

Tenemos:

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

Finalmente

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

El valor de la resistencia interna de la pila se obtiene conociendo la fem ( $E$ ), resistencia de carga ( $R$ ) y el voltaje ( $V_R$ ).

Las <sup>(5)</sup> baterías reales presentan resistencia interna. Esta caracteriza a los materiales de que están hechas. No es posible eliminarla pues se trata de una parte intrínseca de ellas; casi siempre nos gustaría hacerlo, ya que la resistencia interna produce efectos indeseables como aminorar el voltaje terminal de la batería y limitar la corriente que puede fluir en el circuito.

La resistencia interna depende de la carga a que está sometida la fuente.

## **2.6 USO Y MANEJO DEL OSCILOSCOPIO**

### **1. ¿Qué es un Osciloscopio?**

Un <sup>(2)</sup> osciloscopio es un dispositivo que se utiliza para amplificar, medir y observar visualmente una señal eléctrica. Proporciona medios básicos para medir señales que cambian con mucha rapidez. La señal se presenta en la pantalla de un TRC. En operación normal el haz de electrones se barre horizontalmente a un ritmo uniforme en el tiempo mediante placas de deflexión horizontal. La señal que se desplegara en la pantalla se hace pasar después de ser amplificarla a través de las placas de deflexión verticales. La “traza” visible en la pantalla constituye, por tanto una grafica del voltaje de la señal.

### **2. ¿Qué diferencias existen entre los osciloscopios analógicos y digitales?**

En un osciloscopio analógico solo podemos visualizar las señales y mediarlas en base a la escala del osciloscopio (frecuencia, voltaje). En cambio un osciloscopio digital nos proporciona todas las mediciones posibles de la señal en pantalla.

### **3. ¿Qué tipo de mediciones puede hacer con los Osciloscopios?**

Analógicos: Se puede medir frecuencia, periodo, voltaje pico-pico y voltaje pico.

Digitales: Se puede medir frecuencia, periodo, voltaje pico-pico, voltaje pico, voltaje eficaz, se pueden visualizar señales en función de la frecuencia, etc....

### **4. Mencione cinco áreas en donde se requiere el uso del osciloscopio.**

Medicina, Telecomunicaciones, Audio, Video y electrónica.

### **5. Para una señal periódica defina los conceptos de amplitud, periodo y frecuencia.**

Frecuencia <sup>(2)</sup>. Es el número de d oscilaciones completas que se efectúan en un segundo.

### 6. Mencione las características de voltaje de corriente alterna, continua y directa.

Ca. Los voltajes y corrientes varían de forma sinusoidal.

cc. Corriente estable que no varía con el tiempo.

cd. es el flujo continuo de electricidad a través de un conductor entre dos puntos de distinto voltaje.

cc<sup>(2)</sup>. Corriente que circula en forma estable en una dirección.

Ca. Invierte la dirección varias veces por segundo y casi siempre es senoidal.

$$I = I_0 \text{sen} 2\pi ft$$

Observando la figura 2.6.1 se puede distinguir entre c.c. y c.a. así como también definir las

Señal continua (c.c.): Es una señal de amplitud fija.

Señal directa (c.d.): Es una señal que varía en amplitud pero no cambia de polaridad con respecto al eje del tiempo.

Señal alterna (c.a.): Es una señal de amplitud variable y que cambia de polaridad a lo largo del eje de tiempo.

### 7. Dibuje las formas de onda más comunes.

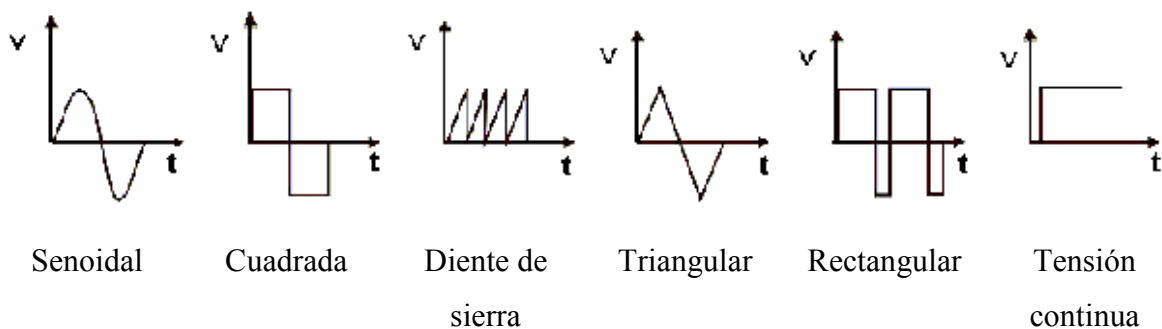


Figura 2.6.1 Diferentes formas de onda

## 2.7 LEYES DE KIRCHHOFF Y CIRCUITOS RC

### 1. Enuncie la ley de corrientes de Kirchhoff, así como su expresión matemática.

La <sup>(1)</sup> suma de las corrientes que entran a cualquier unión debe ser igual a la de las corrientes que salen de ella.

$$\Sigma I_{\text{entrada}} = \Sigma I_{\text{salida}}$$

La <sup>(2,3)</sup> suma algebraica de las corrientes en cualquier unión es cero.

$$\Sigma I = 0$$

Unión: Punto donde se encuentran tres o más conductores. También se conocen como nodos o puntos de derivación (figura 2.7.1).

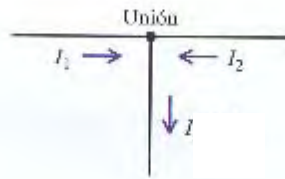


Figura 2.7.1 Unión o nodo

En <sup>(5)</sup> una unión (nodo) cualquiera de un circuito eléctrico, la corriente total que entra en dicha unión tiene que ser igual a la corriente que sale (figura 2.7.1). La regla de unión (algunas veces llamada primera ley de Kirchhoff) es en realidad una afirmación relativa a la conservación de la carga eléctrica.

$$I = I_1 + I_2$$

Ley <sup>(4)</sup> de los nodos (ley de corrientes).- La suma algebraica de las corrientes que inciden en un nodo es cero.

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

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

## 2. Enuncie la ley de voltajes de Kirchhoff, así como su expresión matemática.

La <sup>(1,2,3)</sup> suma algebraica de las diferencias de potencial en cualquier espira (incluso las asociadas con la fem y las de elementos con resistencia), debe ser igual a cero.

$$\Sigma V = 0$$

Espira: Cualquier camino conductor cerrado.

La <sup>(5)</sup> ley de voltajes se fundamenta en la ley de la conservación de la energía.

La suma algebraica de las diferencia de potencial alrededor de una malla completa de circuito ha de ser cero (figura 2.7.2).

A la regla anterior se le conoce como regla de la malla (y en ocasiones se le designa como segunda ley de Kirchhoff).

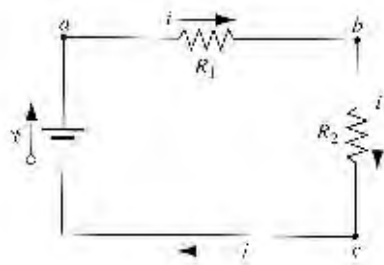


Figura 2.7.2 Malla de un circuito

$$-\varepsilon + iR_2 + iR_1 = 0$$

Ley <sup>(4)</sup> de voltajes.- La suma algebraica de los voltajes de todos los elementos (activos y pasivos) alrededor de cualquier trayectoria cerrada (malla) es cero.

$$\Sigma fems + \Sigma Ri = 0$$

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

**3. ¿Se cumple el principio de conservación de energía para las dos leyes anteriores?**

Si <sup>(1,4)</sup> se cumple por que estas dos leyes anteriores son consecuencia de la ley de la conservación de la energía y de la ley de la conservación de la carga.

La <sup>(2,3)</sup> ley de corrientes se basa en la ley de la conservación de la carga. Las cargas que entran a la unión también deben abandonarla (no se pierde ni se gana carga).

**4. Para el circuito de la segunda figura 2.7.3 de los fundamentos teóricos deduzca la ecuación  $V_R(t)$  en el proceso de carga y descarga del capacitor (posición a y b respectivamente) y realice las gráficas correspondientes para cada caso.**

Con el interruptor en la posición “a” se tiene el proceso de energización (considerando el capacitor totalmente desenergizado). Figura 2.7.4

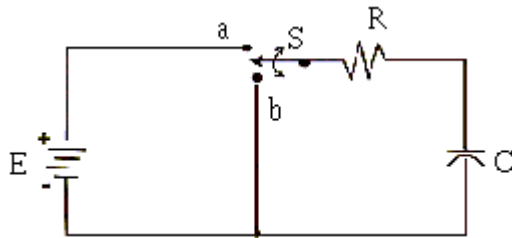


Figura 2.7.3 Circuito RC abierto

Con el interruptor en la posición “a” se tiene el proceso de energización (considerando el capacitor totalmente desenergizado). Figura 7D

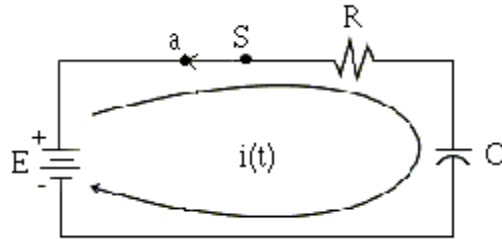


Figura 2.7.4 Interruptor en la posición “a”

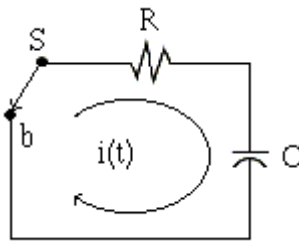


Figura 2.7.5 Interruptor en la posición “b”

Aplicando LVK se tiene

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

Donde

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

Multiplicando por  $(d/dt)$

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

$$\frac{di_c(t)}{dt} + \frac{1}{RC} i_c(t) = 0$$

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

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

Haciendo  $(d/dt)=D$

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

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

Raíz característica

Sustituyendo se tiene

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

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

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

Sustituyendo en ecuación anterior

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

Por lo tanto

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

$$V_R(t) = \mathcal{E} e^{(-\frac{1}{RC})t}$$

Ahora

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



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

Ahora cambiando el interruptor a la posición “b” se tiene el proceso de desenergización del capacitor. En tal situación el sentido de la corriente se invierte, el capacitor se comporta como elemento activo aplicando LKV al circuito de figura 2.7.5

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

Multiplicando por (d/dt) tenemos

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

Cuya solución homogénea es.

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

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

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

$$V_R(t) = \varepsilon e^{\left(-\frac{1}{RC}\right)t} \text{ [A]}$$

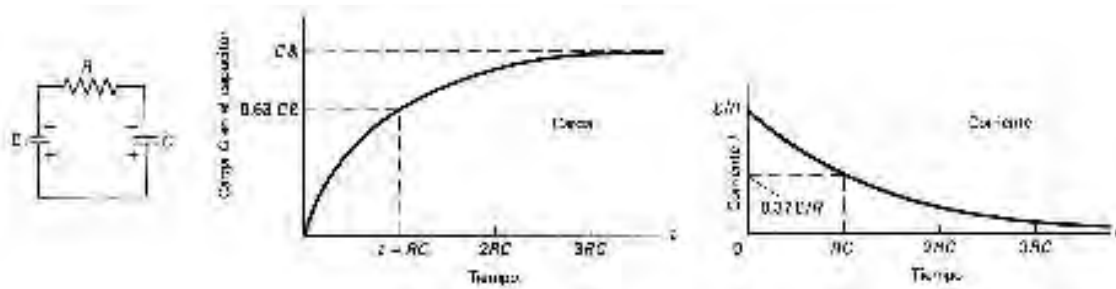


Figura 2.7.6

**5. Auxíliese por medio de la gráfica de voltaje de carga en un capacitor y represente el significado de la constante de tiempo para un circuito RC.**

La <sup>(2,3)</sup> carga de un capacitor en un circuito RC varía de acuerdo a la ecuación:

$$Q = C\varepsilon(1 - e^{-t/RC})$$

La carga  $Q$  en el capacitor aumenta desde  $Q = 0$  en  $t = 0$  hasta un valor máximo  $Q = C\varepsilon$  después de un largo tiempo. La cantidad  $RC$  recibe el nombre de constante de tiempo del circuito. (Las unidades  $RC$  son  $\Omega \cdot F = (V/A)(C/V) = C(C/s) = s$ ). Esta constante representa el tiempo que se requiere para que el capacitor alcance  $(1 - e^{-1})$  o el 63% de su carga máxima [ $Q = C\varepsilon(1 - e^{-1}) \approx 0.63C\varepsilon$ ]. En esta forma, el producto  $RC$  es una medida de la rapidez con que se carga un capacitor.

$Q$  nunca alcanza su valor máximo  $Q = C\varepsilon$  (excepto después de un tiempo infinito). Sin embargo alcanza el 86% de dicho valor en  $RC$ , el 95% en  $3RC$ , el 98% en  $4RC$  así sucesivamente hasta que se aproxima rápida y arbitrariamente cerca de su valor máximo figura 2.7.6.

La <sup>(1,5)</sup> cantidad  $RC$  en las ecuaciones

$$Q = C\varepsilon(1 - e^{-t/RC}) \dots(1)$$

$$I = \frac{dQ}{dt} = \frac{\varepsilon}{R} e^{-t/RC} \dots(2)$$

Presentan las dimensiones de tiempo y se conoce como constante de tiempo capacitivo  $\tau_c$  del circuito.

$$\tau_c = RC$$

Es el tiempo en que la carga del capacitor ha aumentado hasta un factor de  $1 - e^{-1}$  ( $\approx 63\%$ ) de su valor final  $C\varepsilon$ . Para demostrarlo introducimos  $t = \tau_c = RC$  en la ecuación (1) y así obtenemos

$$Q = C\varepsilon(1 - e^{-1}) \approx 0.63C\varepsilon$$

## 2.8 CAMPOS MAGNÉTICOS ESTACIONARIOS

### 1. Defina el concepto de magnetismo y enuncie algunas fuentes de campo magnético estacionario.

Un <sup>(4)</sup> campo magnético por si mismo debe atribuirse a carga eléctricas en movimiento. Sin embargo es común considerar como fuentes ordinarias de campo magnético los imanes o magnetitas y una corriente eléctrica que fluye en hilos conductores.

### 2. Enuncie las características más relevantes de las líneas de fuerza que representan un campo magnético estacionario. Además dibuje auxiliándose por medio de líneas de fuerza la configuración de campo magnético debido a: un imán recto y uno en forma de U.

Todo <sup>(2,3)</sup> campo magnético se puede representar por medio de líneas de campo magnético. La idea es la misma que en el caso de líneas de campo eléctrico. Se dibujan las líneas de modo que la línea que pasa por un punto cualquiera sea tangente al vector de campo magnético  $\vec{B}$  en ese punto. Solo se dibujan unas cuantas líneas representativas de otro modo las líneas ocuparían todo el espacio. Donde las líneas de campo adyacentes están próximas unas de otras la magnitud de campo es grande; donde estas líneas de campo están muy separadas, la magnitud de campo es pequeña. Asimismo, en virtud de que la dirección de  $\vec{B}$  en cada punto es única, las líneas de campo nunca se cruzan.

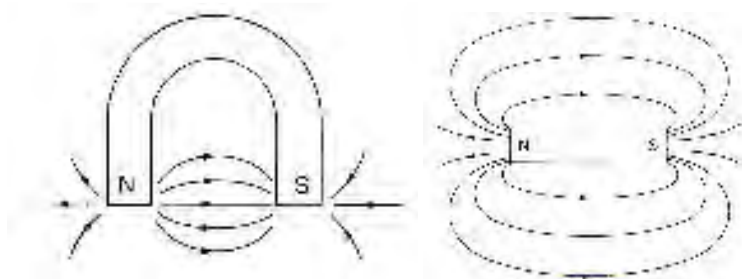


Figura 2.8.1 Imán recto y en forma de U.

La <sup>(5)</sup> figura 2.8.1 contiene las líneas de  $\vec{B}$  en un imán de barra. Obsérvese que las líneas pasan por el imán, formando espiras cerradas. A partir del agrupamiento de líneas de campo fuera del imán cercano a sus extremos, deducimos que el campo magnético en el espacio alrededor del imán tiene su magnitud máxima allí. Observe que las líneas del campo emergen desde el polo norte del imán y convergen hacia el polo sur.

Para <sup>(4)</sup> representar un campo magnético ( $B$ ) se utilizan líneas de fuerza, las cuales cumplen las siguientes características.

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

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

Matemáticamente:

$$\Phi_B = \oint_S \vec{B} \cdot d\vec{s} = 0$$

### **No existen polos magnéticos aislados**

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

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

### 3. Describa el experimento de Oersted, así como la regla de la mano derecha.

Cuando <sup>(1,3)</sup> la aguja de una brújula se colocaba cerca de un alambre eléctrico, la aguja se reflectaba tan pronto como se conectaba el alambre a una batería y circulaba corriente. Lo que Oersted descubrió fue que una corriente eléctrica produce un campo magnético.

Regla de la mano derecha. Tome el alambre con su mano derecha de modo que su pulgar apunte la dirección de la corriente convencional (positiva); en estas condiciones sus dedos rodearan el alambre en la dirección del campo magnético.

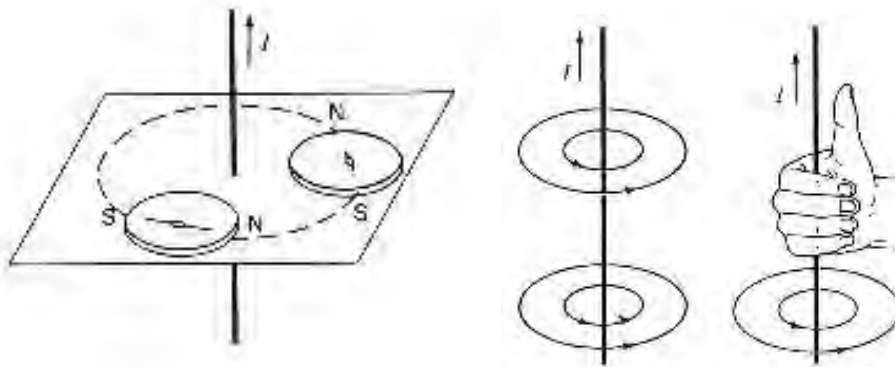


Figura 2.8.2 Regla de la mano derecha

Hans <sup>(3)</sup> Christian Oersted, encontró que un alambre conductor de corriente desviaba la aguja de una brújula como se muestra en la figura 2.8.2.



Figura 2.8.3 Se coloca una brújula directamente encima de un alambre horizontal. Cuando se coloca una brújula directamente debajo del alambre, los movimientos de la brújula se invierten.

El sentido positivo de la corriente se establece por medio por la regla de la mano derecha. Doble los dedos de su mano derecha en torno al trayecto de integración de modo que se doblen en la dirección de integración. En estas condiciones el pulgar derecho indica la dirección de la corriente positiva; las que lo hacen en dirección opuesta son negativas.

Cuando <sup>(5)</sup> se pone una brújula cerca de un alambre recto que lleva corriente, la aguja se alinea de modo que es tangente al círculo trazado alrededor del alambre (despreciando la influencia del campo magnético de la tierra en la brújula. Su descubrimiento significo el primer nexo entre electricidad y magnetismo.

En cualquier punto, la dirección de  $\vec{B}$  es tangente a la línea de campo en ese punto. El campo es grande donde las líneas están cerca una de otra (en la proximidad del alambre por ejemplo) y pequeño donde están más separados (distantes el alambre). En contraste con las líneas con las líneas del campo eléctrico producidas por la carga, que comienzan en cargas positivas y terminan en negativas, las de los campos magnéticos provenientes de las corrientes forman espiras continuas sin inicio ni fin. Para encontrar la dirección de las líneas de campo se emplea la regla de la mano derecha: si cogiéramos el alambre en la mano derecha con el pulgar en dirección de la corriente, los dedos se enrollarían alrededor del alambre en dirección del campo magnético.

#### **4. Enuncie la ley de Ampere así como su expresión matemática.**

La <sup>(1)</sup> ley de ampere puede enunciarse como sigue.

La integral lineal de  $\vec{B} \cdot d\vec{s}$  alrededor de cualquier trayectoria cerrada es igual a  $\mu_0 I$ , donde I es la corriente total estable que pasa a través de cualquier superficie limitada por la trayectoria cerrada.

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 I$$

La <sup>(2,3,5)</sup> integral de la línea de la intensidad de campo magnético  $\vec{B}$  alrededor de cualquier trayecto cerrado es igual al producto de  $\mu_0$  por la corriente neta a través del área encerrada por el trayecto.

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I_{enc}$$

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 (i_c + i_D) \quad \text{Ley de ampere generalizada}$$

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \left( i_c + \varepsilon \frac{d\Phi_\varepsilon}{dt} \right)$$

Al <sup>(4)</sup> evaluar la circulación de  $\vec{B}$ , para una trayectoria cerrada se tiene:

$$C_B = \oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 i \quad \text{Ley circuital de ampere}$$

Donde  $\vec{B} = B\hat{i}_\phi$

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

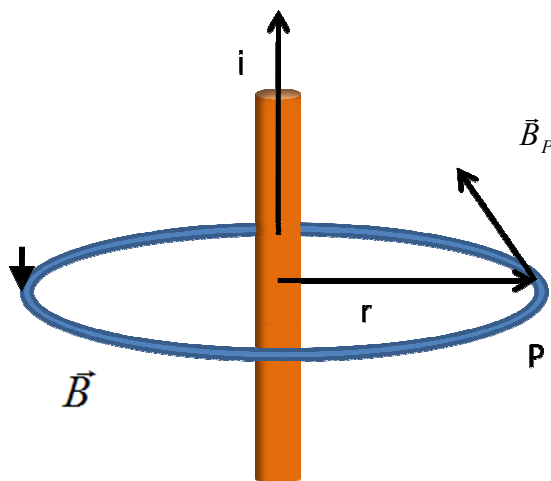


Figura 2.8.4 Circulación de un campo magnético en un alambre conductor.



- 5. Exprese la relación matemática debido a la fuerza magnética que obra sobre una carga eléctrica que se mueve en una región en la cual existe un campo magnético uniforme.**

La <sup>(1,2,3,5)</sup> fuerza magnética que actúa sobre una carga  $q$  moviéndose con una velocidad  $v$  en un campo magnético  $B$  es.

$$\vec{F}_B = q\vec{v} \times \vec{B}$$

La dirección de esta fuerza magnética es perpendicular tanto a la velocidad de la partícula como al campo magnético. La magnitud de esta fuerza es.

$$F_B = |q|vB \text{ Sen } \theta$$

## 2.9 LEY DE INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA DE FARADAY

### 1. Defina la ley de inducción Electromagnética de Faraday.

Establece <sup>(1,2,3)</sup> que la fem inducida en una espira cerrada es igual al negativo de la rapidez de cambio con respecto al tiempo del flujo magnético a través de la espira. Esta relación es válida ya sea que el flujo de cambio se deba a un campo magnético cambiante, al movimiento de la espira o ambas cosas.

$$\mathcal{E} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$$

Donde:  $\Phi_B = \oint \vec{B} \cdot d\vec{A}$  es el flujo magnético.

La ley <sup>(4)</sup> de inducción electromagnética de Faraday es el fundamento para el desarrollo de los Motores, relevadores, transformadores, etc.

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

En <sup>(5)</sup> un circuito la magnitud de la fuerza electromotriz inducida es igual a la rapidez con que el flujo magnético a través de este circuito cambia con el tiempo. En términos la ley se expresa así.

$$|\mathcal{E}| = \left| \frac{d\Phi_B}{dt} \right|$$

### 2. Defina la ley de Lenz.

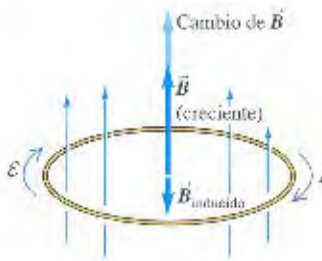
La <sup>(1)</sup> ley de Lenz afirma que la corriente y la fem inducidas en un conductor están en una dirección tal que establece un campo magnético que se opone al campo que las produjeron.

La <sup>(2)</sup> fem inducida produce corriente cuyo campo magnético se opone al cambio original en el flujo.

La <sup>(3)</sup> ley de Lenz es otro método conveniente para hallar la dirección de corriente o fem, la cual dice:

Una corriente o fem inducida siempre tiende a oponerse a, o a cancelar el cambio que la generó.

El <sup>(5)</sup> flujo del campo magnético debido a la corriente inducida se opone al cambio el flujo que produce a dicha corriente inducida.



**Figura 2.9.1.** La corriente inducida debido al cambio de  $\vec{B}$  fluye en el sentido de las manecillas del reloj, vista desde arriba de la espira. El cambio adicional  $\vec{B}_{\text{inducido}}$  originado por esta corriente es hacia abajo, opuesto al cambio del campo hacia arriba de  $\vec{B}$ .

### 3. Enuncie el principio básico del transformador eléctrico.

En su <sup>(1)</sup> forma más sencilla, el transformador de CA consta de dos bobinas de alambre enrolladas alrededor de un núcleo de hierro. El propósito del núcleo de hierro es aumentar el flujo magnético a través de la bobina y proporcionar un medio en el que casi todas las líneas de campo que pasan a través de una bobina lo hagan por la otra.

La <sup>(3)</sup> fuente de ca origina una corriente eléctrica en el primario, la cual establece un flujo alterno en el núcleo; esto induce una fem en cada devanado, de acuerdo con la ley de Faraday. La fem inducida en el secundario da origen a una corriente alterna en el secundario y este entrega energía al dispositivo que se está conectando en el secundario. Todas las corrientes y fem tienen la misma frecuencia que la fuente de ca (figura 2.9.3).

Principio <sup>(4)</sup> básico del transformador:

El transformador simple, consta de dos bobinas colocadas muy cerca y aisladas eléctricamente una de otra; según se muestra en la figura (2.9.2)

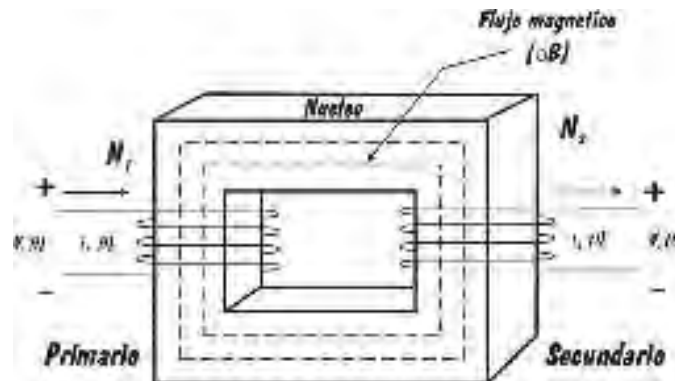


Figura 2.9.2 Transformador simple.

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

Un <sup>(5)</sup> transformador ideal, muestra 2 devanados de bobina en un núcleo de hierro. En la figura 2.9.3 se incluyen 2 bobinas enrolladas alrededor de un núcleo de hierro. El devanado primario de  $N_p$  vueltas, está conectado a un generador de corriente alterna cuya fuente electromotriz está dada por  $\epsilon$ . El devanado secundario, de  $N_s$  vueltas, es un circuito abierto mientras el interruptor  $s$  está abierto, cosa que suponemos por ahora. No fluye corriente por el devanado secundario. Al cerrarse el interruptor induce una corriente hacia secundario obteniendo un voltaje en este.

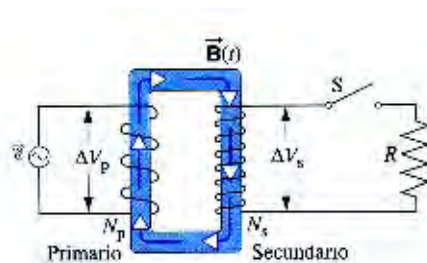


Figura 2.9.3 Transformador ideal.

#### 4. Enuncie el principio básico del generador de corriente alterna (c.a).

En <sup>(1)</sup> su forma más simple un generador de corriente alterna (CA) está constituido por una espira de alambre que gira en un campo magnético por algún medio externo.

Su <sup>(2,3)</sup> operación se fundamenta de la Ley de Faraday: una bobina de alambre se hace girar por medios mecánicos en un campo magnético uniforme y el flujo cambiante a través de la bobina induce una corriente senoidal, la cual constituye la salida del generador.

En <sup>(5)</sup> un generador, la rotación de la bobina induce una corriente cuya dirección cambia. Unos contactos deslizantes (“escobillas”) suministran la corriente a un circuito externo en los anillos figura 2.9.4.

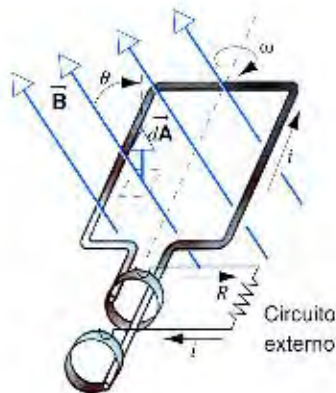


Figura 2.9.4 Principio básico del generador de c.a.

## 2.10 PROPIEDADES MAGNÉTICAS

### 1. Defina los conceptos siguientes:

#### 1.1. Diamagnetismo

Las <sup>(1)</sup> sustancias diamagnéticas son aquellas en las cuales la magnetización es débil y opuesta al campo  $\vec{B}$ , por lo que la susceptibilidad magnética es negativa.

Su <sup>(2)</sup> permeabilidad relativa  $K_m$  es un poco menor que 1. Están integrados por moléculas que no tienen momento bipolar magnético. Cuando se aplica un campo magnético externo, se inducen polos magnéticos pero el momento bipolar magnético está en la dirección opuesta al campo. Por tanto, el campo total será ligeramente menor que el campo externo.

En <sup>(3)</sup> ciertos materiales el momento magnético total de todas las espiras atómicas es cero en ausencia de un campo magnético. Pero incluso estos materiales presentan efectos magnéticos por que un campo externo altera los movimientos de los electrones dentro de los átomos, con lo cual genera espiras de corriente adicionales y dipolos eléctricos inducidos comparables a los dipolos eléctricos. En este caso la dirección del campo adicional creado por estas espiras de corriente siempre opuesta a la del campo externo.

Estos materiales son diamagnéticos. Siempre tienen susceptibilidad magnética negativa y permeabilidad magnética  $K_m$  ligeramente menor que la unidad, típicamente del orden de 0.99990 a 0.99999 en los sólidos y líquidos. Las susceptibilidades diamagnéticas son casi totalmente independientes de la temperatura.

Los <sup>(5)</sup> momentos dipolares magnéticos orbitales de spin de los electrones miden aproximadamente lo mismo (del orden de  $1\mu_b$ ); de ahí que contribuyan mucho a determinar las propiedades magnéticas de los átomos. El momento magnético total de un átomo se obtiene mediante la suma vectorial de los momentos magnéticos orbitales y el spin de todos sus electrones. Estas sumas vectoriales a veces se complican muchos en un átomo con

muchos electrones. Pero en algunos átomos los momentos magnéticos totales orbitales y el spin resultan cero.

Los materiales hechos de este tipo de átomos son prácticamente no magnéticos y presentan solo un efecto inducido débil, denominado diamagnetismo.

## 1.2. Paramagnetismo

Las <sup>(1)</sup> sustancias **paramagnéticas** son aquellas en las cuales la magnetización es débil y está en la misma dirección que el campo  $\vec{B}$ , de manera que la susceptibilidad magnética es positiva.

Su <sup>(2)</sup> permeabilidad relativa  $K_m$  es un poco mayor que 1. Ocurre en los materiales cuyas moléculas (o iones) tienen un momento dipolar magnético permanente. En la ausencia de un campo eléctrico las moléculas se orientan al azar y no se observan efectos magnéticos. No obstante cuando se aplica un campo magnético externo, el campo aplicado ejerce un momento de torsión sobre los dipolos magnéticos que tiende a alinearlos paralelos al campo; el campo magnético total será poco mayor que  $B_0$ .

El <sup>(3)</sup> campo magnético en cualquier punto de un material de este tipo es mayor, por un factor adimensional  $K_m$  denominado permeabilidad relativa del material. El valor de  $K_m$  difiere en distintos materiales; en sólidos y líquidos paramagnéticos comunes a temperatura ambiente,  $K_m$  fluctúa típicamente entre 1.00001 y 1.003.

Un material paramagnético como el aluminio es atraído hacia un imán permanente, pero las  $K_m$  (permeabilidad relativa) son tan pequeñas en comparación con materiales ferromagnéticos por lo que la atracción es muy débil.

En <sup>(5)</sup> otros átomos, el momento magnético orbital y el spin (o ambos) puede ser no cero; por consiguiente, los átomos se alinean en presencia de un campo magnético externo. A estos materiales se les llama para magnéticos.

### 1.3. Ferromagnetismo

En <sup>(1)</sup> las sustancias **ferromagnéticas**, las interacciones entre los átomos provocan que los momentos magnéticos se alineen y creen una fuerte magnetización que permanece después de haber retirado el campo externo.

Estos <sup>(2)</sup> materiales están conformados por pequeños dominós (cada uno un diminuto imán) que se alinea preferentemente a un imán permanente, pero que se alinean en una muestra no magnetizada. Los efectos magnéticos se cancelan mutuamente por lo que este pedazo de hierro no es un imán. Puede crearse un imán a partir de un pedazo de hierro desmagnetizado colocándolo en un campo magnético intenso. El campo magnético provoca un ligero alineamiento de los dominós en el objeto desmagnetizado por lo que este se convierte en un imán temporal.

En <sup>(3)</sup> estos materiales, las intensas interacciones entre los momentos magnéticos atómicos los incitan a alinearse paralelamente unos a otros en regiones denominadas dominios magnéticos incluso en ausencia de un campo externo.

Cuando no existe un campo aplicado desde el exterior las magnetizaciones de los dominios están orientadas al azar. Pero cuando esta presente un campo  $\vec{B}_0$  (generado por corrientes externas), los dominios tienden a orientarse paralelos al campo. La permeabilidad relativa  $K_m$  es mucho mayor que la unidad: típicamente del orden de 1000 a 100000. En consecuencia un objeto hecho de un material ferromagnético es fuertemente magnetizado por un imán permanente y es atraído hacia el imán.

El <sup>(5)</sup> tipo más común de comportamiento magnético es el ferro magnético, en el cual debido a las interacciones de los átomos, su alineación se conserva aun cuando se elimine el campo externo.

## 2. Defina el concepto de momento dipolar magnético.



El <sup>(2,3)</sup> producto  $IA$  se denomina momento bipolar magnético (magnitud del momento de torsión sobre una espira de corriente) o momento magnético de la espira y se representa mediante el símbolo  $\mu$ .

$$\mu = IA$$

Es análogo al momento bipolar eléctrico. En términos de  $\mu$ , la magnitud del momento de torsión sobre una espira de corriente es:

$$\tau = \mu B \sin\phi = IA$$

Donde  $\phi$  es el ángulo entre la normal y la espira (la dirección del área vectorial  $\vec{A}$  y  $\vec{B}$  figura 2.10.1). El momento de torsión tiende a hacer girar la espira en dirección de  $\phi$  decreciente, es decir, hacia su posición de equilibrio estable donde la espira yace en el plano  $xy$ , perpendicular a la dirección del campo  $\vec{B}$ .

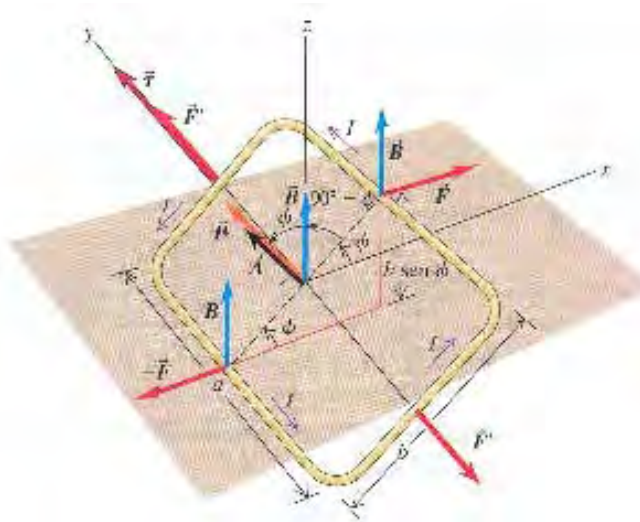


Figura 2.10.1 Momento dipolar magnético

El <sup>(4)</sup> momento magnético dipolar por unidad de volumen se define como: magnetización, la cual caracteriza el comportamiento magnético de los materiales.

Si <sup>(5)</sup> examinamos el Campo magnético generado por una espira circular de corriente en un punto del eje  $z$  (figura 2.10.1):

$$B = \frac{\mu_0 i R^2}{2(R^2 + z^2)^{3/2}}$$

Si estamos lejos de la espira ( $z \gg R$ ), esto se expresa así:

$$B = \frac{\mu_0 i R^2}{2z^3} = \frac{\mu_0 i \pi R^2}{2\pi z^3}$$

La expresión  $i\pi R^2$  en la ecuación anterior puede escribirse como  $iA$ , donde  $A = \pi R^2$  es el área de la espira circular. Sea define esta parte como la magnitud del momento dipolar magnético  $\mu$  de esta espira:

$$\mu = IA.$$

El momento dipolar magnético de una espira con corriente es el producto de la magnitud de la corriente y el área de la espira. Y si la espira tiene  $N$  vueltas,  $\mu = N IA$ .

**3. Deduzca la expresión matemática que relaciona el campo magnético generado en el núcleo del solenoide con la corriente eléctrica que fluye en el mismo y describa sus características.**

El <sup>(2,3)</sup> campo magnético dentro de un solenoide puede ser bastante grande, puesto que será la suma de los campos producidos por la corriente en cada una de las espiras. En la figura 2.10.2 vemos el campo debido a un solenoide cuando los anillos están separados. En la vecindad inmediata de cada alambre, las líneas de campo son muy parecidas a círculos como el caso de un alambre recto. Hacia el centro del solenoide los campos se suman para producir un campo casi uniforme.

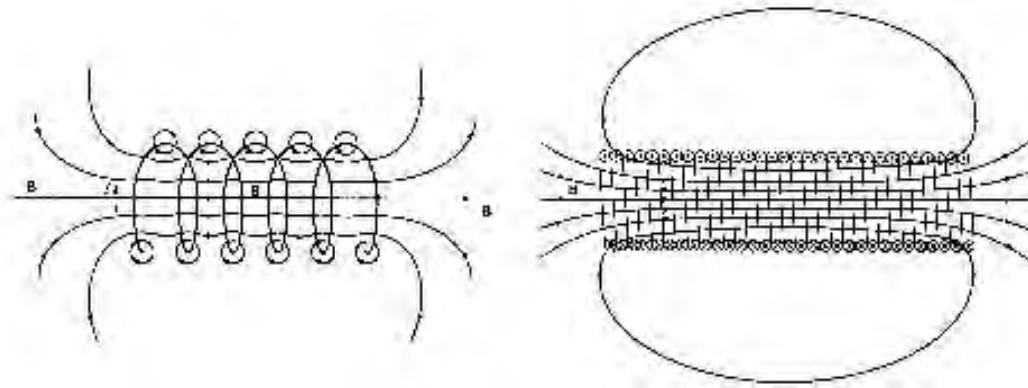


Figura 2.10.2 Campo magnético dentro de un solenoide

Atendiendo a la ley de Ampere para determinar el campo eléctrico en el interior de un alambre muy largo con un gran número de espiras y muy cercanas tenemos:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \int_b^a \vec{B} \cdot d\vec{l} = \int_b^c \vec{B} \cdot d\vec{l} = \int_c^d \vec{B} \cdot d\vec{l} = \int_d^a \vec{B} \cdot d\vec{l}$$

El campo exterior es tan pequeño que resulta despreciable por consiguiente será cero. Además  $\vec{B}$  será perpendicular en los segmentos b-c (figura 2.10.3) y da en el interior del solenoide y es casi cero entre y en el exterior de las bobinas. Por lo que la ecuación se reduce a:

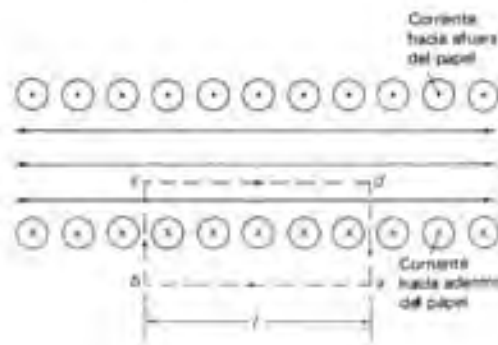


Figura 2.10.3 Sección transversal del solenoide.

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \int_c^d \vec{B} \cdot d\vec{l} = Bl$$

Donde  $B$  es el campo en el interior del solenoide y  $l$  es la longitud c-d. Si una corriente  $I$  circula en los alambres del solenoide, la corriente total encerrada es igual a  $NI$ .

$$Bl = \mu_0 NI$$

Si  $n = N/l$  es el numero de espiras por unidad de longitud, entonces.

$$B = \mu_0 nI$$

Teniendo <sup>(4)</sup> presente la expresión de campo magnético en el núcleo de un solenoide (figura 2.10.4).

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 Ni}{L} = \frac{\mu_0 NiA}{LA} = \frac{\mu_0 \vec{m}}{V}$$

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

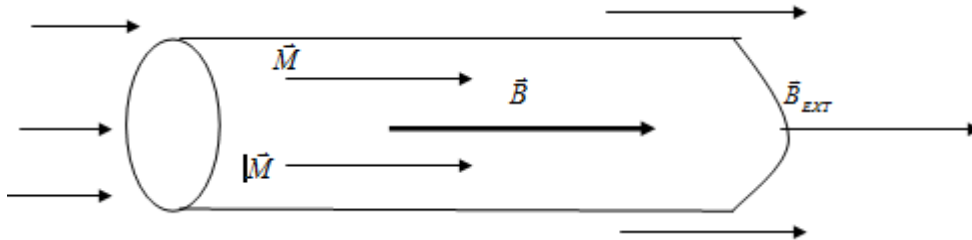


Figura 2.10.4 Núcleo del solenoide.

Por lo tanto:  $\vec{B}_N = \mu_0 \vec{M}$  contribución al campo magnético total, por parte del núcleo en su forma vectorial;

Donde:

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

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

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

### Campo magnético total del solenoide con núcleo

Definiendo la intensidad de campo magnético como:

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

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

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

Por lo tanto:

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}_{ext}}{\mu_o} \quad \text{o bien;} \quad \vec{B}_{ext} = \mu_o \vec{H}$$

El <sup>(5)</sup> solenoide es un devanado helicoidal en un núcleo cilíndrico. El alambre transporta una corriente  $i$  y están enrollados en forma compacta; así que hay  $n$  devanados por unidad de longitud en el solenoide.

Suponemos que el eje de simetría en el solenoide es el eje  $z$ , con el origen en el centro del solenoide (figura 2.10.5). Queremos determinar el campo en el punto P, que está a una distancia  $d$  del origen a lo largo del eje  $z$ . suponemos que los devanados son tan estrechos

que pueden considerarse aproximadamente espiras circulares de alambre paralelas en un plano xy. El solenoide tiene N vueltas por unidad de longitud es  $n=N/L$ .

Consideramos un anillo delgado de ancho dz. El numero de vueltas en ese anillo es de n dz y, por lo mismo, la corriente total que transporta es ni dz, puesto que cada vuelta tiene una corriente i. si empleamos la ecuación

$$B = \frac{\mu_0 i R^2}{2(R^2 + z^2)^{3/2}}$$

El campo en P proviene del anillo es:

$$dB = \frac{\mu_0 (ni \, dz) R^2}{2[R^2 + (z - d)^2]^{3/2}}$$

Donde z-d es la posición del anillo en relación con el punto P si deseamos determinar el campo total producido por estos anillos, integraremos la expresión anterior de  $z = -L/2$  a  $z=L/2$ . La evaluación de la integral nos da.

$$B = \frac{\mu_0 ni R^2}{2} \int_{-L/2}^{L/2} \frac{dz}{[R^2 + (z - d)^2]^{3/2}}$$

$$= \frac{\mu_0 ni}{2} \left( \frac{L/2 + d}{\sqrt{R^2 + (L/2 + d)^2}} + \frac{L/2 - d}{\sqrt{R^2 + (L/2 - d)^2}} \right)$$

En un solenoide ideal, la longitud L es mucho mayor que el radio R. en este caso la ecuación anterior queda así.

$$B = \mu_0 ni$$

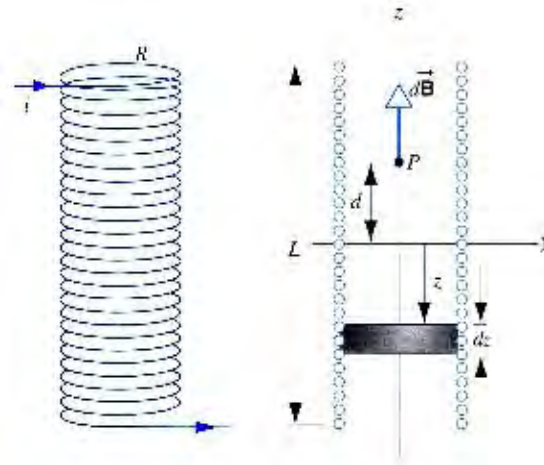


Figura 2.10.5 Solenoide ideal

4. Indique las unidades de intensidad de campo magnético  $\vec{H}$  y el campo magnético  $\vec{B}$  así como la expresión que relaciona ambas.

Las <sup>(1,2,3,4,5)</sup> unidades de intensidad y campo magnético son:

$\vec{B}$  - [Gauss] ó [Tesla]

$\vec{H}$  - [Ampere/metro]

Campo magnético	Gauss	Tesla
1 gauss	1	$10^{-4}$
1 Tesla	$10^4$	1

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H}$$

5. Defina el fenómeno de histéresis en los materiales ferromagnéticos.

Cuando <sup>(2,3,5)</sup> se magnetiza un material hasta saturación y a continuación se reduce a cero el campo externo, se conserva cierta magnetización. Este comportamiento es característico de

los imanes permanentes, los cuales retienen la mayor parte de su magnetización de saturación cuando desaparece el campo magnetizante. Para reducir la magnetización se requiere un campo magnético en dirección inversa.

Este comportamiento se llama histéresis. La magnetización y desmagnetización de un material que presenta histéresis implica una disipación de energía y la temperatura del material aumenta durante este proceso.



## CAPITULO 3

### DESARROLLO EXPERIMENTAL DE LAS PRÁCTICAS

#### 3.1 CARGA ELÉCTRICA, CAMPO Y POTENCIAL ELÉCTRICO

##### OBJETIVOS

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

##### CONCEPTOS NECESARIOS

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

##### MATERIAL Y EQUIPO

- Una piel de conejo.
- Una barra de vidrio.
- Un electroscopio de láminas.
- Un generador Van de Graaff.
- Una caja de acrílico con aceite comestible.

- Electrodo: dos placas planas, dos cilindros huecos y dos puntuales.
- Una caja de acrílico con arena cernida y húmeda.
- Una fuente de poder.
- 10 cables de conexión.
- Un multímetro digital.
- Una esfera de cargas inducidas.
- Una esfera de descarga.
- Semillas de pasto.
- Una Regla de plástico graduada de 30 cm.
- Un guante de látex.
- Un soporte universal

### **Formas de cargar un cuerpo eléctricamente.**

a) Explicación por parte del profesor del principio de funcionamiento del electroscopio de láminas.

- Inicialmente el electroscopio se encuentra descargado por lo que tiene una carga neutra o sea esta en equilibrio, al acercar un material cargado positivamente a la terminal ubicada en la parte superior del electroscopio los electrones de éste comenzarán a ser atraídos por la carga de este material por lo que el electroscopio quedará cargado positivamente y las láminas de este se repelen por tener la misma carga. Ahora si se acerca un material cargado negativamente los electrones del electroscopio serán repelidos hacia las láminas del electroscopio por lo que las cargará negativamente y se alejarán una de la otra (figura 3.1.1).

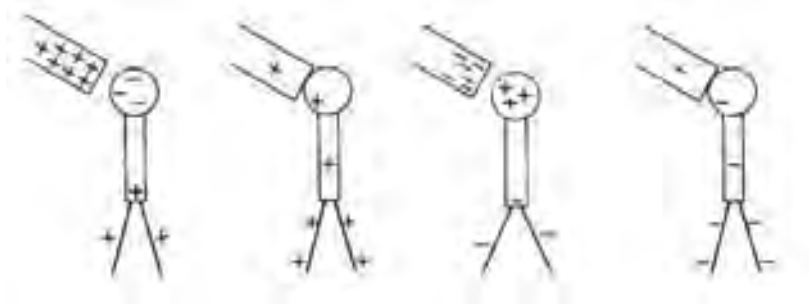


Figura 3.1.1. El electroscopio no detecta el signo de las cargas eléctricas, si no tan solo la presencia de estas.

b) Frote la barra de vidrio con piel de conejo y aproxímela lentamente hasta tocar el electroscopio de láminas como se muestra en la figura 3.1.2a.

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

*Nota: Para descargar el electroscopio de láminas toque con la mano.*



Figura 3.1.2a Electroscopio de láminas, contacto.

*Nota: En caso que el experimento no resulte con la barra de vidrio se sugiere usar la regla frotada con el cabello.*

c) Frote nuevamente la barra de vidrio con la piel de conejo y acérquela lentamente al electroscopio de láminas sin que se toque, figura 3.1.2b.

(Carga por inducción: Se debe de descargar el electroscopio tocándolo con la mano)

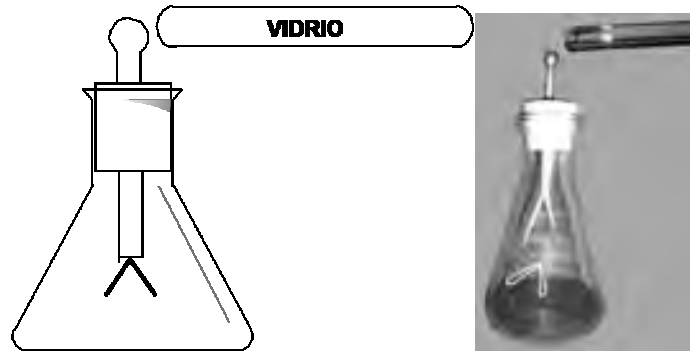


Figura 3.1.2b Electroscopio de láminas, inducción.

### Operación del Generador Van de Graaff.

d) El instructor explicará el funcionamiento del generador Van de Graaff



Figura 3.1.3 Generador Van de Graaff

El generador de Van de Graaff es una máquina electrostática que utiliza una cinta móvil para acumular grandes cantidades de carga eléctrica en el interior de una esfera metálica hueca (figura 3.1.3). Las diferencias de potencial así alcanzadas en un generador de Van de Graaff moderno pueden llegar a alcanzar los 5 megavoltios.

**Nota: Los Van de Graaff del laboratorio alcanzan entre 70 y 100 Kilovolts.**

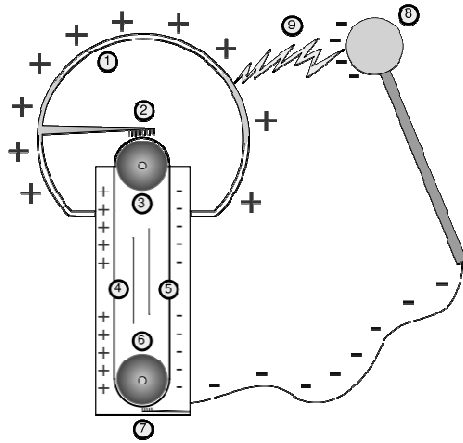


Figura 3.1.4 Esquema de un generador de Van de Graaff.

- 1) Esfera metálica hueca (con carga positiva)
- 2) Electrodo conectado a la esfera, un cepillo muy próximo (pero no en contacto) al electrodo y la correa
- 3) Rodamiento superior (por ejemplo en plexiglás)
- 4) Lado de la correa con carga positiva
- 5) Lado opuesto de la correa con carga negativa
- 6) Rodamiento inferior (metal)
- 7) Electrodo inferior (tierra)
- 8) Dispositivo esférico con carga negativa, utilizado para descargar la esfera principal.
- 9) Chispa producida por la diferencia de potencial

**Nota: Se debe de poner una esfera de descarga cerca del generador Van de Graaff para evitar descargas al usuario y poder operarlo.**

**Nota: Tenga cuidado de no subir toda la velocidad al generador ya que este produce descargas con potenciales grandes que pueden llegar a ser inoperante.**

e) Acerque la esfera de carga inducida al casco del generador Van de Graaff y aproxímela lentamente al electroscopio de láminas (figura 3.1.5).



Figura 3.1.5 Electroscopio de láminas

**Configuración de campo eléctrico.**

f) Considerar el siguiente dispositivo figura 3.1.6.

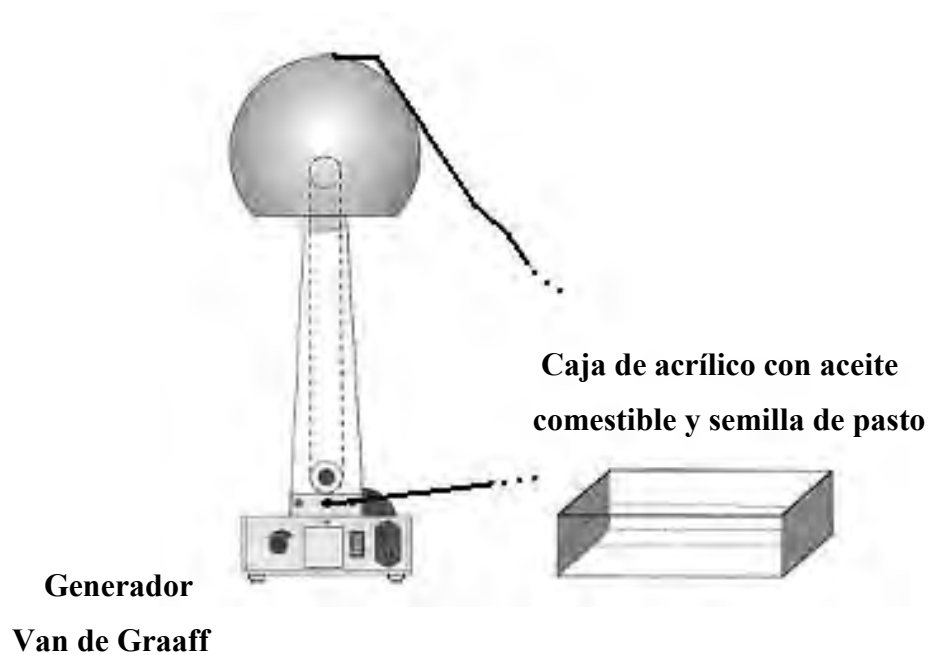


Figura 3.1.6. Configuración de campo eléctrico.

g) Coloque de manera correspondiente los siguientes electrodos en la caja de acrílico con aceite comestible.

- Un puntual (antes conecte al casco del generador).



Figura 3.1.7 Un puntual

- Un conductor recto (antes conecte al casco del generador).

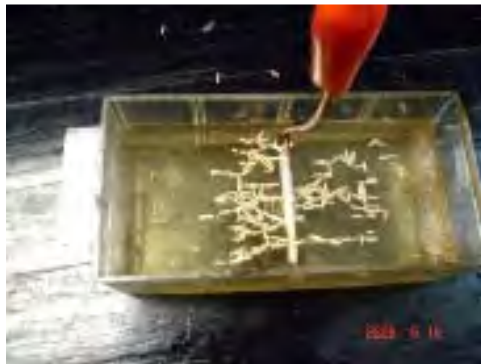


Figura 3.1.8 Conductor recto.

- Dos puntuales (conecte uno al casco del generador y el otro a la base del mismo).

**Nota:** *Se sugiere que los electrodos estén separados por lo menos 10 cm.*



Figura 3.1.9 Dos puntuales

- Una placa plana (conecte al casco del generador).

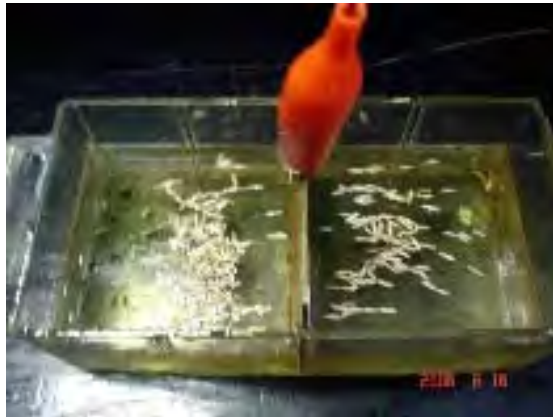


Figura 3.1.10 Una placa plana

- Dos placas planas (conecte una al casco del generador y la otra a la base del mismo).

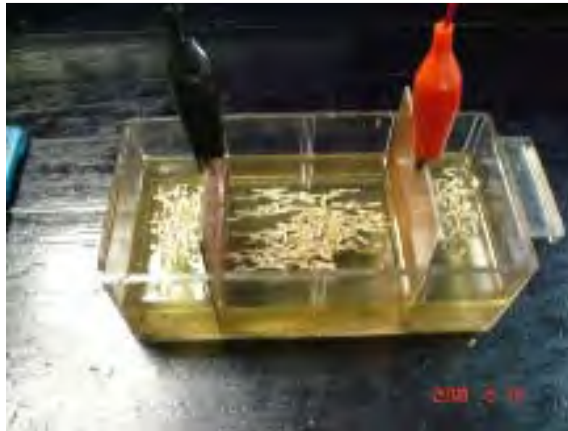


Figura 3.1.11 Dos placas planas

- Un cilindro hueco (antes conecte éste al casco del generador).



Figura 3.1.12 Un cilindro hueco



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

h) Arme el dispositivo de la figura 3.1.13 y aplique un voltaje de 20 [V].

**Nota: No usar las placas con aceite**

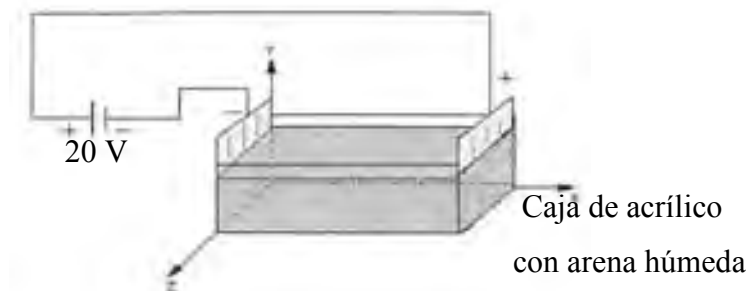


Figura 3.1.13. Superficies Equipotenciales con placas planas.

**Nota: Verifique que la arena esté uniformemente húmeda.**



Figura 3.1.14 Superficies Equipotenciales con placas planas

i) Con ayuda del multímetro en la función de voltímetro localice superficies equipotenciales entre las placas, en donde el voltaje sea constante e igual a 4, 8, 12, 16 y 20. Anote sus resultados en la tabla 3.1.1.

**Nota: Se sugiere usar una regla en forma transversal como guía.**

VOLTAJE [V]	DISTANCIA (EJE X) [m]
4	0.038
8	0.08
12	0.12
16	0.156
20	0.2

**Tabla 3.1.1 Superficies Equipotenciales.**

j) Introduzca un cilindro electrostático centrándolo en la caja de superficies equipotenciales según se muestra en la figura 3.1.15.

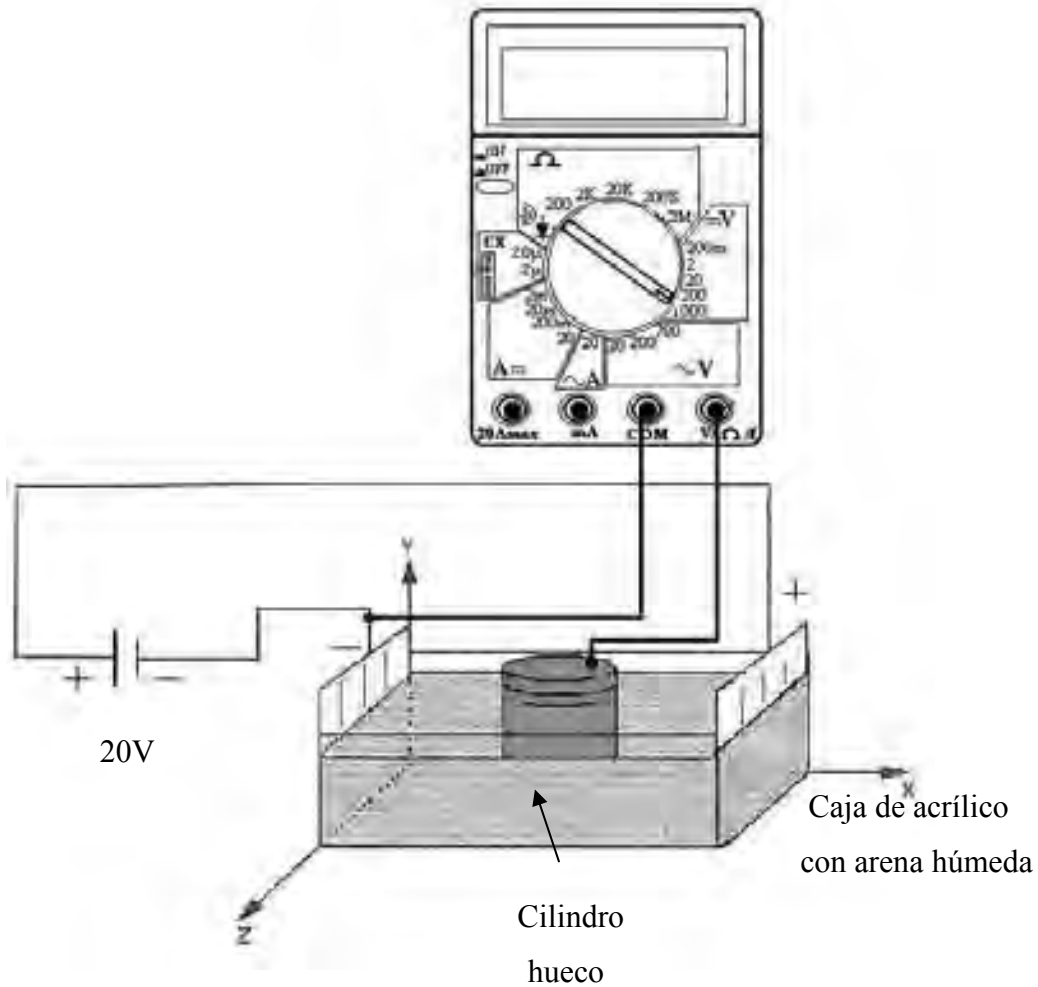


Figura 3.1.18a. Superficies Equipotenciales con cilindro.

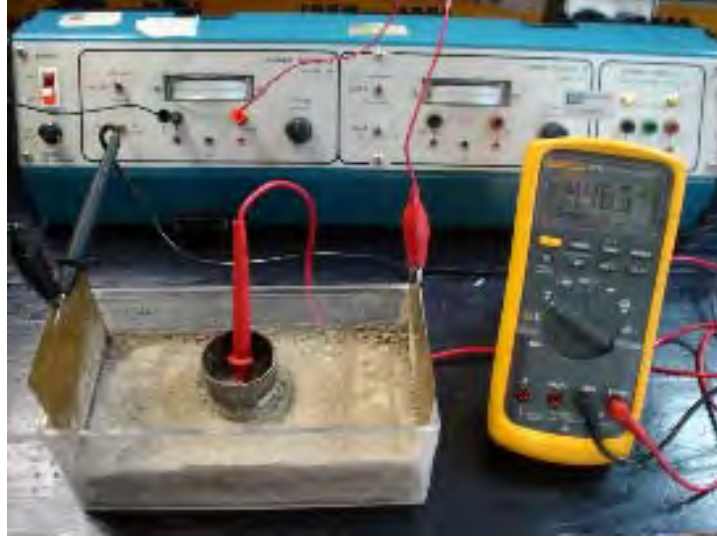


Figura 3.1.18b. Superficies Equipotenciales con cilindro.

k) Con ayuda del multímetro en la función de voltmetro, mida en dos puntos diferentes dentro del cilindro y anote el valor en la siguiente tabla.

*Nota: que no tenga aceite el cilindro*

LECTURAS	VOLTAJE
1	9.2
2	9.2

**Tabla 3.1.2. Volumen Equipotencial.**

### CUESTIONARIO FINAL

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

Se repelen debido a que se cargan con el mismo tipo de carga y se mantienen separadas

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

Se cargan por inducción con el mismo tipo de carga, haciendo que las hojas se repelen, al alejarse la barra se vuelven a juntar las placas.

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

b) Por contacto: Debido a que se hizo contacto con la barra de vidrio al electroscopio y las placas se cargaron y se repelieron. Al quitar la barra se mantuvieron cargadas

c) Por inducción: La barra no hizo contacto con el electroscopio pero al acercarse la barra cargada los electrones sobre el material neutro se redistribuyen cargando las placas con el mismo tipo de carga causando que las placas se repelan. Al alejar la barra el electroscopio vuelve a su estado neutro.

La barra en ambos incisos se carga por frotamiento.

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

En el casco del generador.

5. La carga neta en el casco del Generador Van de Graaff, ¿es del mismo tipo o diferente? Justifique su respuesta.

Del mismo tipo, ya que la carga siempre es positiva. Aunque sabemos que no existe una carga aislada totalmente positiva, pero consideramos simplemente la magnitud podemos decir que la carga que existe en el casco es de un solo tipo.

6. Dibuje, auxiliándose con líneas de fuerza, las configuraciones que representan al campo eléctrico debido a los electrodos utilizados en el inciso g).

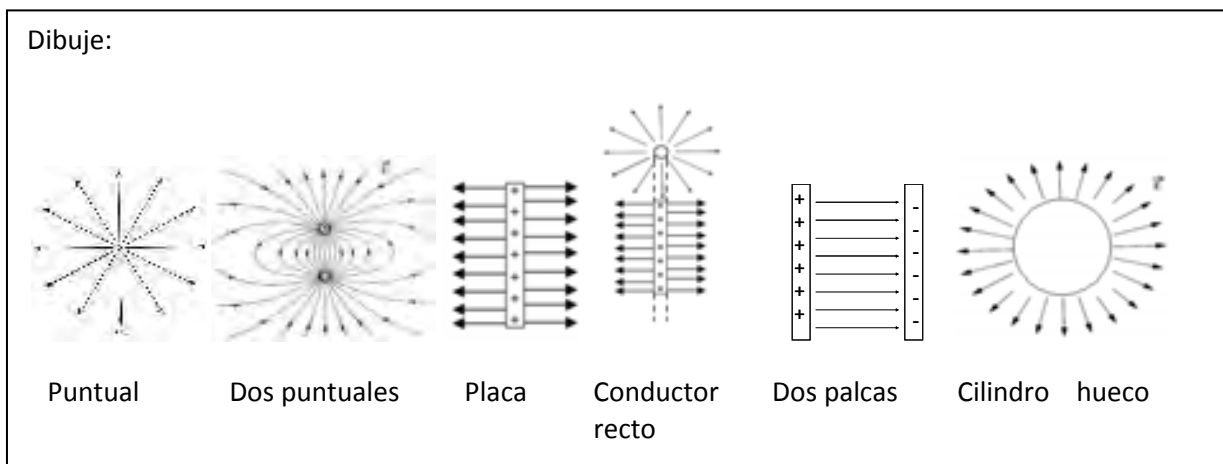


Figura 3.1.19 Configuración de líneas de fuerza de un campo eléctrico.

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

Son muy similares las configuraciones de carga observadas experimentalmente con respecto a las que presentan teóricamente.

7. Con los datos de la tabla 3.1.1 calcule el campo eléctrico para cada caso y concentre sus resultados en la misma.

VOLTAJE [V]	DISTANCIA (EJE X) [m]	CAMPO ELÉCTRICO [V/m]
4	0.038	105.2
8	0.08	100
12	0.12	100
16	0.156	102.5
20	0.2	100

**Tabla 3.1.3.**

8. El campo eléctrico calculado en la tabla 3.1.1 ¿Se comportó de manera uniforme? Explique.

Si se comportó de una manera uniforme, como se puede observar en los valores de la tabla; a demás el campo es constante debido a que no cambia la distancia entre las placas ni el voltaje de alimentación.

9. Represente en tres dimensiones, por medio de un diagrama, las superficies equipotenciales correspondientes a la tabla 3.1.1.

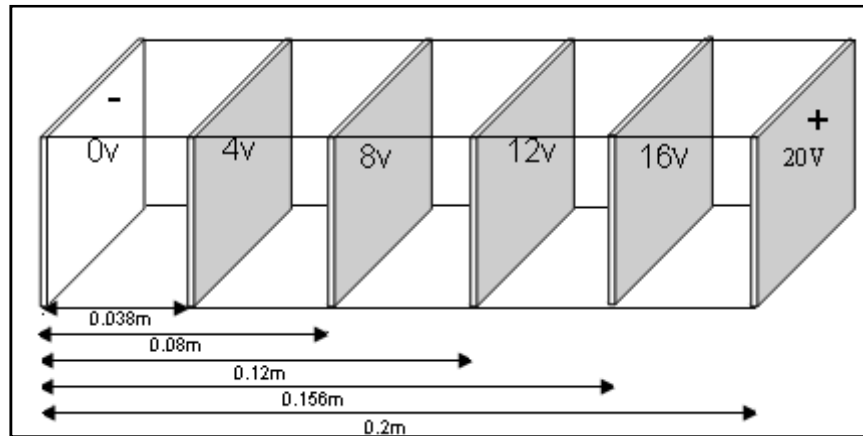


Figura 3.1.20 Representación de superficies equipotenciales.

11. ¿Qué sucede con el voltaje respecto a los demás ejes en el inciso i)?

*Se mantiene constante*

ESCRIBA SUS CONCLUSIONES Y COMENTARIOS A LA PRÁCTICA.

*Se pudo comprobar de manera experimental que se puede cargar eléctricamente un cuerpo de diversas formas como lo son la carga por frotamiento, por inducción y por contacto, esta carga se puede verificar mediante el uso del electroscopio de láminas. Por otra parte vimos el funcionamiento del generador de Van de Graaff el cual genera cargas electrostáticas muy grandes las cuales se detectaron con el electroscopio de láminas.*

*También vimos las configuraciones de campo debido a la presencia de diferentes cuerpos cargados, comprobando así las configuraciones de las líneas de fuerza.*

*En el dispositivo de superficies equipotenciales, se pudo observar primeramente como se forma un campo eléctrico constante y a través de él como se puede comprobar la existencia de superficies equipotenciales.*

## 3.2 CAPACITANCIA Y CAPACITORES

### OBJETIVOS

- I. Distinguirá los diferentes tipos de capacitores y sus características.
- II. Verificará que los capacitores almacenan energía.
- III. Verificará la relación que cuantifica la capacitancia en función de la carga y la diferencia de potencial entre sus placas.

### CONCEPTOS NECESARIOS

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

### MATERIAL Y EQUIPO

- Una Bocina.
- Un generador de señales.
- Un tablero con muestras de capacitores.
- Una fuente de poder de cd.
- Un multímetro.
- Capacitores de  $500\mu\text{F}$  a 50V,  $2200\mu\text{F}$  a 16V,  $47\mu\text{F}$  a 16V,  $100\mu\text{F}$  a 16V,  $22\mu\text{F}$  a 16V.
- 8 cables de conexión tipo bula.
- 10 cables de conexión.
- Un LED rojo a 3 V.

## DESARROLLO

### Tipos de Capacitores y sus características.

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

### Capacitor como filtro de señal de audio

- b) Explicación por parte del profesor del funcionamiento de un capacitor como filtro de señal de audio.

Considerando que las señales eléctricas circulan por donde se presenta una menor resistencia óhmica, cuando en el circuito se tiene la fuente y la bocina (figura 3.2.1a), todas las señales pasan por la bocina independientemente de su magnitud y su frecuencia.

Pero cuando se agrega un capacitor en paralelo (figura 3.2.2a), la situación cambia y se debe considerar el parámetro de impedancia ( $Z$ ) de la bocina y la impedancia que presenta el capacitor, esta última puede considerarse igual al valor de la reactancia capacitiva ( $X_C$ ). Considerando lo anterior cuando la señal de audio tiene una determinada frecuencia, provoca que se presenta una impedancia en la capacitancia, si el valor de esta es menor a la impedancia de la bocina entonces la señal circula por el capacitor y no por la bocina, diciendo entonces que la señal se filtro y si la impedancia que presenta el capacitor es mayor que la que presenta la bocina, la señal circulara por la bocina y no se filtro.

La impedancia está dada por  $z = \sqrt{R^2 + (X_L^2 - X_C^2)}$  [ $\Omega$ ]

Donde:

$Z$  - Impedancia

$R$  - Resistencia

$X_L$  - Reactancia Inductiva

$X_C$  - Reactancia capacitiva



$$X_L = \omega L = 2\pi f [\Omega] \quad X_C = -\frac{1}{\omega C} = -\frac{1}{2\pi f C} [\Omega]$$

Donde:

$\omega$  - Velocidad angular

$f$  - Frecuencia

L - Inductancia

C - Capacitancia.

La impedancia de la bocina ( $Z_b$ ) tiene un valor nominal establecido ( $4 \Omega$ ,  $6 \Omega$ ,  $8 \Omega$ , etc.), por general la impedancia nominal de las bocinas usadas en el laboratorio son de  $8 \Omega$ .

La impedancia cuando solamente se considera el capacitor es igual a la reactancia capacitiva.

$$z = \sqrt{(-X_C^2)} = X_C$$

c) Arme el circuito de la figura 3.2.1.

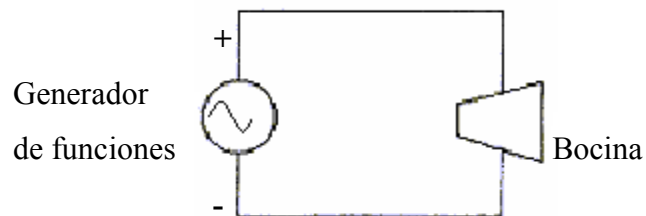


Figura 3.2.1a Circuito de audio.



Figura 3.2.1b Circuito de audio.

d) Varíe la frecuencia, hasta escuchar un sonido y siga incrementando hasta que se deje de oír.

*Nota: La frecuencia audible en promedio es de 20 hz a 20 Khz*

e) Mantenga una frecuencia audible, a continuación agregue un capacitor que sirva como filtro, según se muestra en la figura 3.2.2 y escuche el cambio de sonido.

*Nota: Se sugiere una frecuencia entre 1500 y 1600 Hz.*

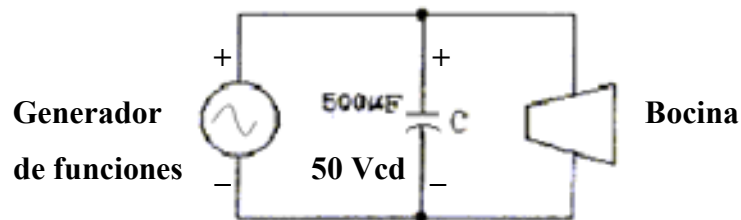


Figura 3.2.2a Circuito de audio con capacitor.



Figura 3.2.2b Circuito de audio con capacitor.

**Verificar que los capacitores almacenan energía.**

f) Conecte el capacitor de  $2200 \mu\text{F}$  a la fuente graduada a  $5\text{Vcd}$ , como se indica en la figura 3.2.3.

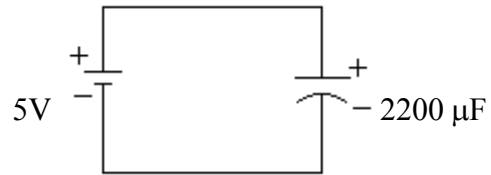


Figura 3.2.3a. Energización de un capacitor.



Figura 3.2.3b. Energización de un capacitor.

g) Desconecte el capacitor, teniendo cuidado de no tocar sus terminales y conéctelo a las terminales del Voltímetro según se muestra en la figura. 3.2.4.

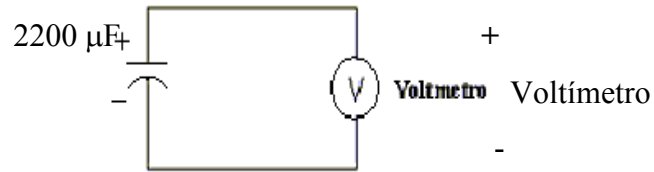


Figura 3.2.4a Desenergización de un capacitor.



Figura 3.2.4b Desenergización de un capacitor.

h) Repita el inciso d), pero ahora conecte un LED (diodo emisor de luz) a las terminales del capacitor como se indica en la figura 3.2.5 y observe lo que sucede.

**Nota:** Conectar el LED al capacitor correctamente, la muesca (parte plana) del LED corresponde al negativo.



Figura 3.2.5a. Desenergización de un capacitor con LED.



Figura 3.2.5b. Desenergización de un capacitor con LED.

**Circuitos con capacitores.**

i) Arme el circuito de la figura 3.2.6, cuidando no sobrepasar el voltaje máximo de trabajo del capacitor.

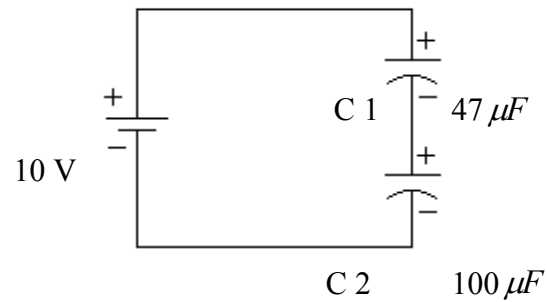


Figura 3.2.6a Capacitores en serie.



Figura 3.2.6b Capacitores en serie.

j) Mida el voltaje en los capacitores  $C_1$  y  $C_2$ , anote los valores medidos en la tabla 3.2.1.

**Nota: Valores de voltajes calculados.**

$$C_T = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = \frac{100 \mu f + 47 \mu f}{100 \mu f + 47 \mu f} = 31.9 \mu f$$

$$C_T = \frac{q_T}{V_T} \Rightarrow q_T = C_T V_T = (31.92 \mu f)(10v) = 319.2 \mu C$$

$$q_{C1} = q_{C2} = q_T = 319 \mu C$$

$$V_{C1} = \frac{q_{C1}}{C_1} = \frac{319.2 \mu C}{100 \mu f} = 3.19 v$$

$$V_{C2} = \frac{q_{C2}}{C_2} = \frac{319.2 \mu C}{47 \mu f} = 6.78 v$$

**Nota: Las mediciones deben ser lo más rápido posible para no alterar los valores teóricamente (se recomienda medir los capacitores para obtener resultados más coherentes con los valores que se obtienen experimentalmente).**

CIRCUITO	V <sub>C1</sub> [V]	V <sub>C2</sub> [V]	V <sub>C3</sub> [V]
Figura 3.2.7	6.5	3.5	
Figura 3.2.8	10.0	10.0	
Figura 3.2.9	7.0	2.8	2.8

Tabla 3.2.1 Concentrado de voltajes en capacitores.

k) Arme el circuito de la figura 3.2.7.

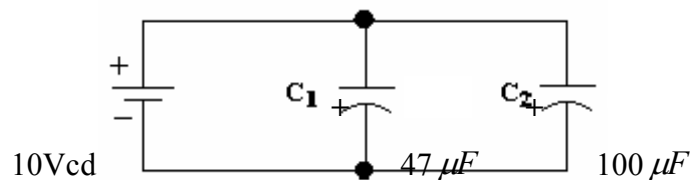


Figura 3.2.7a Capacitores en paralelo.



Figura 3.2.7b Capacitores en paralelo.

l) Mida el voltaje en cada capacitor  $C_1$  y  $C_2$  y anote sus mediciones en la tabla 3.2.1.

**Nota: los voltajes en paralelo son iguales.**

$$V_T = V_{C_1} = V_{C_2} = 10\text{v}$$

m) Arme el circuito de la figura 3.2.8.

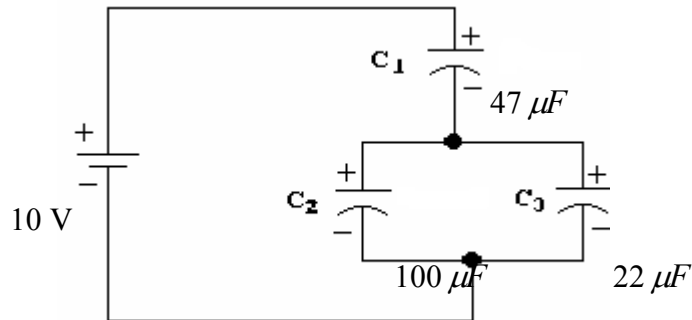


Figura 3.2.8a Capacitores serie-paralelo.



Figura 3.2.8b Capacitores serie-paralelo.

n) Mida el voltaje en cada capacitor  $C_1$ ,  $C_2$  y  $C_3$  concentre sus mediciones en la tabla 3.2.1.

**Nota: Valores de voltajes calculados teóricamente.**

$$C_T = \frac{47 \mu(100 \mu f + 22 \mu f)}{47 \mu + (100 \mu f + 22 \mu f)} = 33.92 \mu f$$

$$C_T = \frac{q_T}{V_T} \Rightarrow q_T = (33.92 \mu f)(10 v) = 339.2 \mu C$$

$$V_{C1} = \frac{q_{C1}}{C_1} = \frac{339.2 C}{47 \mu f} = 7.21 v$$

$$q_T = q_{C1} = q_{C2,3}$$

$$V_{C2,3} = \frac{q_{C2,3}}{C_{2,3}} = \frac{339.2 C}{122 \mu f} = 2.78 v$$

$$V_{C2} = 2.78 v \text{ y } V_{C3} = 2.78 v$$

## CUESTIONARIO FINAL

1. ¿Qué parámetros debe especificar el fabricante de un capacitor?

Voltaje máximo de operación, capacidad (faradios), tolerancia y polaridad (si son electrolíticos).

2. ¿Por qué debemos respetar el valor del voltaje especificado en los capacitores?

Si no se respeta el voltaje especificado, el capacitor se daña (explota).

3. De acuerdo al inciso e) ¿Cuál es el rango de la frecuencia audible?

20Hz a 20 kHz, puede variar un poco en función de la capacidad auditiva de cada persona.



4. ¿Cómo funciona un capacitor como filtro para señales de audio?

La reactancia capacitiva que presenta un capacitor, está en función de la frecuencia de una señal variante en el tiempo como indica la siguiente ecuación.

$$X_c = -\frac{1}{j2\pi fC}$$

Por consiguiente el capacitor limita el paso de una señal a una frecuencia determinada.

5. ¿Qué concluye respecto a lo sucedido en el inciso f)?

El capacitor filtra la señal de audio, atenuando el sonido que se genero en la bocina tratando de eliminarlo.

6. De acuerdo a lo sucedido en el inciso h), explique la razón por lo que el multímetro marca un voltaje al conectarse al capacitor.

Porque el capacitor se ha cargado, almacenado energía eléctrica. Se observa que el capacitor tiene el mismo valor de voltaje que el de la fuente de alimentación.

7. ¿Qué concluye de acuerdo a lo observado en el inciso i)?

El diodo emisor de luz se enciende por un instante, lo que indica que el capacitor tenía energía almacenada.

8. A partir de la tabla 3.2.1, diga si, se cumple o no la relación de carga igual en capacitores en serie y justifique su respuesta con cálculos.

Son aproximados, esta diferencia se debe a que toma el valor nominal de los capacitores y no el valor real.

Cálculos:

$$C_1 = \frac{q_1}{V_{C1}} \Rightarrow q_1 = C_1 V_{C1} = (47 \mu\text{f})(6.5\text{v}) = 305.5 \mu\text{C}$$

$$C_2 = \frac{q_2}{V_{C2}} \Rightarrow q_2 = C_2 V_{C2} = (100 \mu\text{f})(3.5\text{v}) = 350 \mu\text{C}$$

9. Para capacitores conectados en paralelo el voltaje es igual entre sus terminales. De acuerdo a los valores de la tabla 3.2.1 ¿Se cumple para los circuitos de las figuras, 3.2.7 y 3.2.8?

*Si, como se observa en la tabla.*

CIRCUITO	V <sub>C1</sub> [V]	V <sub>C2</sub> [V]	V <sub>C3</sub> [V]
Figura 3.2.7	10	10	
Figura 3.2.8	6.9	2.8	2.8

**Tabla 3.2.2**

10. De acuerdo a las mediciones de la figura 3.2.7 y 3.2.8 ¿En qué circuito se almacena una mayor energía?, justifique su respuesta con cálculos.

*En el circuito paralelo de la figura 3.2.8.*

Cálculos:

Figura 3.2.7 (serie).

$$U_T = \frac{1}{2} C_T V_T^2 = \frac{1}{2} (31.9 \mu\text{f})(10)^2 = 1.595 \text{mJ}$$

Figura 3.2.8 (paralelo).

$$U_T = \frac{1}{2} C_T V_T^2 = \frac{1}{2} (147 \mu\text{f})(10)^2 = 7.35 \text{mJ}$$

ESCRIBA SUS CONCLUSIONES Y COMENTARIOS A LA PRÁCTICA.

Se observó que la mala conexión de un capacitor electrolítico puede provocar su destrucción ya que estos son polarizados, sin embargo existen capacitores cerámicos los cuales no les afecta la polarización. Se comprobó que un capacitor es capaz de filtrar una señal de audio.

También se corrobora como un capacitor almacena energía, ya que al medir su voltaje después de cargarse eléctricamente éste lo conserva. También es capaz de encender un led por un corto tiempo debido a que el capacitor se va descargando al colocarle una carga.

Por último se comprobó el comportamiento de los capacitores en sus diferentes arreglos (serie, paralelo y serie-paralelo), los valores obtenidos experimentalmente son muy cercanos a los obtenidos teóricamente.

### 3.3 CONSTANTES DIELECTRICAS Y RIGIDEZ DIELECTRICA

#### OBJETIVOS

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

#### CONCEPTOS NECESARIOS

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

#### MATERIAL Y EQUIPO

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

➤ Un Vernier.

## DESARROLLO

### Determinación de la permitividad del aire.

- a) Con ayuda del profesor mida la capacitancia del capacitor de placas paralelas, separadas 1mm, como se indica en la figura 3.3.1

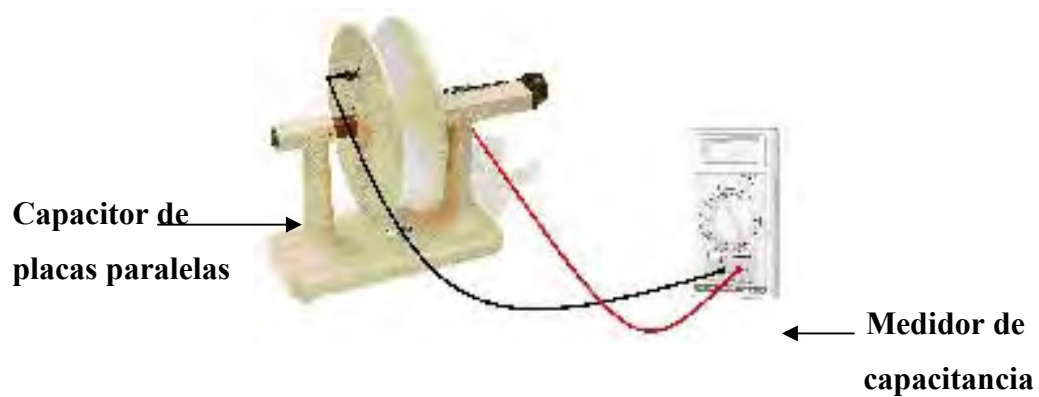


Figura 3.3.1 Medición de capacitancia.

- b) Obtenga los valores de capacitancia requeridos en la tabla 3.3.1.

*Nota: Se sugiere verificar las distancias entre las placas con un vernier digital.*

d [mm]	C [F]	$\epsilon_0$ (aire) [C/N·m <sup>2</sup> ]
1	392p	
2	215p	
3	165p	
4	102p	
5	83p	
<b>Valor promedio</b>		

Tabla 3.3.1 Constante de permitividad eléctrica.

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

**Determinación de las constantes dieléctricas.**

- c) Haciendo referencia a la figura. 3.3.1, coloque entre las placas del capacitor: madera, papel, hule y fibra de vidrio (una a la vez); midiendo la capacitancia en cada caso, primero con dieléctrico y luego sin él, conservando la distancia al sacar el dieléctrico, concentre sus mediciones en la tabla 3.3.2.

MATERIAL	C (CON DIELECTRICO)	C (CON AIRE)	Kr
Madera	242p	67p	
Papel	1237p	790p	
Hule	-	-	
Fibra de Vidrio	621p	348p	

Tabla 3.3.2 Constantes dieléctricas.

$$C_m = KC_0$$

$$K = \frac{C_m}{C_0}; K > 1$$



Figura 3.3.2 Medición de capacitancia de madera.

**Rigidez dieléctrica.**

d) Arme el dispositivo de la figura. 3.3.3a

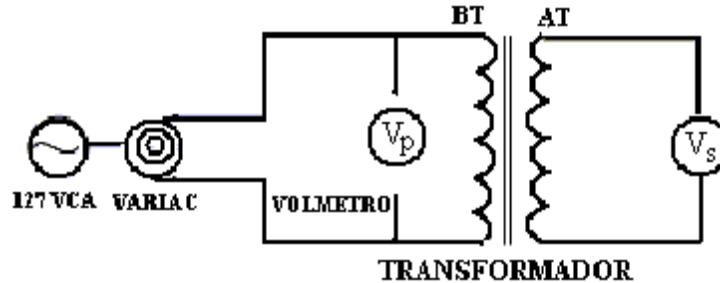


Figura 3.3.3a Dispositivo para determinar la relación de transformación.



Figura 3.3.3b Dispositivo para determinar la relación de transformación.

e) Encontrar el voltaje del secundario ( $V_s$ ) del transformador para los diferentes valores de voltaje del primario ( $V_p$ ) según muestra la tabla 3.3.3.

**Nota:** Desconectar de la alimentación el variac antes de hacer conexiones en el primario del transformador. El área de trabajo debe estar libre de objetos.

**NOTA:** AL ROMPER LA RIGIDEZ DIELECTRICA INMEDIATAMENTE SE DEBE BAJAR EL VOLTAJE, DEBIDO A QUE EL TRANSFORMADOR SE PONE EN CORTO CIRCUITO.

$V_p$ [V]	$V_s$ [V]	RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN $a = \frac{V_p}{V_s}$
1.016	85	
2.076	194	
<b>Valor promedio</b>		

Tabla 3.3.3 Relación de transformación.

f) Con ayuda del profesor arme el dispositivo de la figura 3.3.4a

*Nota: Desconectar de la alimentación el variac antes de hacer conexiones en el primario del transformador. El área de trabajo debe estar libre de objetos.*

**NOTA: AL ROMPER LA RIGIDEZ DIELECTRICA INMEDIATAMENTE SE DEBE BAJAR EL VOLTAJE, DEBIDO A QUE EL TRANSFORMADOR SE PONE EN CORTO CIRCUITO.**

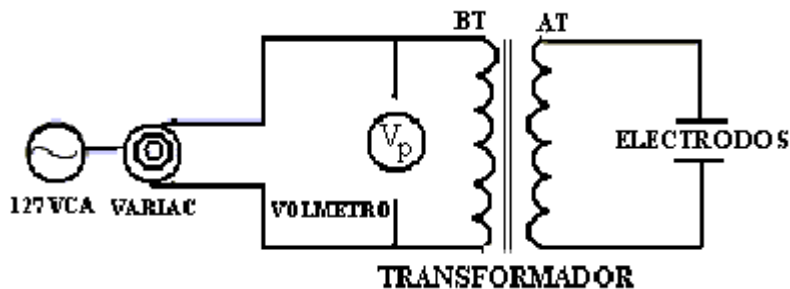


Figura 3.3.4a Dispositivo de ruptura de rigidez dieléctrica.





Figura 3.3.4b Dispositivo de ruptura de rigidez dieléctrica.

***Precaución:*** La caja del probador de ruptura debe estar cerrada al aplicar el voltaje.

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

***Nota:*** Para fijar la separación se recomienda usar el vernier y para la conexión del transformador a la caja de ruptura se recomienda usar un solo conector banana-caimán.

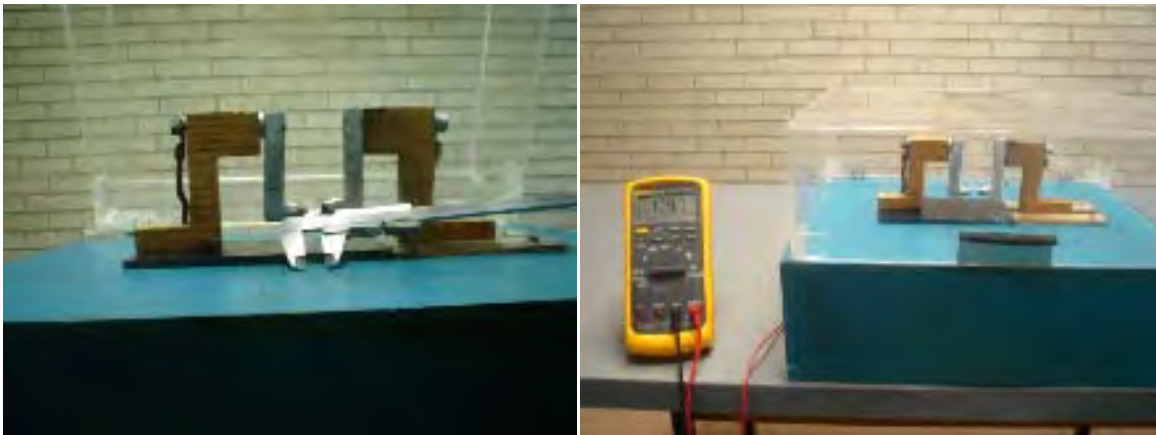


Figura 3.3.4c Fijación de la separación entre electrodos.

h) Realice varias pruebas de acuerdo a la tabla 3.3.4 y concentre sus lecturas en la misma.

DISTANCIA [mm]	VOLTAJE DEL PRIMARIO (V <sub>p</sub> ) [V]	VOLTAJE DE RUPTURA $V_s = V_R = \frac{V_p}{a}$ [V]	CAMPO ELECTRICO $E = \frac{V_R}{d}$ [V/m]
10	103.9	9.195 k	
8	88.9	7.867 k	
6	78.8	6.973 k	
4	47.64	4.215 k	
Campo Eléctrico Promedio			

Tabla 3.3.4 Rigidez dieléctrica del aire.

**Nota:** Para la ruptura de rigidez se debe considerar las condiciones del medio ambiente.

i) Con ayuda del dispositivo de la figura 3.3.4a y de acuerdo a la tabla 3.3.5 introduzca las muestras de dieléctrico (una a la vez) juntando los electrodos de tal manera que la muestra quede fija entre ellos; incremente lentamente la diferencia de potencial y determine el voltaje de ruptura correspondiente, concentre sus mediciones en la misma.

**Nota:** Desconectar de la alimentación el variac antes de hacer conexiones en el primario del transformador. El área de trabajo debe estar libre de objetos.

**NOTA:** AL ROMPER LA RIGIDEZ DIELECTRICA INMEDIATAMENTE SE DEBE BAJAR EL VOLTAJE, DEBIDO A QUE EL TRANSFORMADOR SE PONE EN CORTO CIRCUITO.

DIELÉCTRICO	DISTANCIA (ESPESOR) [m]	¿OCURRIÓ RUPTURA?	VOLTAJE DE RUPTURA [V]	CAMPO ELÉCTRICO DE RUPTURA [V/m]
Madera	0.00544	Si	65.9	
Papel	0.0001	Si	21.77	
Fibra de vidrio	0.00119	No	-	
Vidrio	0.00307	No	-	
Aceite comestible	0.002	Si	30.98	
Aceite #40	0.002	Si	63.53	

Tabla 3.3.5 Rigidez dieléctrica de varios materiales.



Figura 3.3.5 Ruptura de dieléctrico (madera y acrílico)

***Nota: Para La fibra de vidrio y el vidrio puede haber un puente de electricidad por otros lados y hay que tener cuidado porque esto puede ser peligroso.***

- i) Ahora respecto a la tabla 3.3.5 considerando los aceites sumerja completamente los electrodos en cada caso; manteniendo una separación entre ellos de 2[mm] incremente lentamente la diferencia de potencial hasta lograr la ruptura de rigidez dieléctrica y concentre sus resultados en la misma tabla.

**Nota:** Los dos electrodos deben de estar sumergidos. Los valores pueden ir variando dependiendo del aceite que se esté usando y de la calibración (con el vernier).



Figura 3.3.6a Ruptura de dieléctrico, aceite.

**Nota:** Cuando se observa que hay movimiento en el aceite o un arco eléctrico, es que se ha presentado la ruptura.

### CUESTIONARIO FINAL

1. Con los valores obtenidos en la tabla 3.3.1, determine el valor de la permitividad del aire y compárelo con la permitividad del vacío.

#### Material dieléctrico

$$VC = q$$

$$C_m = K_r \epsilon_0 \frac{A}{d}$$

$$K_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} \Rightarrow 1.00059 = \frac{\epsilon_{Aire}}{\epsilon_0}$$

$1.00059 \epsilon_0 = \epsilon_{Aire} \therefore$  Se pueden considerar iguales

$$C_m = \epsilon_{Aire} \frac{A}{d}$$

$$\varepsilon_{\text{Aire}} = \frac{C_m d}{A}$$

$$\varepsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} \frac{C^2}{N \cdot m^2}$$

$$A = 0.05067 m^2$$

d [mm]	C [F]	$\varepsilon_0$ (aire)
1	392p	$7.73633 \times 10^{-12}$
2	215p	$8.486283 \times 10^{-12}$
3	165p	$9.76909 \times 10^{-12}$
4	102p	$8.05210 \times 10^{-12}$
5	83p	$8.190250 \times 10^{-12}$
Promedio		$8.44681 \times 10^{-12}$

Como se observa en la tabla el valor experimental de la permitividad del aire respecto a la teórica es muy semejante.

2. Atendiendo a las mediciones de la tabla 3.3.2, calcule la constante dieléctrica de cada muestra. Anotando sus resultados en la misma.

MATERIAL	C (CON DIELECTRICO)	C (CON AIRE)	Kr
Madera	242p	67p	3.6
Papel	1237p	790p	1.56
Fibra de Vidrio	621p	348p	1.78

$$C_m = K C_0$$

$$K = \frac{C_m}{C_0}; K > 1$$

3. Calcular con los datos de la tabla 3.3.3 el valor promedio de la relación de transformación

V <sub>p</sub> [V]	V <sub>s</sub> [V]	RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN $a = \frac{V_p}{V_s}$
1.016	85	0.0119
2.076	194	0.0107
Valor promedio		0.0113

4. Calcule el campo eléctrico de ruptura, para cada distancia de separación anotando sus resultados en la tabla 3.3.4 y calcule el valor promedio de E<sub>R</sub>. (campo eléctrico mínimo de ruptura).

DISTANCIA [mm]	VOLTAJE DEL PRIMARIO (V <sub>p</sub> ) [V]	VOLTAJE DE RUPTURA $V_S = V_R = \frac{V_p}{a}$ [V]	CAMPO ELECTRICO $E = \frac{V_R}{d}$ [V/m]
10	103.9	9.195 k	919.5 k
8	88.9	7.867 k	983.4 k
6	78.8	6.973 k	1162.1k
4	47.64	4.215 k	1130.2k
Campo Eléctrico Promedio			1048.8k

Cálculos:

$$E = \frac{V_R}{d} = \frac{9.195kV}{0.010m} = 919.5kV/m$$

$$E = \frac{V_R}{d} = \frac{7.867kV}{0.008m} = 983.4kV/m$$

$$E = \frac{V_R}{d} = \frac{6.973kV}{0.006m} = 1162.1kV/m$$

5. Atendiendo a la tabla 3.3.5 ¿Por qué algunos materiales no rompen su rigidez dieléctrica?

Porque no se alcanzo el voltaje de ruptura del material.

6. A partir de los resultados anotados en la tabla 3.3.5 ¿Qué dieléctrico sólido, y que dieléctrico líquido es el mejor, considerando el voltaje de ruptura y la rigidez dieléctrica?

Consideramos que el vidrio es el mejor dieléctrico de los materiales utilizados, esto considerando los datos teóricos ya que tampoco se logro la ruptura de rigidez en la fibra de vidrio y para los líquidos el aceite #40 es el mejor dieléctrico.

7. Enuncie algunos ejemplos de aplicación de los experimentos realizados.

Aislantes para conductores, aislamiento en líneas de transmisión, aparta rayos, sistemas de enfriamiento para transformadores, etc.

ESCRIBA SUS COMENTARIOS Y CONCLUSIONES A LA PRÁCTICA.

Se determino la permitividad del aire a partir del uso del capacitor de placas paralelas, el valor obtenido consideramos que es aceptable considerando los valores establecidos

teóricamente; además esta medición puede ser variable dependiendo de las condiciones del medio ambiente.

También se midieron capacitores con diferentes tipos de materiales dieléctricos, en los cuales obtuvimos que la capacitancia aumenta dependiendo de cada tipo de material, entre mejor sea el dieléctrico mayor será la constante dieléctrica  $K_r$ .

Observamos como los materiales dieléctricos tienen un límite para soportar las diferencias de potencial (rigidez dieléctrica) y si sobrepasamos estos límites los dieléctricos se pueden quemar, perforar y volverse conductores.



### 3.4 RESISTENCIA ÓHMICA, RESISTIVIDAD Y LEY DE OHM

#### OBJETIVOS

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

#### CONCEPTOS NECESARIOS

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

#### MATERIAL Y EQUIPO

- Dos Multímetros (analógico y digital).
- Un puente de Wheatstone básico con Galvanómetro.
- Un puente de Wheatstone.
- Una fuente de poder.
- Nueve resistencias (10  $\Omega$ , 100  $\Omega$ , 120 $\Omega$ , 270 $\Omega$ , 1.5 K $\Omega$ , todas a 1/2 W).
- 10 cables de conexión.

## DESARROLLO

### MEDICIÓN DE RESISTENCIA ÓHMICA POR DIFERENTES MÉTODOS:

#### Código de colores.

a) Usando el código de colores identifique los valores de cinco resistencias y concentre los resultados en la tabla 3.4.1.

#### Óhmetro.

b) Utilice el multímetro en su función de óhmetro, para medir las mismas resistencias y concentre sus valores en la tabla 3.4.1.

*Nota: Para la medición utilizando el multímetro, tenga cuidado de no tocar con las manos las puntas del multímetro para obtener una medición más exacta.*



Figura 3.4.1. Medición de resistencia.

### Equipo puente de Wheatstone.

c) El profesor describirá el uso y manejo del equipo Puente de Wheatstone.



Figura 3.4.2. Equipo Puente de Wheatstone

Primeramente se deben de poner en el puente de Wheatstone (figura 3.4.2) los swichts en batería externa y en medición de resistencia ( $R$ ). Posteriormente se debe poner las décadas en cero exceptuando la década de por 1000 ahí se debe colocar en uno; colocar el factor de multiplicación en la escala mayor de 1000. Posteriormente se debe conectar la resistencia o conductor a medir (se sugiere no usar conectores para la conexión, debido a que estos pueden dar una lectura errónea). Para realizar la medición debe mantener oprimidos los botones de batería y disparo (gate), e ir disminuyendo el factor de multiplicación hasta que el fiel se pase a la zona de menos (-), posteriormente vaya incrementando las décadas hasta logra que el fiel marque cero en la carátula. La lectura final será la suma de los valores que indiquen las décadas multiplicadas por el factor de multiplicación. Al término de las mediciones verifique que la batería y el disparo no estén activados.

d) Realice la medición de las cinco resistencias indicadas en la tabla 4.1 y concentre sus resultados en la misma.

RESISTENCIA	CODIGO DE COLORES [ $\Omega$ ]	OHMETRO [ $\Omega$ ]	PUENTE DE WHEATSTONE [ $\Omega$ ]
R <sub>1</sub>	10	10	9.872
R <sub>2</sub>	1.5k	1499	1.501
R <sub>3</sub>	270	267.3	269.5
R <sub>4</sub>	120	120.1	120.0
R <sub>5</sub>	100	100.1	99.99

Tabla 3.4.1 Medición de resistencia óhmica.

**Potencial inducido.**

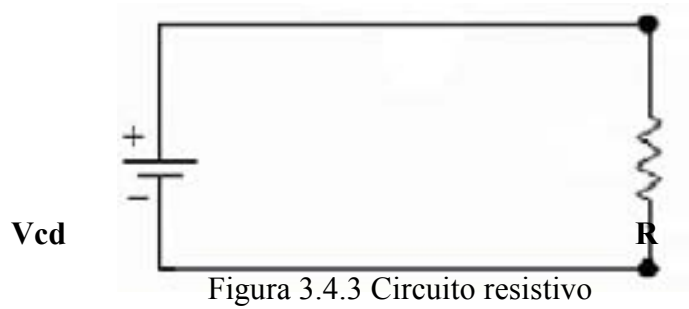
g) Considerando los valores de resistencia dados por el código de colores, calcular el voltaje máximo ( $V_{MAX} = \sqrt{RP_R}$ ) que se puede aplicar a cada una de ellas y concentre sus resultados en la tabla 3.4.2.

HACER QUE EL ORDEN DE LAS RESISTENCIAS SEA IGUAL A LA TABLA ANTERIOR

R [ $\Omega$ ]	V <sub>máx</sub> [V]
R <sub>1</sub>	2.23
R <sub>2</sub>	27.38
R <sub>3</sub>	11.61
R <sub>4</sub>	7.74
R <sub>5</sub>	7.07

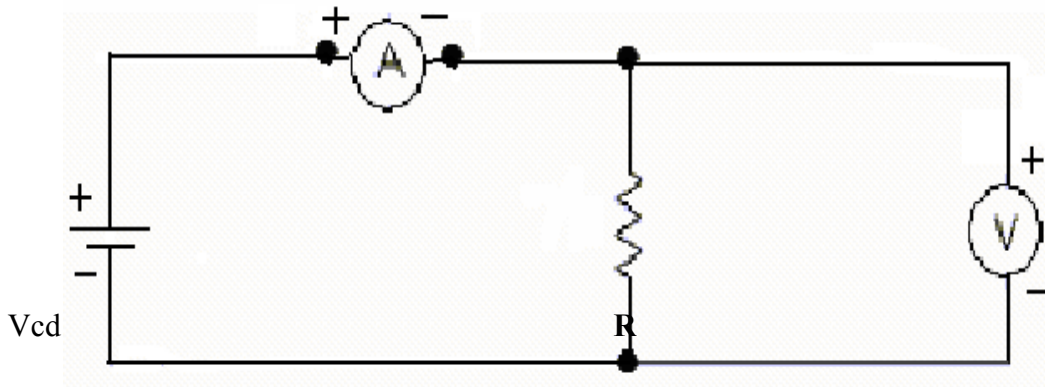
Tabla 3.4.2 Voltaje máximo de cada resistencia.

h) Arme el circuito de la figura 3.4.3, considerando las resistencias empleadas en el inciso a) una a la vez.



i) Realice mediciones de voltaje e intensidad de corriente de acuerdo a la figura 3.4.4 y concentre sus resultados en la tabla 3.4.3.

*Nota: Usar el voltaje por abajo del voltaje máximo calculado.*



RESISTENCIA	VOLTAJE [V]	CORRIENTE [mA]	RESISTENCIA [ $\Omega$ ]
R <sub>1</sub>	2	169.6	
R <sub>2</sub>	10	6.76	
R <sub>3</sub>	10	37.42	
R <sub>4</sub>	5	39.66	
R <sub>5</sub>	5	48.22	

Tabla 3.4.3. Cálculo de resistencia por potencial inducido.

**Potencia eléctrica en una resistencia.**

j) Arme el circuito mostrado en la figura 3.4.6.

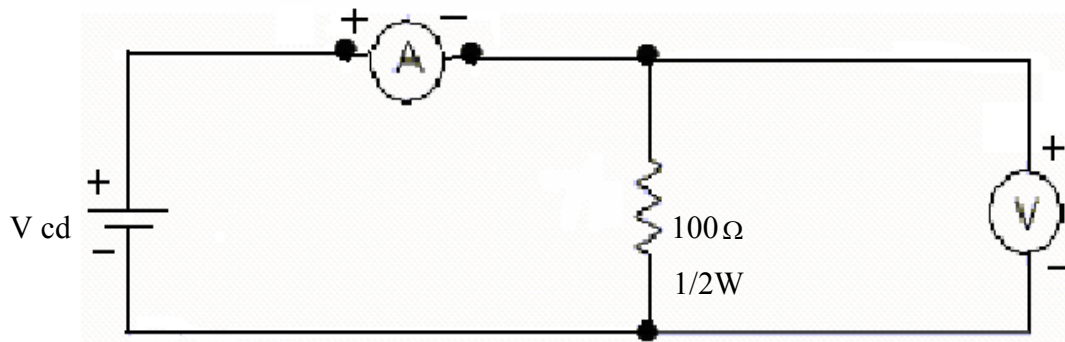


Figura 3.4.6. Potencia eléctrica.

k) Para cada caso de voltaje indicado en la tabla 3.4.4 mida la corriente eléctrica y concentre sus mediciones en la misma.

*Nota: Después de los 6 volts, tener cuidado ya que la resistencia aumenta de temperatura.*

VOLTAJE [V]	CORRIENTE [A]	POTENCIA [W]
2	20.03m	40.06m
4	39.9m	159.6m
6	61.09m	366.54m
8	81.1m	648.8m
10	101.3m	1.013
12	122m	1.464
14	143.8m	2.013
16	164.7m	2.635
18	188.2m	3.387
20	209.8m	4.196

Tabla 3.4.4 Potencia eléctrica.

### CUESTIONARIO FINAL

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

Se debe conocer el valor de todas las décadas de resistencias y que el galvanómetro marque cero.

2. Aplicando la Ley de Ohm, encuentre el valor para cada una de las resistencias de la tabla 3.4.3, y concentre sus resultados en la misma.

RESISTENCIA	VOLTAJE [V]	CORRIENTE [mA]	RESISTENCIA [Ω]
R <sub>1</sub>	2	169.6	11.79
R <sub>2</sub>	10	6.76	1479.28
R <sub>3</sub>	10	37.42	267.23
R <sub>4</sub>	5	39.66	126.07
R <sub>5</sub>	5	48.22	103.69

$$R_1 = \frac{2V}{169.6mA} = 11.79\Omega$$

$$R_2 = \frac{10V}{6.76mA} = 1479.28\Omega$$

$$R_3 = \frac{10V}{37.42mA} = 267.23\Omega$$

$$R_4 = \frac{10V}{39.66mA} = 126.07\Omega$$

$$R_5 = \frac{10V}{48.22mA} = 103.69\Omega$$

3. ¿Con qué método obtuvo mayor exactitud en la medición de resistencia óhmica? (tome como referencia el valor obtenido por código de colores, sin considerar la tolerancia)

Puente de Wheatstone.

5. Tomando los valores de corriente y voltaje de la tabla 3.4.4, calcule la potencia y concentre sus resultados en la misma. ¿Coincide la potencia calculada con la especificada por el fabricante? Explique.

La potencia en la resistencia esta en los limites hasta el voltaje de 6 V, posteriormente la potencia nominal es superada y la resistencia empieza a calentarse



VOLTAJE [V]	CORRIENTE [A]	POTENCIA [W]
2	20.03m	40.06m
4	39.9m	159.6m
6	61.09m	366.54m
8	81.1m	648.8m
10	101.3m	1.013
12	122m	1.464
14	143.8m	2.013
16	164.7m	2.635
18	188.2m	3.387
20	209.8m	4.196

7. Realice una gráfica de voltaje contra corriente, tomando como referencia los valores obtenidos en la tabla 3.4.4

Dibuje.

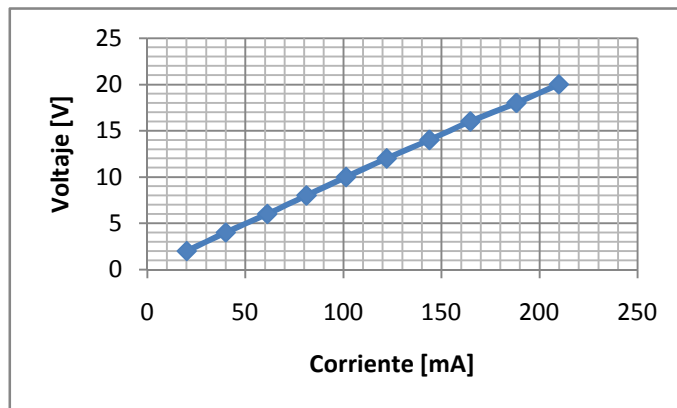


Figura 3.4.7 Gráfica de voltaje contra corriente

ESCRIBA SUS COMENTARIOS Y CONCLUSIONES A LA PRÁCTICA.

Existen varios métodos para medir la resistencia óhmica de un material, en la práctica se utilizo el código de colores, el óhmetro y se aprendió como usar el puente de Wheatstone para la medición de resistencias el cual puede medir resistencias muy bajas o muy altas; se observo que en todos los casos se obtienen valores diferentes, pero siempre dentro del rango establecido en la tolerancia

También se puede calcular utilizando el método de potencial inducido, en donde se le aplica a la resistencia una diferencia de potencial y por ende una corriente eléctrica, este método nos permite ver el comportamiento real de la resistencia; los valores obtenidos están dentro del rango establecido en la tolerancia.

Respecto a la potencia se observo que es importante cuidar sus valores si no de lo contrario las resistencias se empiezan a calentar y podrían quemarse.

## RESISTIVIDAD Y LEY DE OHM PARTE II

### Material y equipo.

- Un hilo conductor de alambre con su base.
- Un tablero con conductores de alambre magneto de diferentes calibres.
- Tres minas de carbón de diferente dureza (HB, 2H y 4H), y longitud igual.
- Un termistor.
- Una parrilla.
- Un soporte universal y sus accesorios.
- Un vaso Pirex.
- Un termómetro digital y de bulbo de mercurio.
- Un vernier.
- Una resistencia para calentar agua.
- Un recipiente con agua.
- Un amperímetro de gancho.
- Un puente de Wheatstone

### Determinación de la dependencia de la resistencia óhmica, respecto a la longitud del conductor

a) Conecte los elementos como se muestra en la figura 3.4.8.

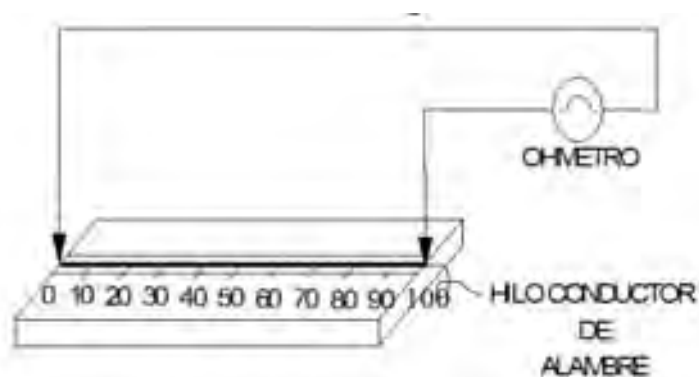


Figura 3.4.8a Medición de la resistencia óhmica en función de la longitud.



Figura 3.4.8b. Medición de la resistencia óhmica en función de la longitud.

- b) De acuerdo a la tabla 3.4.5 mida la resistencia óhmica en cada caso y concentre en la misma.

*Nota: Se sugiere usar la opción de “medida relativa” en el multímetro para eliminar la resistencia en los conductores y así obtener una medida más exacta.*

LONGITUD [cm]	RESISTENCIA [ $\Omega$ ]
0	0
10	0.4
20	0.8
30	1.1
40	1.4
50	1.8
60	2.1
70	2.5
80	2.8
90	3.1
100	3.4

Tabla 3.4.5. Resistencia óhmica en función de la longitud.

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

c) Auxiliándose con la hoja de datos de conductores de cobre, llene las columnas correspondientes al diámetro y al área en la tabla 3.4.6.

d) Utilizando el puente de Wheatstone mida la resistencia óhmica de cada uno de los conductores contenidos en el tablero como se muestra en la figura 3.4.9 y concentre sus valores obtenidos en la tabla 3.4.6.



Figura 3.4.9. Medición de la resistencia óhmica con puente de Wheatstone

CALIBRE #	DIÁMETRO [mm]	ÁREA [mm <sup>2</sup> ]	RESISTENCIA [Ω]
15	1.45	1.65	0.023
18	1.02	0.832	0.056
22	0.81	0.518	0.111
23	0.644	0.326	0.141
25	0.573	0.258	0.331
30	0.455	0.162	0.71

**Nota: Los diámetros considerados son sin aislante.**

Tabla 3.4.6. Resistencia óhmica en función del área de sección transversal.

*Nota: La longitud de los conductores son aproximadamente 2 m, por si se requiere verificar los datos en tablas.*

### Determinación de la dependencia de la resistencia, respecto a la conductividad de los conductores

e) Conecte las minas, una a la vez como se muestra en la figura 3.4.10.

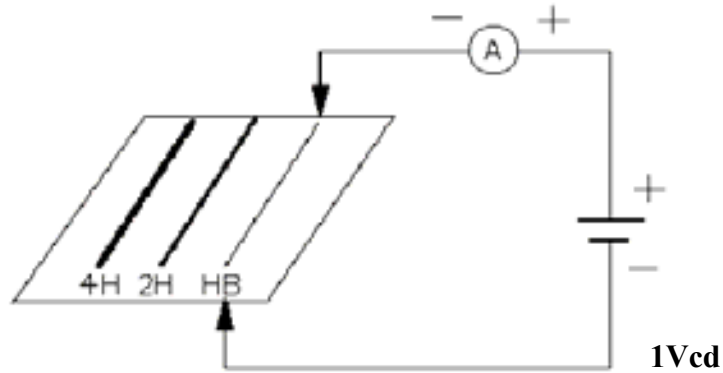


Figura 3.4.10 Medición de conductividad y resistividad eléctrica.

f) Aplique una diferencia de potencial de 1 [V] a una de las minas de carbón, mida la intensidad de corriente eléctrica y concentre su medición en la tabla 3.4.7.

g) Realice el mismo procedimiento anterior para las demás minas de carbón

Minas de Carbón	Longitud [m]	Diámetro [m]	Área [ $m^2$ ] [ $\times 10^{-6}$ ]	Corriente [A]	Densidad de Corriente [ $A/m^2$ ]	Campo Eléctrico. [V/m]	Conductividad [ $1/\Omega \cdot m$ ]	Resistividad [ $\Omega \cdot m$ ]
HB	0.129	0.002	3.14	0.115	36.62k	7.75	4.72k	0.21
2H	0.129	0.002	3.14	0.038	12.1k	7.75	1.561k	0.641
4H	0.129	0.002	3.14	0.05	15.92k	7.75	2.05k	0.487

Tabla 3.4.7 Conductividad y resistividad eléctrica.

$$A = \pi r^2 = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi (0.129)^2}{4} = 3.14 \times 10^{-6} m^2 \quad \sigma_{HB} = \frac{J}{E} = \frac{36620 A/m^2}{7.75 v/m} = 4720 [1/\Omega \cdot m]$$

$$J_{HB} = \frac{I}{A} = \frac{0.115 A}{3.14 \times 10^{-6}} = 36620 A/m^2 \quad \sigma_{2H} = \frac{J}{E} = \frac{12100 A/m^2}{7.75 v/m} = 1561 [1/\Omega \cdot m]$$

$$J_{2H} = \frac{I}{A} = \frac{0.038A}{3.14 \times 10^{-6}} = 12100 \text{ A/m}^2$$

$$J_{4H} = \frac{I}{A} = \frac{0.05A}{3.14 \times 10^{-6}} = 15920 \text{ A/m}^2$$

$$E = \frac{V}{L} = \frac{1v}{0.129m} = 7.75v/m$$

$$E = J\rho \quad \rho = \frac{1}{\sigma}$$

$$E = \frac{J}{\sigma} \quad \sigma = \frac{J}{E}$$

$$\sigma_{4H} = \frac{J}{E} = \frac{15920 \text{ A/m}^2}{7.75v/m} = 2050 [1/\Omega - m]$$

$$\rho_{HB} = \frac{1}{\sigma} = \frac{1}{4720 [1/\Omega - m]} = 0.21 [\Omega - m]$$

$$\rho_{2H} = \frac{1}{\sigma} = \frac{1}{1561 [1/\Omega - m]} = 0.641 [\Omega - m]$$

$$\rho_{HB} = \frac{1}{\sigma} = \frac{1}{2050 [1/\Omega - m]} = 0.487 [\Omega - m]$$

$\sigma$  - Conductividad

$\rho$  - Resistividad

J - Densidad de corriente

### Determinación de la dependencia de la resistencia debido a la variación de la temperatura

j) Arme el dispositivo que se muestra en la figura 3.4.11.

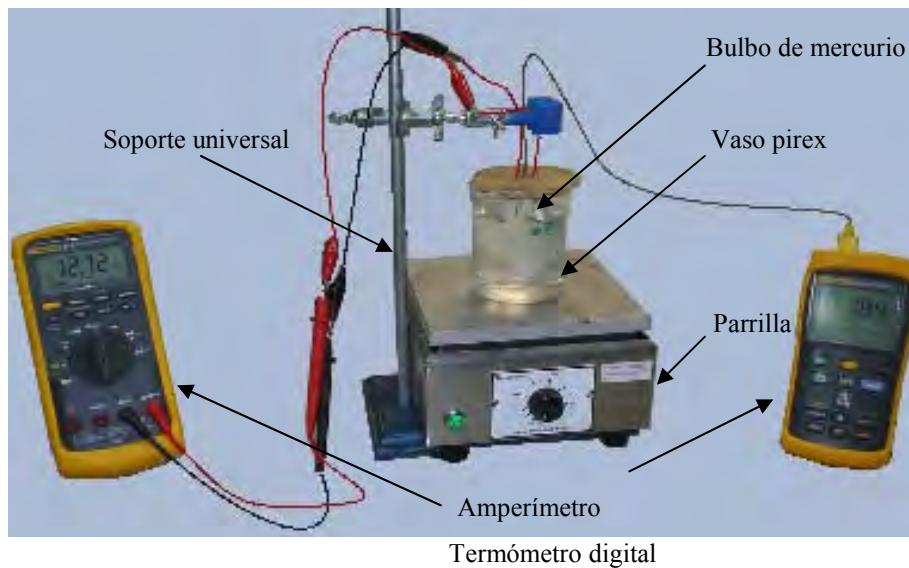


Figura 3.4.11 Resistencia en función de la temperatura.

j) Con el multímetro usado como óhmetro tome el valor de la resistencia del termistor de acuerdo a los valores de temperatura de la tabla 3.4.8 y concentre sus resultados en la misma.

T [°C]	R [Ω]
Temperatura ambiente = 23	104.4
30	92.6
35	78.3
40	65.0
45	57
50	49
55	42.8
60	35.6
65	31
70	27.7

Tabla 3.4.8 Resistencia en función de la temperatura.



## CUESTIONARIO FINAL

1. Realice una gráfica de resistencia contra longitud, a partir de los valores obtenidos en la tabla 3.4.5.

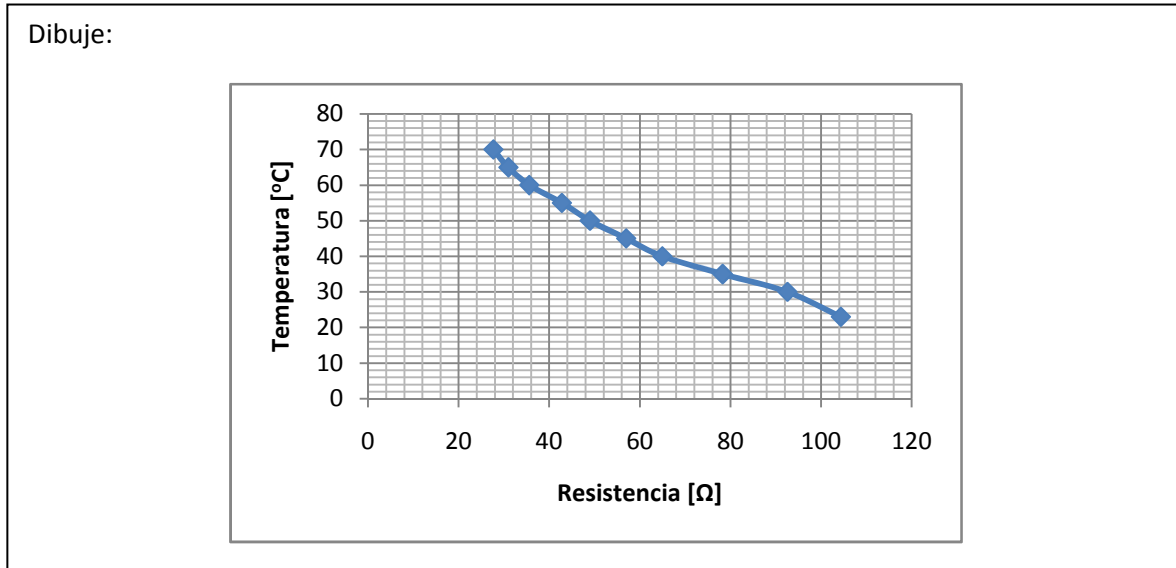


Figura 3.4.12 Gráfica de resistencia contra longitud

2. ¿Qué relación nos muestra la gráfica y la tabla 3.4.5 respecto a resistencia contra longitud?

Que la resistencia de un conductor es directamente proporcional a su longitud. Es decir a mayor longitud, mayor será la resistencia.

3. Con los valores de la tabla 3.4.6, realice una gráfica de resistencia contra área.

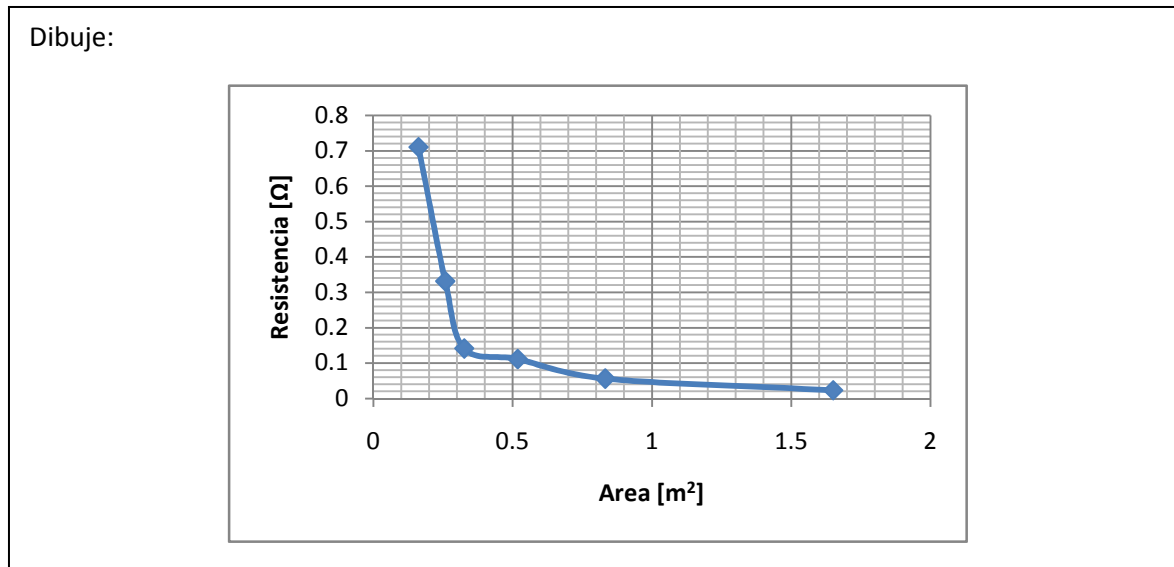


Figura 3.4.13. Gráfica de resistencia contra área

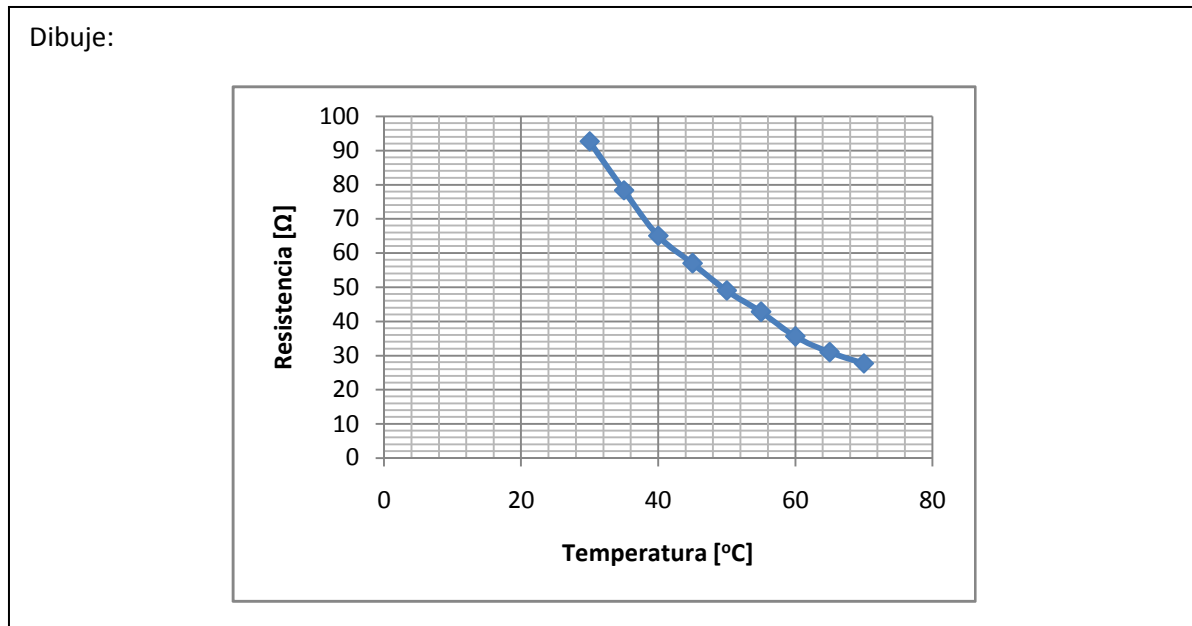
4. ¿Qué relación de proporcionalidad observa a partir de la grafica elaborada en la pregunta 3?

La resistencia es inversamente proporcional al área del conductor. A mayor área menor resistencia.

5. ¿Qué conclusión obtiene a partir de la tabla 3.4.7?

La resistencia del material es directamente proporcional a la dureza (resistividad). La resistencia aumenta con mayor dureza del material.

6. Elabore una gráfica resistencia contra temperatura con los datos de la tabla 3.4.8.



**Figura 3.4.14** Gráfica de resistencia contra temperatura

7. En el caso de un conductor ¿Cómo varía la resistencia en función de la temperatura y por qué?

A mayor temperatura menor resistencia. Se conoce que a mayor temperatura las moléculas del material se expanden y como se observo, a mayor área existe menor resistencia. Sin olvidar que otros tipos de materiales su coeficiente de resistividad es positivo lo que daría una grafica diferente.

ESCRIBA SUS COMENTARIOS Y CONCLUSIONES A LA PRÁCTICA.

Se pudo ver la relación que existe entre longitud y área de sección transversal respecto a la resistividad del material. Si existe una mayor longitud la resistencia aumentara pero a mayor área la resistencia es menor.

También se observó que a partir de la dureza (resistividad) varía directamente proporcional la resistencia. Aunque sería preferible usar cables de diferentes materiales para obtener esta relación.

Encontramos una relación importante entre la resistencia y la temperatura ya que esta nos afecta la resistencia (a mayor temperatura menor resistencia, considerando que el coeficiente térmico es negativo) y que esta puede sumarse a las anteriores relaciones así alterando las mediciones de resistencia de un material.

### 3.5 FUENTES DE FUERZA ELECTROMOTRIZ

#### OBJETIVOS.

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

#### CONCEPTOS NECESARIOS

1. Señales de c.a. y c.c.
2. Voltaje eficaz y voltaje pico a pico.
3. Frecuencia y periodo.

#### MATERIAL Y EQUIPO

- Un osciloscopio con accesorios.
- Generador eléctrico
- Celda fotovoltaica.
- Fuente escalonada.
- Un multímetro
- Electrodo de cobre, plomo, carbón y aluminio.
- Un recipiente con solución de ácido sulfúrico y agua ( $H_2O + H_2SO_4$ ).
- Cuatro pilas de 1.5 [V] (una nueva).
- Una resistencia de 10 [ $\Omega$ ] a 1/2 [W].
- 10 cables para conexión.
- Un termopar.
- Un encendedor o mechero de alcohol.
- Guantes de látex.
- Papel secante.
- Un Switch un polo un tiro.

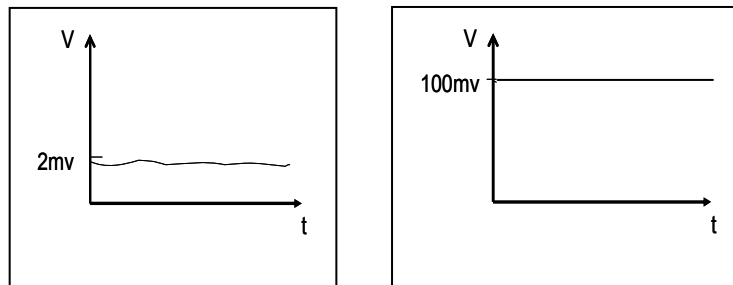
## DESARROLLO

### Fuentes de Fuerza Electromotriz

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

Celda fotovoltaica.

*Nota: Es recomendable acercarse a la luz del sol para obtener una mejor visualización de la medición.*



Celda expuesta a la luz.      Celda expuesta al sol.

Figura 3.5.1 Forma de onda en celda fotovoltaica.

Termopar.

*Nota: De preferencia utilice la escala menor de voltaje o en su defecto ponga el osciloscopio en automático.*

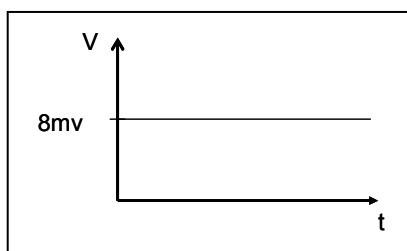


Figura 3.5.2 Forma de onda en termopar.

Pila

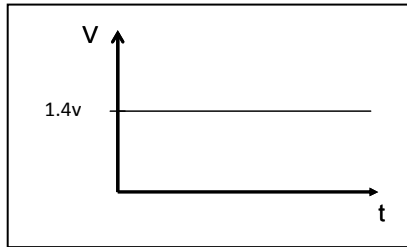


Figura 3.5.3 Forma de onda en pila

Generador eléctrico

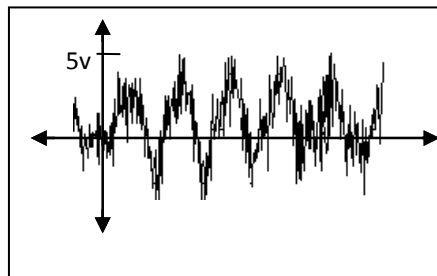


Figura 3.5.4 Forma de onda en el generador eléctrico.

**Diferencia de potencial entre electrodos**

b) Arme el dispositivo de la figura 3.5.5

*Nota. Para armar este dispositivo se recomienda usar los guantes de látex para la manipulación de los electrodos.*



Figura 3.5.5 Diferencia de potencial entre electrodos.

- c) Coloque dos electrodos de diferente material según se indica en la tabla 3.5.1, mida la diferencia de potencial y observe la polaridad en cada uno, concentrando los resultados en la misma.

*Nota: Es importante hacer notar que la polaridad del material varía según con quien interactué.*

ELECTRODOS	POLARIDAD (+ ó -)		VOLTAJE [V]
cobre - plomo	+Cu	-Pb	0.035
cobre - carbón	-Cu	+C	0.400
cobre - aluminio	+Cu	-Al	0.160
plomo - carbón	-Pb	+C	0.418
plomo - aluminio	+Pb	-Al	0.118
carbón - aluminio	+C	-Al	<b>0.560</b>

Tabla 3.5.1 Diferencia de potencial entre electrodos.

### Resistencia Interna de una fuente

- d) Arme el circuito de la figura 3.5.7.

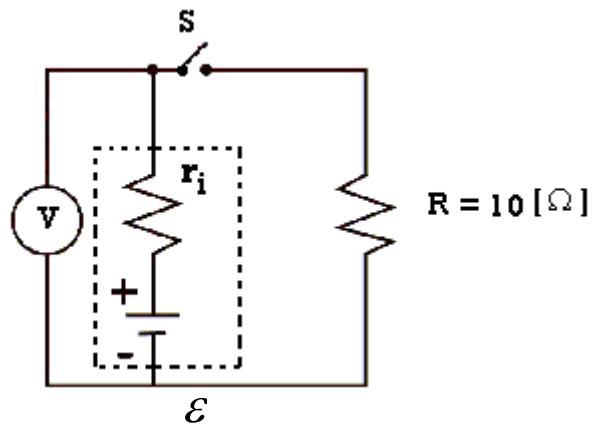


Figura 3.5.7. Circuito para obtener la resistencia interna.



- e) Mida el voltaje  $\mathcal{E}$ , de la pila nueva en vacío (sin carga), con el interruptor “S” abierto, concentre su medición en la tabla 3.5.2.
- f) Ahora cierre el interruptor S y a continuación mida el voltaje ( $V_R$ ) y regístrelo en la tabla 3.5.2.
- g) Cambie la pila nueva por la pila usada en el circuito de la figura 3.5.7 y repita los pasos indicados en los incisos e) y f).

<b>PILA</b>	<b>R [ <math>\Omega</math> ]</b>	<b><math>\mathcal{E}</math> [ V ]</b>	<b><math>V_R</math> [ V ]</b>	<b><math>r_i</math> [ <math>\Omega</math> ]</b>
<b>NUEVA</b>	<b>10</b>	1.438	1.273	1.29
<b>USADA</b>	<b>10</b>	1.278	0.951	3.43

Tabla 3.5.2. Resistencia interna.

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

$$r_i = \left( \frac{1.438V - 1.273V}{1.273V} \right) (10\Omega) = 1.29\Omega$$

$$r_i = \left( \frac{1.278V - 0.951V}{0.951V} \right) (10\Omega) = 3.43\Omega$$

**Nota:** Se sugiere encontrar la resistencia interna con una sola fuente pero con diferentes cargas.

### Conexión de pilas

- h) Mida el voltaje de cada pila y anote sus lecturas en la tabla 3.5.3 (identifique cada pila).

<b>Pila</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
<b>Voltaje [ V ]</b>	1.597	1.438	1.278	0.727

Tabla 3.5.3. Medición de voltaje de cada pila.

- i) Conecte dos pilas (serie aditiva) según se muestra en la figura 3.5.8, mida y anote en la tabla 3.5.4 el voltaje total entre terminales, a continuación repita el mismo procedimiento con 3 y 4 pilas.

Para la pila 1 y 2  $V_t = 1.597V + 1.438V = 3.035V$

Para la pila 1, 2 y 3  $V_t = 1.597V + 1.438V + 1.278V = 4.313V$

Para la pila 1, 2, 3 y 4  $V_t = 1.597V + 1.438V + 1.278V + 0.727 = 5.04V$

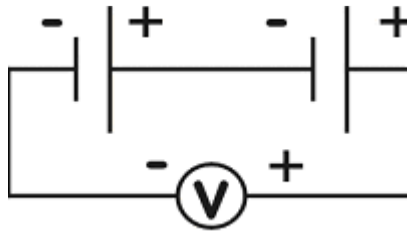


Figura 3.5.8. Serie aditiva.

Número de pilas	Voltaje [ V ]	
	Serie	Paralelo
2	3.03	1.56
3	4.31	1.53
4	5.04	1.39

Tabla 3.5.4. Conexiones de pilas en serie y paralelo.

- j) Conecte dos pilas en paralelo según se muestra en la figura 3.5.9, mida y anote en la tabla 3.5.4 el voltaje total entre terminales y a continuación repita lo mismo con 3 y 4 pilas.

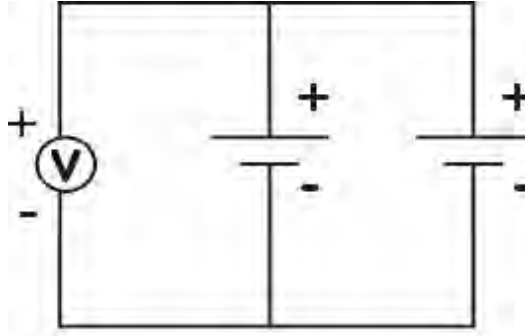


Figura 3.5.9 Conexión en paralelo de pilas.

Para la pila 1 y 2  $V_t = (1.597V + 1.438V) / 2 = 1.5075V$

Para la pila 1, 2 y 3  $V_t = (1.597V + 1.438V + 1.278V) / 3 = 1.437V$

Para la pila 1, 2, 3 y 4  $V_t = (1.597V + 1.438V + 1.278V + 0.727V) / 4 = 1.26V$

k) Conecte las pilas como se indica en la figura 3.5.10 (conexión serie sustractivo), mida y anote en la tabla 3.5.5 el voltaje total entre terminales.

**Nota:** Para ambos casos  $V_t = V_1 - V_2$

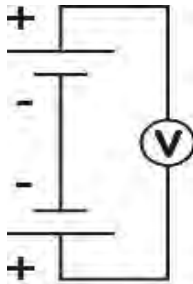


Figura 3.5.10a Conexión serie sustractivo.

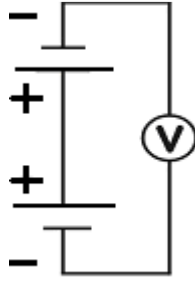


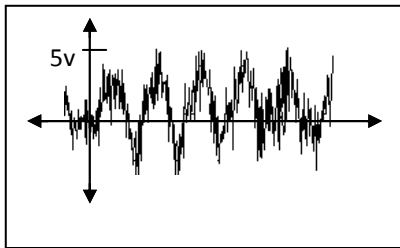
Figura 3.5.10b Conexión serie sustractivo.

Número de pilas	Voltaje [V]	
	Lectura 1	Lectura 2
2	0.120	0.120

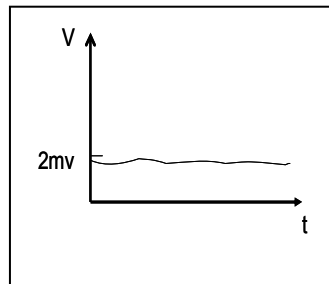
Tabla 3.5.5 Conexión de pilas en serie sustractivo.

### CUESTIONARIO FINAL

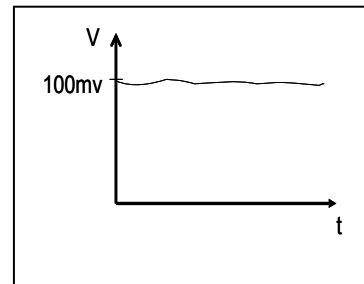
1. Clasifique en base a lo observado en el inciso a) el tipo de voltaje que genera cada fuente de FEM y realice la gráfica correspondiente.



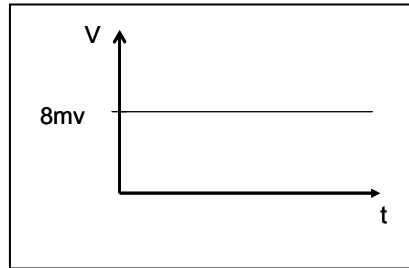
Generador.  
Voltaje de C.A



Celda expuesta a la sombra.  
Voltaje de C.C



Celda expuesta al sol.  
Voltaje de C.C



Termopar.

Voltaje de C.C

2. Tomando como referencia los resultados de la tabla 3.5.1, ¿Qué combinación de electrodos dio la máxima diferencia de potencial?

La combinación que presentó mayor diferencia de potencial fue carbón - aluminio.

3. Considerando los valores obtenidos en la tabla 3.5.2, calcule la resistencia interna de las pilas nueva y usada, empleando la siguiente fórmula:

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

$$r_i = \left( \frac{1.438V - 1.273V}{1.273V} \right) (10\Omega) = 1.29\Omega$$

$$r_i = \left( \frac{1.278V - 0.951V}{0.951V} \right) (10\Omega) = 3.43\Omega$$

4. Explique por qué son iguales los valores obtenidos en la tabla 3.5.5.

Mientras se realice la conexión serie sustractiva y usando las mismas baterías, la diferencia de potencial entre ellas no tiene por qué variar.

ESCRIBA SUS COMENTARIOS Y CONCLUSIONES A LA PRÁCTICA.

Se observaron cómo se generan diferentes tipos de fem a partir de la transformación de las diferentes energías a energía eléctrica.

Se vio que las fuentes de fem tiene intrínsecamente en ellas una resistencia interna y esta depende de la carga que se aplique a la fuente.

Se comprobó el comportamiento de la fem en las diferentes conexiones, es importante destacar que se entendió como funcionan la combinación de pilas con buena carga y con las que estaban casi descargadas.

### **3.6 USO Y MANEJO DEL OSCILOSCOPIO**

#### **OBJETIVOS.**

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

#### **CONCEPTOS NECESARIOS**

4. Señales de c.a. y c.c.
5. Voltaje eficaz y voltaje pico a pico.
6. Frecuencia y periodo.

#### **MATERIAL Y EQUIPO**

- Osciloscopio y accesorios.
- Multímetro analógico.
- Generador de señales.
- Fuente escalonada.
- 10 cables de conexión

#### **DESARROLLO**

##### **Osciloscopio analógico**

- a) El profesor explicara el funcionamiento y uso del Osciloscopio analógico.



Figura 3.6.1 Osciloscopio analógico (BK precisión).

**Determinación de la frecuencia mediante la medición del periodo.**

- b) Conecte la señal de salida ( $50\Omega$ ) del generador de señales a la entrada del osciloscopio, como se muestra en la figura 3.6.2

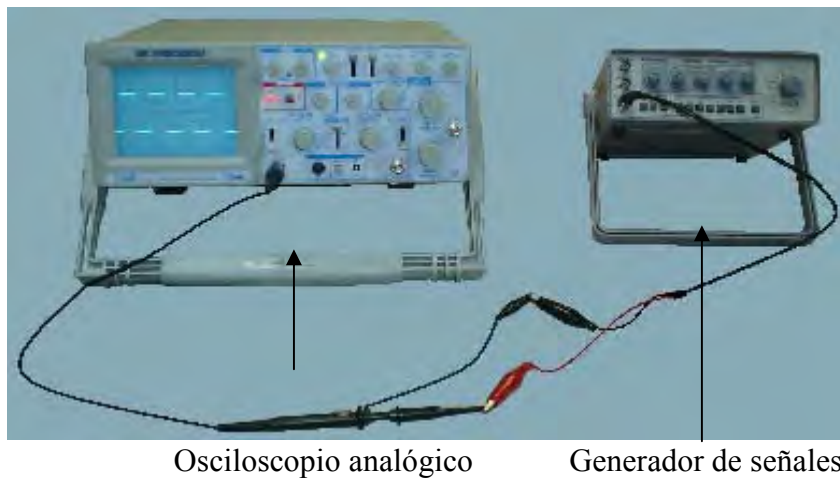


Figura 3.6.2 Conexión del generador de señales al osciloscopio.

- c) Obtenga una señal senoidal con un voltaje de salida de  $2.5[V_p]$ , para cada una de las frecuencias indicadas en la tabla 3.6.1, midiendo el periodo y concéntrelo en la misma.

$$T = N \cdot C. \text{ Horizontal} \times \text{Time/Divison}$$



Frecuencia de entrada [Hz]	Periodo[s]	Frecuencia calculada [Hz]
1000	1mS	
2000	500 $\mu$ S	
3000	333 $\mu$ S	

Tabla 3.6.1 Concentrado de mediciones.

**Medición de ondas de C.A.**

- d) Conecte la señal de salida de C.A de la fuente escalonada a la entrada del osciloscopio como se muestra en la figura 3.6.3.



Figura 3.6.3 Medición de onda de C.A

- e) De acuerdo a los valores dados en la tabla 3.6.2 mida los voltajes:  $V_p$  y  $V_{pp}$  y regístrelos en la misma.
- f) Mida el valor eficaz, con el multímetro para cada uno de los valores dados en la tabla 3.6.2 y regístrelo en la columna correspondiente

Señal senoidal de corriente alterna [V]	Voltaje pico (Vp) [V]	Voltaje pico a pico (Vpp) [V]	Valor eficaz medido [V]	Valor eficaz calculado [V]
2	3.1	6.2	2.167	
4	6.2	12.4	4.33	
6	9	18	6.5	
8	12.5	25	8.66	
10	15.5	31	10.85	

Tabla 3.6.2 Valores registrados.

### Osciloscopio digital

g) El profesor explicara el funcionamiento y uso del Osciloscopio digital.



Figura 3.6.4 Osciloscopio digital

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

- h) Conecte la señal de salida de C.A de la fuente escalonada a la entrada del osciloscopio como se muestra en la figura 3.6.3
- i) De acuerdo a los valores dados en la tabla 3.6.3 mida los parámetros indicados y regístrelos en la misma.

Señal senoidal de corriente alterna [V]	Periodo [ms]	Frecuencia [Hz]	Voltaje pico a pico ( $V_{PP}$ ) [V]	Voltaje pico ( $V_P$ ) [V]	Voltaje Eficaz ( $V_{RMS}$ ) [V]
2	16.4	60	6.2	3.1	2.18
4	17.2	58.1	12.3	6.5	4.3
6	17.2	60	9.25	9.25	6.48
8	16	62	12.35	12.35	8.6
10	16	62	15.45	5.45	10.78

Tabla 3.6.3 Medición de diferentes parámetros de la señal.

### CUESTIONARIO FINAL

1. Atendiendo a los valores del periodo registrados en la tabla 3.6.1 determine la frecuencia.

Frecuencia de entrada [Hz]	Periodo[s]	Frecuencia calculada [Hz]
1000	1mS	1000
2000	500 $\mu$ S	2000
3000	333 $\mu$ S	3003

2. Calcule el valor eficaz pedido en la tabla 3.6.2.

Señal senoidal de corriente alterna [V]	Voltaje pico (Vp) [V]	Voltaje pico a pico (Vpp) [V]	Valor eficaz medido [V]	Valor eficaz calculado [V]
2	3.1	6.2	2.167	2.19
4	6.2	12.4	4.33	4.38
6	9	18	6.5	6.36
8	12.5	25	8.66	8.83
10	15.5	31	10.85	10.96

3. ¿Difieren los valores de voltaje eficaz medido y calculado en la tabla 3.6.2? Explique.

*Varía muy poco, debido a que los materiales no son ideales.*

ESCRIBA SUS COMENTARIOS Y CONCLUSIONES A LA PRÁCTICA

*Se aprendió a usar las funciones básicas del osciloscopio se empleo para hacer las mediciones de frecuencia, amplitud de voltaje y visualizar su forma. El osciloscopio es indispensable para la electrónica y las telecomunicaciones debido a que solo así se pueden apreciar las condiciones de la señal.*

### **3.7 LEYES DE KIRCHHOF Y CIRCUITOS RC**

#### **OBJETIVOS**

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

#### **CONCEPTOS NECESARIOS.**

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

#### **MATERIAL Y EQUIPO**

- Dos fuentes de poder.
- Un escopómetro con accesorios.
- Un generador de funciones.
- Un multímetro.
- Tres resistencias 1 [K $\Omega$ ], 1.2 [K $\Omega$ ], y 3.3 [K $\Omega$ ], todas a 1 [W].
- Un potenciómetro de 0 – 10 [K $\Omega$ ] a 1[W].
- Un capacitor de 0.047 [ $\mu$ F] a 10 [V].
- Conjunto de cables para conexión.

## DESARROLLO

## Circuitos de corriente directa y leyes de Kirchhoff

- a) Arme el circuito mostrado en la figura 3.7.1
- b) Realice mediciones de voltaje y corriente de acuerdo a la tabla 3.7.1 y concentre sus mediciones en la misma.

*Nota: Se sugiere medir los valores de las resistencias, para obtener valores en forma teórica similares a los experimentales.*

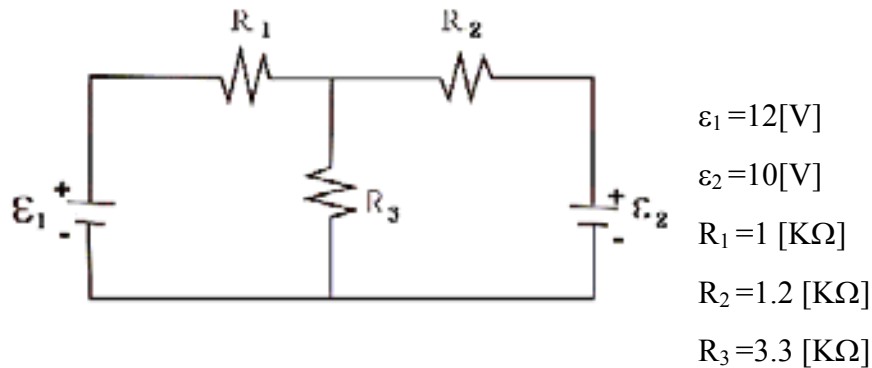


Figura 3.7.1 Circuito resistivo con dos fuentes.

RESISTENCIA	CORRIENTE [A]	VOLTAJE [V]
$R_1$	2.53mA	2.6
$R_2$	0.41mA	0.47
$R_3$	2.93mA	9.58

Tabla 3.7.1 Medidas de intensidad de corriente y caída de voltaje.

**Circuito RC**

- c) Calibre el escopómetro al encender, manteniendo oprimido el botón USER hasta escuchar dos señales audibles.



Figura 3.7.2 Calibración del escopómetro.

- d) Ajuste el generador de funciones de tal manera que obtenga una señal cuadrada de 2V de amplitud y 2 KHz de frecuencia.
- e) Arme el circuito como es mostrado en la figura 3.7.3.

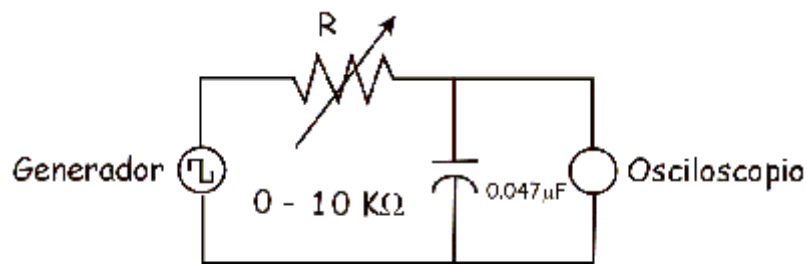


Figura 3.7.3 Circuito RC.

- f) Varíe el potenciómetro hasta obtener una señal fácil de medir en el escopómetro.
- g) Con ayuda del escopómetro observe el voltaje en el capacitor y en la resistencia.

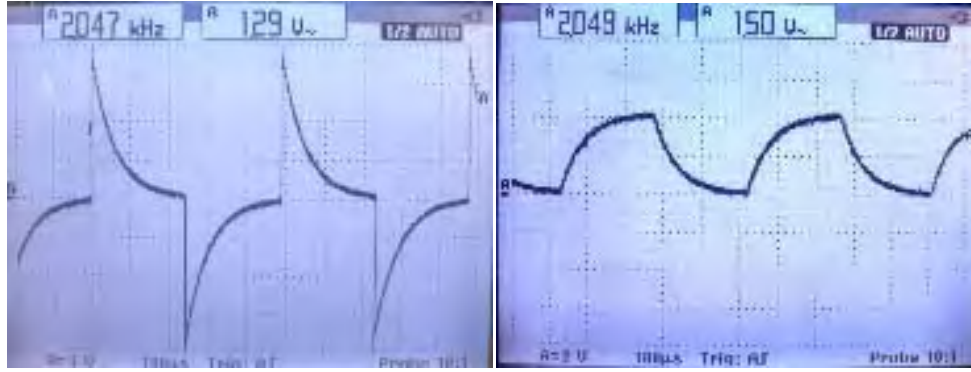
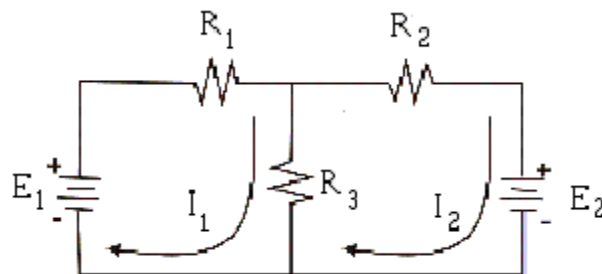


Figura 3.7.4 Graficas de carga y descarga de un capacitor.

- h) Desconecte la resistencia del circuito y mídala con el óhmetro anotando su valor,  
 $R = \underline{1.2K\Omega}$

### CUESTIONARIO FINAL

1. Con los valores indicados en el circuito de la figura 3.7.1 encuentre la intensidad de corriente y el voltaje para cada resistencia.



Usando el método de corrientes de mallas.

$$\varepsilon_1 - V_{R1} - V_{R3} = 0 \dots (1)$$

$$V_{R3} - V_{R2} - \varepsilon_2 = 0 \dots (2)$$

$$\varepsilon_1 - R_1 I_1 - R_3 (I_1 - I_2) = 0 \dots (1)$$



$$R_3(I_1 - I_2) - R_2I_2 - \varepsilon_2 = 0 \dots (2)$$

$$12 - 987I_1 - 3262I_1 + 3262I_2 = 0 \dots (1)$$

$$3262I_1 - 3262I_2 - 1204I_2 - 10 = 0 \dots (2)$$

$$12 - 4249I_1 + 3262I_2 = 0 \dots (1)$$

$$3262I_1 - 4466I_2 - 10 = 0 \dots (2)$$

*Despejando  $I_1$  de ecuación 1*

$$I_1 = \frac{12 + 3262I_2}{4249} \dots (3)$$

*Sustituyendo  $I_1$  en ecuación 2*

$$(3262) \left( \frac{12 + 3262I_2}{4249} \right) - 4466I_2 - 10 = 0$$

$$-0.7875 - 1961.7298I_2 = 0$$

*Despejando  $I_2$  obtenemos.*

$$I_2 = -0.4014mA$$

*Sustituyendo en ecuación 3 obtenemos  $I_1$ .*

$$I_1 = 2.516mA$$

*Sustituyendo en ecuación 1.*

$$I_3 = -2.9174mA$$

2. ¿Qué concluye respecto a los valores obtenidos experimentalmente y teóricamente en el circuito de la figura 3.7.1?

Los valores de corriente obtenidos experimentalmente son muy cercanos a los teóricos.

3. ¿Se cumple el principio de conservación de la energía (leyes de corriente y voltaje de Kirchhoff) para las lecturas de la tabla 3.7.1? ¿Qué consideraciones hay que hacer?

Si. La suma de las corrientes entrantes a un nodo es igual a la corriente de salida de ese nodo. Para voltajes, la sumatoria de voltajes en cada malla es cero.

4. Realice una gráfica acotada del voltaje en el capacitor y en la resistencia, en el proceso de carga y descarga respectivamente del inciso f.

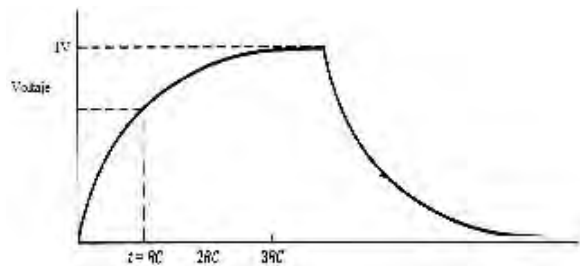
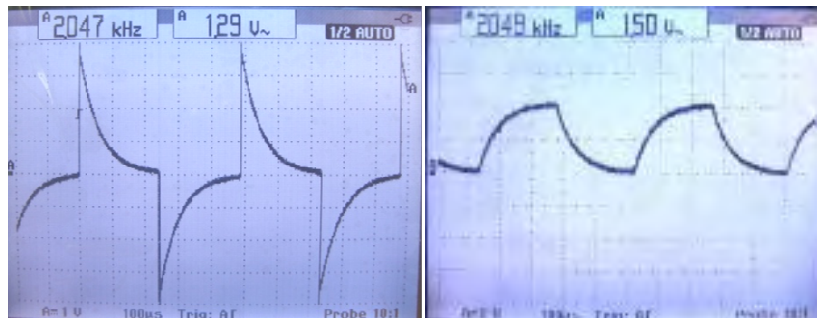


Figura 3.7.5 Gráfica acotada del voltaje en el capacitor y en la resistencia, en el proceso de carga y descarga

5. Realice la suma de las gráficas de voltaje realizadas en la pregunta 4. Como relaciona la señal obtenida con la señal de entrada.

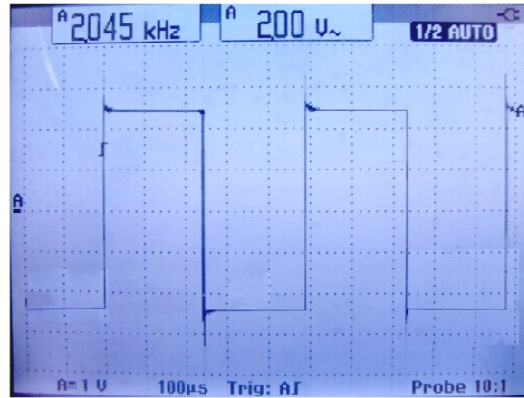


Figura 3.7.6 Suma de las gráficas de voltaje

6. De la gráfica de voltaje de energización, anote el voltaje y encuentre el valor de la constante de tiempo

*Se considera que la constante de tiempo ( $\tau$ ) se obtiene al 63% del voltaje total.*

$$V_{\tau} = 1.5V \times 0.63 = 0.945$$

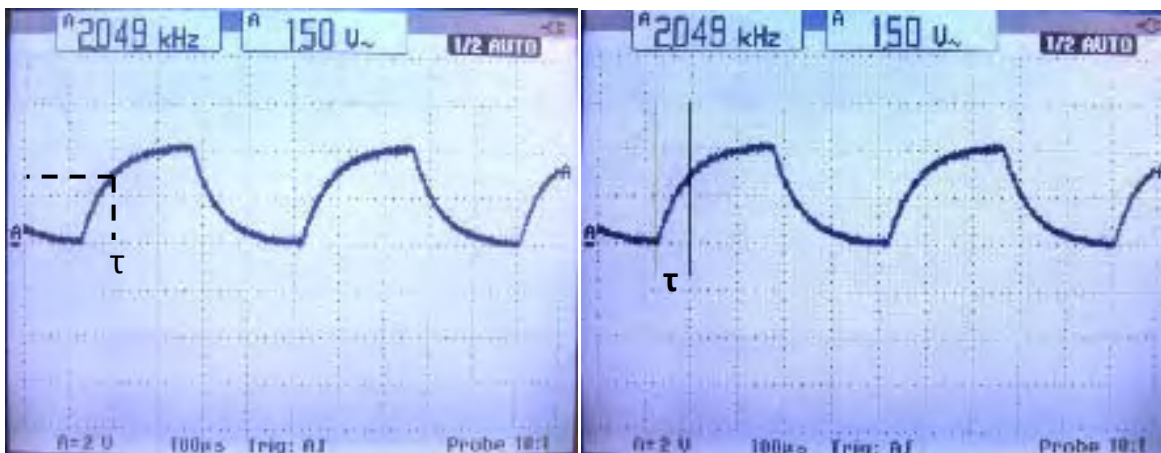


Figura 3.7.8 Determinación de la constante de tiempo.

$$\tau \approx 60 \mu s$$

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

$$C = \frac{\tau}{R} = \frac{60\mu s}{1200} = 0.05\mu f$$

ESCRIBA SUS COMENTARIOS Y CONCLUSIONES A LA PRÁCTICA.

Se comprobaron las leyes de Kirchhoff utilizando circuitos reales, de los cuales se observó que los valores de voltaje y corriente son muy aproximados a los calculados. También se verificó que se cumple la ley de conservación de la energía.

En esta práctica también se observó el comportamiento del proceso de carga y descarga de un circuito RC y a partir de esto se obtuvo la constante de tiempo.

### **3.8 CAMPOS MAGNÉTICOS ESTACIONARIOS**

#### **OBJETIVOS**

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

#### **CONCEPTOS NECESARIOS.**

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

#### **MATERIAL Y EQUIPO**

- Dos imanes de barra rectos
- Dos imanes tipo dona
- Un imán en forma de U (herradura)
- Un electroimán
- Un dispositivo de Oersted
- Limadura de hierro
- Una bobina con su base
- Un solenoide con núcleo de hierro
- Una fuente de poder Lab. II
- Cuatro brújulas
- 10 cables para conexión

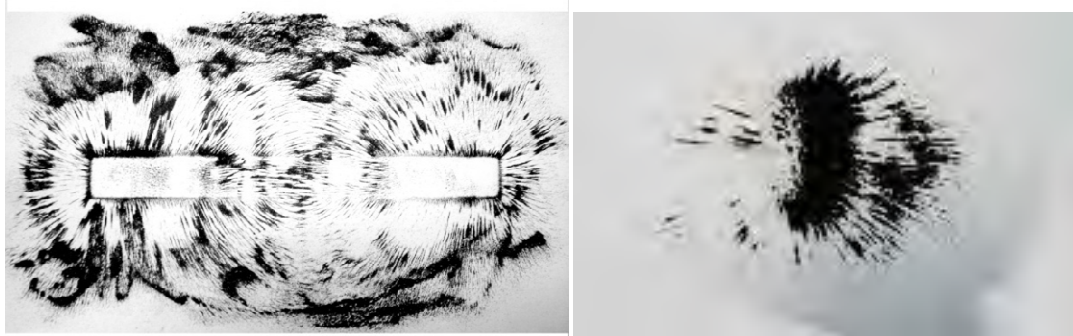
- Una balanza granataria
- Una regla graduada
- Un soporte universal y pinza de sujeción
- Una hoja de papel nueva

## DESARROLLO

### Configuraciones de campo magnético.

- c) Coloque el imán de barra horizontalmente sobre la mesa de trabajo, a continuación sobre él ponga una hoja de papel y rocié (finamente) limadura de hierro de manera uniforme. Ahora repita el procedimiento anterior con el imán en posición vertical respecto a la mesa.

*Nota: Después de rociar la limadura de unos pequeños golpes a la hoja, a fin de que se distribuya la limadura y se puedan observar las líneas de campo.*



Imán de barra (horizontal).

Imán de barra (vertical).

Figura3.8.1 Configuración de líneas de campo magnético

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



Imán en forma de U (horizontal).

Imán en forma de U (vertical).

Figura 3.8.2 Configuración de líneas de campo magnético

- e) Coloque dos imanes de barra longitudinalmente como se indica en la figura 3.8.3. Para cada caso ponga una hoja sobre ellos y rocíe (finamente) limadura de hierro.

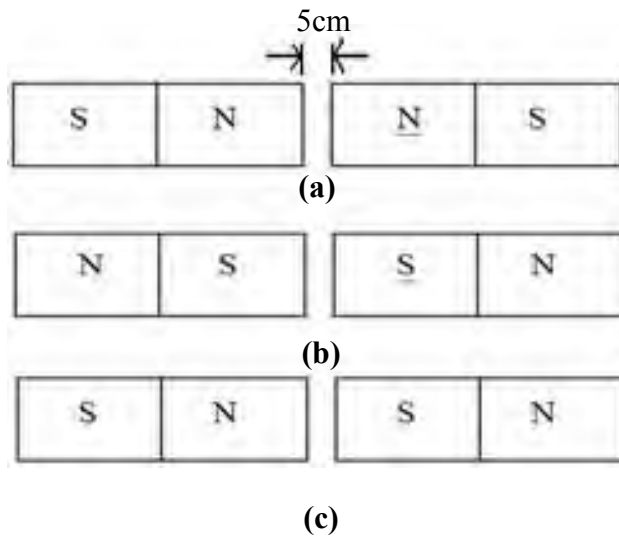
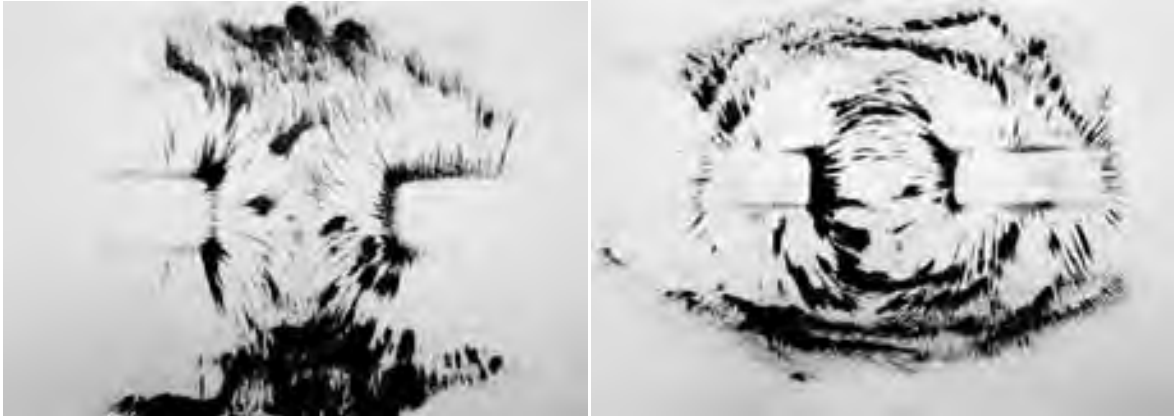


Figura 3.8.3 Imanes de barra.

**NOTA:** Verificar la polaridad del imán auxiliándose por medio de la brújula.



Imanes de barra longitudinalmente con polos iguales.

Imanes de barra longitudinalmente con polos diferentes.

Figura 3.8.4 Configuración de líneas de campo magnético en imanes de barra.

### Experimento de OERSTED.

- f) Utilizando el dispositivo de OERSTED, coloque cuatro brújulas en la base de acrílico alrededor del hilo conductor en un radio de aproximadamente 3 cm, como se muestra en la figura 3.8.5 (Cerciórese que todas las brújulas señalen en dirección del norte geográfico).

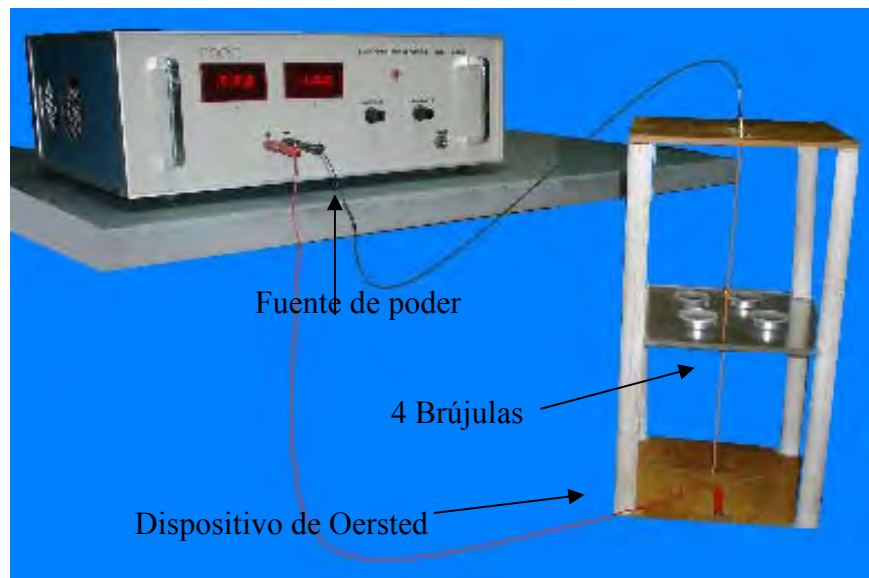


Figura 3.8.5 Dispositivo de Oersted.



- g) Ajuste la fuente de poder hasta obtener una corriente eléctrica de 10A aproximadamente y observe el sentido del campo magnético indicado por las brújulas.

### **Campo magnético producido por una bobina circular y un solenoide**

- h) Coloque en el eje axial de la bobina circular, cuatro brújulas como se muestra en la figura 3.8.6 (cerciórese que el eje axial de la bobina no coincida con el norte – sur geográfico). A continuación mediante la fuente de poder ajuste la corriente eléctrica a 1A y observe la orientación de las brújulas.

*Nota: Se sugiere hacer el experimento lo más alejado posible de la fuente.*

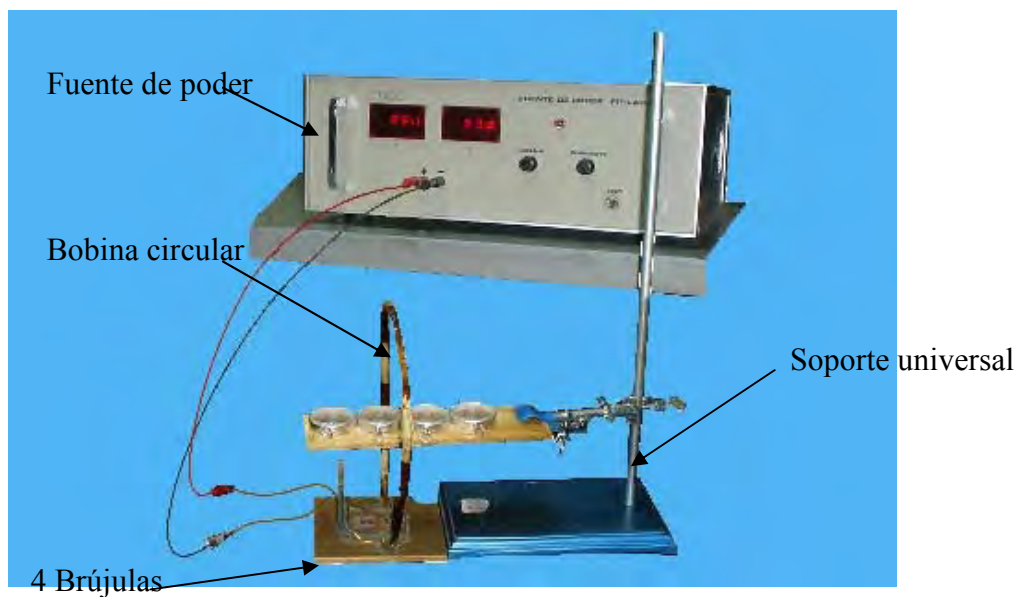


Figura 3.8.6 Dispositivo de bobina circular.



Figura 3.8.7 Las brújulas se orientan en dirección del campo magnético.

- i) Conecte la fuente de poder al solenoide como se muestra en la figura 3.8.8 y ajuste el voltaje hasta tener una corriente de 1.5A. A continuación coloque una hoja de papel sobre el solenoide estando este en posición horizontal y rocíe limadura de hierro.

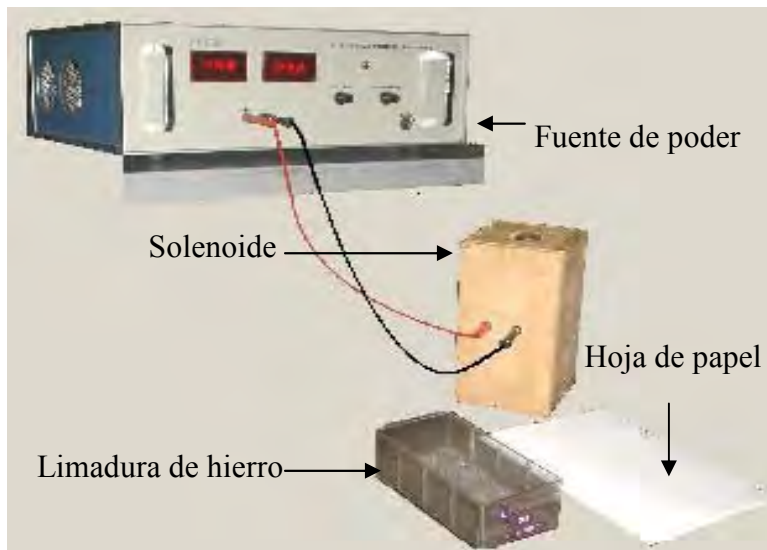


Figura 3.8.8 Dispositivo para obtener las líneas de campo originadas por el solenoide

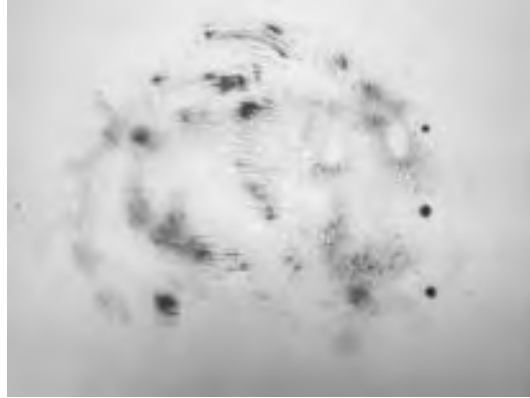


Figura 3.8.9 Líneas de campo magnético originado por el solenoide.

### Fuerza magnética entre polos magnéticos

- j) Utilizando la balanza granataria, determine la masa del imán,  $M_{\text{imán}} = \underline{17.8}$  gramos.
- k) Arme el dispositivo que se muestra en la figura 3.8.10. Sujetando el “fiel” mantenga la balanza en equilibrio (marcando cero) y fije una distancia de 12 cm entre las caras de ambos imanes.

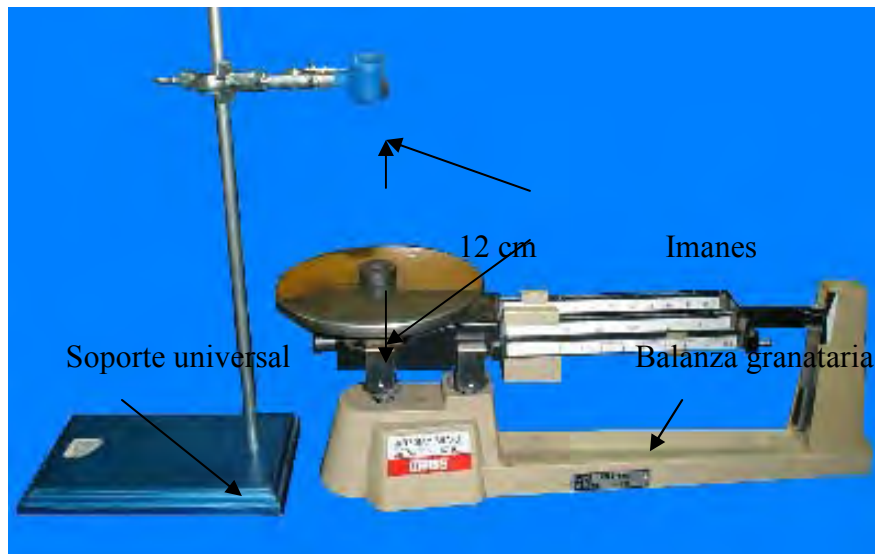


Figura 3.8.10 Fuerza entre polos magnéticos.

- l) Libere el fiel de la balanza y a continuación por medio de los jinetillos restablezca el equilibrio, para obtener  $M_{lectura}$ . Concentre su lectura en la tabla 3.8.1.
- m) Repita lo anterior para las distancias indicadas en la tabla 3.8.1 y concentre sus lecturas en la misma.

DISTANCIA [cm]	$M_{lectura}$ [g]	$M = M_{imán} - M_{lectura}$ [Kg]	FUERZA [N]
12	17.6	0.0002	0.00192
10	17.5	0.0003	0.00294
8	17.4	0.0004	0.00392
6	16.9	0.0009	0.00882
4	15.6	0.0022	0.02158

Tabla 3.8.1 Fuerza entre polos magnéticos.

- n) Sustituya el imán superior por el electroimán, colóquelo a una distancia de 4 cm según se muestra en la figura 3.8.11 y conéctela a la fuente de poder de manera que provoque repulsión al fluir corriente por él.

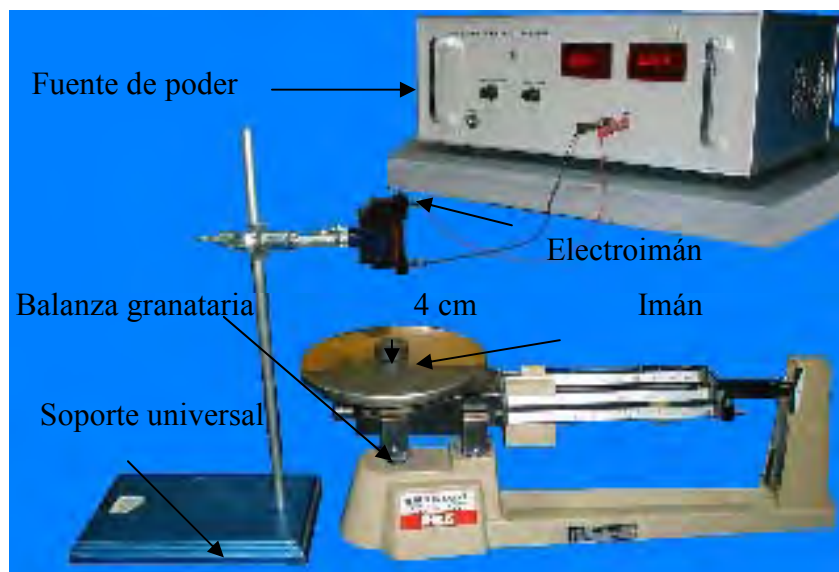


Figura 3.8.11 Electroimán.

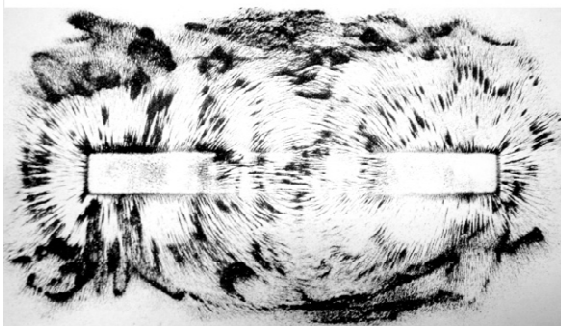
- o) Ajuste en la fuente la perilla de voltaje al máximo (15 V) y por medio de la perilla de corriente obtenga los valores indicados en la tabla 3.8.2.
- p) En cada caso del inciso anterior, para obtener  $M_{lectura}$ , restablezca el equilibrio en la balanza y concentre sus lecturas en la misma tabla.

<b>CORRIENTE</b> [A]	$M_{lectura}$ [gr]	$M = M_{imán} - M_{lectura}$ [Kg]	<b>FUERZA</b> [N]
0.5	19.7	0.0019	0.0186
1.0	21.0	0.0028	0.0274
1.5	23.0	0.0052	0.0510
2.0	24.4	0.0066	0.0647
2.5	26.0	0.0082	0.0804

Tabla 3.8.2 Fuerza magnética utilizando un electroimán.

### CUESTIONARIO FINAL

1. Dibuje la forma de las líneas de campo magnético producidas en el plano de la hoja por el imán recto, estando el eje del imán:
  - 1.1. En posición vertical
  - 1.2. En posición horizontal
  - 1.3. ¿Qué concluye al respecto?



Posición horizontal



Posición vertical

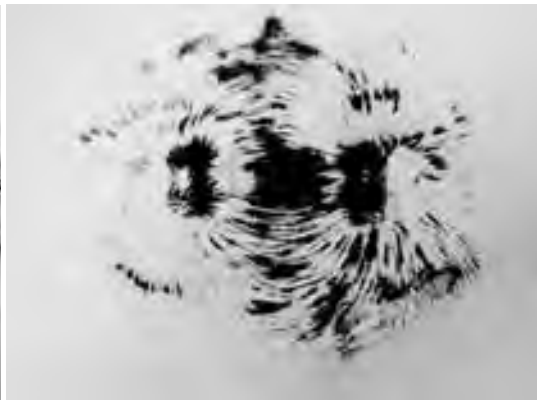
En la posición horizontal se observa como las líneas de campo magnético tienden a ir de polo a polo. En la posición vertical se observa como las líneas de campo magnético salen del polo.

Se observa que las líneas de campo magnético siempre son trayectorias cerradas.

2. Dibuje la forma de las líneas de campo magnético producidas en el plano de la hoja por el imán en U.
  - 2.1. En posición vertical
  - 2.2. En posición horizontal
  - 2.3. ¿Qué concluye al respecto?



Posición horizontal



Posición vertical

Se observa como las líneas siguen una trayectoria de polo a polo formando así una trayectoria cerrada, las líneas no se cruzan.

3. Dibuje las líneas de campo magnético producido en el plano de la hoja por los dos imanes



Imanes de barra longitudinalmente con polos iguales.

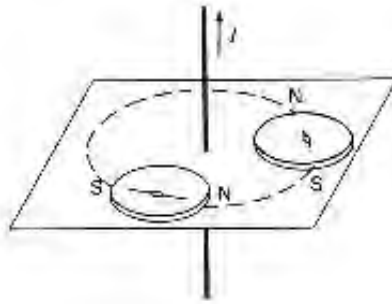


Imanes de barra longitudinalmente con polos diferentes.

4. Dibuje la configuración de campo magnético auxiliándose por medio de líneas de fuerza. Observadas en el inciso h.



5. Auxíliese con las brújulas para obtener la configuración del campo magnético utilizadas en el inciso e ¿Qué concluye al respecto?



Este experimento demuestra que al fluir corriente por un conductor este origina un campo magnético del cual se puede saber su dirección utilizando la regla de la mano derecha.

6. Si invierte el sentido de la corriente ¿Cuáles serían sus conclusiones respecto a las líneas de fuerza?

Las agujas de las brújulas irían en sentido opuesto (cambia el sentido del flujo de corriente eléctrica).

7. La dirección del campo magnético indicada por las brújulas observado en el inciso e) ¿Coincide con la regla de la mano derecha?

Si coincide. De lo cual podemos concluir que conociendo la dirección de la corriente es posible conocer la dirección del campo magnético.

8. Considerando los valores de la tabla 3.8.1. ¿Cómo varía la magnitud del campo magnético sobre el eje del solenoide? Escriba la ecuación matemática que cuantifica esta variación.

A mayor corriente el solenoide tiene mayor fuerza magnética.

$$Bl = \mu_0 NI$$



Donde  $B$  es el campo en el interior del solenoide y  $l$  es la longitud. Si una corriente  $I$  circula en los alambres del solenoide, la corriente total encerrada es igual a  $NI$ .

Si  $n = N/l$  es el número de espiras por unidad de longitud, entonces

$$Bl = \mu_0 nI$$

9. Tabule los resultados de la tabla 3.8.1 en una gráfica de fuerza magnética contra distancia y escriba la relación matemática de este comportamiento ¿Cómo varía la fuerza magnética respecto a la distancia?

A mayor distancia, menor fuerza magnética o la fuerza magnética es inversamente proporcional a la distancia.

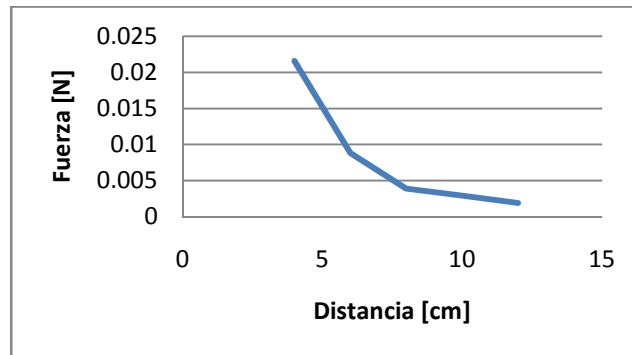


Figura 3.8.12 Gráfica de fuerza magnética contra distancia

10. Grafique la fuerza magnética contra corriente eléctrica con los valores obtenidos en la tabla 3.8.2 ¿Cómo varía la fuerza magnética respecto a la corriente?

A mayor corriente, mayor fuerza magnética o la fuerza es directamente proporcional a la corriente

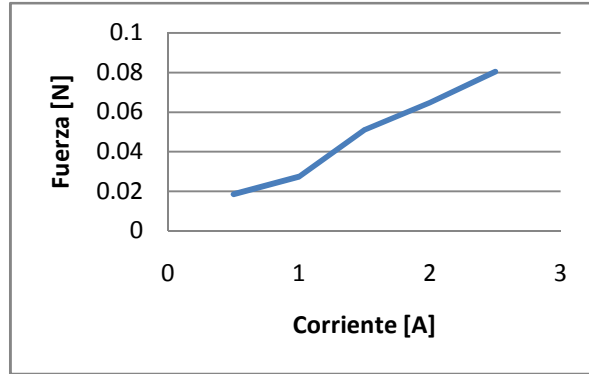


Figura 3.8.13 Grafica de fuerza magnética contra corriente eléctrica

ESCRIBA SUS COMENTARIOS Y CONCLUSIONES A LA PRÁCTICA.

Se observaron las configuraciones de campo magnético utilizando imanes de diferentes formas, se observan que son iguales a las que se presentan en los textos.

En esta práctica también se realizó el experimento de oersted para observar que en todo alambre conductor al cual se le hace pasar una corriente eléctrica genera un campo magnético, comprobando también la regla de la mano derecha para obtener la dirección del campo magnético.

Se comprobó la fuerza que existe entre los polos de imanes, la cual es inversamente proporcional a la distancia y se hicieron pruebas utilizando un electroimán, el cual genera un mayor campo magnético directamente proporcional a la corriente que se le suministra.

### **3.9 LEY DE INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA DE FARADAY**

#### **OBJETIVOS**

- Aplicación de la ley de inducción de Faraday.
- Fundamentos básicos del transformador eléctrico.
- Aplicación del transformador como elevador o reductor de voltaje

#### **CONCEPTOS NECESARIOS**

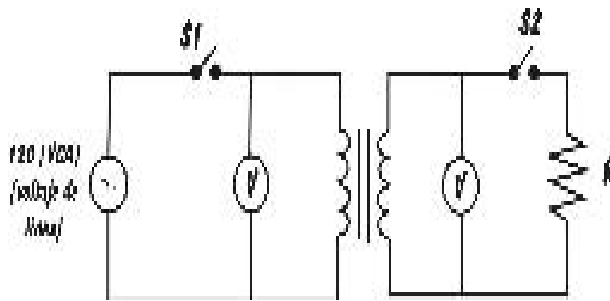
1. Inducción Electromagnética
2. Ley de Lenz
3. Campo magnético variable en el tiempo

#### **MATERIAL Y EQUIPO**

- Una bobina de 1000 espiras
- Dos bobinas de 250 espiras
- Un núcleo de hierro en forma de “U”
- Dos multímetros
- Una resistencia de  $1.81\text{[k}\Omega\text{]}$  a  $10\text{[W]}$
- 10 cables de conexión
- Dos interruptores
- Un variac

**DESARROLLO****PRINCIPIO BÁSICO DEL TRANSFORMADOR ELÉCTRICO:****Transformador regulador****Medición de voltaje**

- a) Arme el circuito mostrado en la figura 3.9.1a empleando las bobinas iguales de 250 espiras



(a)



(b)

Figura 3.9.1. Medición de voltaje.

**Cerrando únicamente el interruptor  $S_1$ :**

- b) Mida el voltaje en el primario en vacío  
 c) Mida el voltaje en el secundario en vacío  
 Anote los datos obtenidos en la tabla 3.9.1.

*Nota: Los valores de voltaje deben ser casi iguales debido a que se tiene el mismo número de vueltas en el primario y en el secundario.*

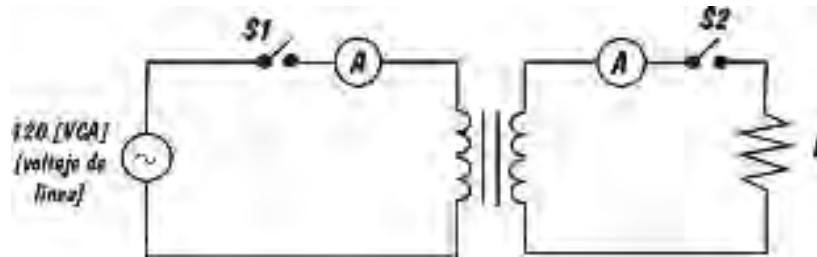
**Ahora con los dos interruptores ( $S_1$  y  $S_2$ ) cerrados:**

- d) Mida el voltaje en el primario con carga  
 e) Mida el voltaje en el secundario con carga

Anote los datos obtenidos en la tabla 3.9.1.

### Medición de corriente

f) Arme el circuito de la figura 3.9.2a, empleando las bobinas (250 espiras)



(a)



(b)

Figura 3.9.2 Medición de corriente.

### Cerrando únicamente el interruptor $S_1$ :

g) Mida la corriente en el primario en vacío

Anote los datos en la tabla 3.9.1

### Ahora con los dos interruptores ( $S_1$ y $S_2$ ) cerrados:

h) Mida la corriente en el primario con carga.

i) Mida la corriente en el secundario con carga.

Anote los datos en la tabla 3.9.1

Circuito	Voltaje [V]		Corriente [A]	
	Primario	Secundario	Primario	Secundario
En vacío	20	19.22	128 m	-----
Con carga	20	19.06	132.6m	10.34m

Tabla 3.9.1. Mediciones de voltaje y corriente en el transformador regulador

### Transformador reductor de voltaje.

- j) Reemplazar en el circuito primario de la figura 3.9.2a, la bobina de 250 espiras por una de 1000 espiras.
- k) Realice las mediciones de la misma forma en que lo hizo en el experimento anterior.

**Nota:** Los voltajes del secundario deben ser menores en la proporción  $a=250/1000=0.25$

Anote los resultados en la tabla 3.9.2

Circuito	Voltaje [V]		Corriente [A]	
	Primario	Secundario	Primario	Secundario
En vacío	20	4.60	14.40 m	-----
Con carga	20	4.65	14.23m	2.53m

Tabla 3.9.2 Mediciones de voltaje y corriente en el transformador reductor

### Transformador elevador de voltaje.

- l) Realice las mismas mediciones que los experimentos 1 y 2 pero ahora colocando la bobina de 250 espiras en el primario y la de 1000 espiras en el secundario. Anote los resultados en la tabla 3.9.3.

**Nota:** Los voltajes del secundario deben ser mayores en la proporción  $a=1000/250=4$

Circuito	Voltaje [V]		Corriente [A]	
	Primario	Secundario	Primario	Secundario
En vacío	20	77.7	144m	-----
Con carga	20	71.1	290m	48.9

Tabla 3.9.3 Mediciones de voltaje y corriente en el transformador elevador

### CUESTIONARIO FINAL

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

*Si. Se verifico debido a que se obtiene en el transformador un voltaje en el devanado secundario.*

2. ¿Se comprobó la acción transformadora en cada caso?

*Si. Se observo el comportamiento del transformador como elevador, reductor y regulador de voltaje, obteniendo mediciones muy parecidas a las obtenidas teóricamente.*

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

*Perdidas por histéresis, perdidas por efecto joule, perdidas en los devanados y perdidas en el entrehierro.*

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

Transformador	Np	Ns	a	Vp(t)	Vs(t)		$\Psi_{BP}$	$\Psi_{BS}$
					EXP.	TEOR.	MAXWELL	MAXWELL
Básico	250	250	1	20	19.06	20	0.2122m	0.2122m
Reductor	1000	250	0.25	20	4.65	5	0.0530m	0.0530m
Elevador	250	1000	4	20	91.1	100	1.0610m	1.0610m

$$V_{1\max} = N_1 \omega \Psi_{B1\max}$$

$$\Psi_{B1\max} = \frac{V_{1\max}}{N_1 \omega}$$

$$\Psi_{B1\max} = \Psi_{B2\max} \quad \text{Flujo mutuo máximo}$$

ESCRIBA SUS COMENTARIOS Y CONCLUSIONES A LA PRÁCTICA

Se pudo observar cómo es que la ley de Faraday es parte fundamental del funcionamiento de un transformador. Gracias a los experimentos realizados en esta práctica se pudo comprender que el transformador puede ser utilizado como regulador, reductor o elevador dependiendo del número de espiras que se tenga en cada devanado y de la aplicación que se requiera.

Otro punto importante que se analizó en esta práctica es que la potencia en el lado primario del transformador es idealmente la misma que se obtiene en el lado secundario pero si se considera un transformador real, este presenta diferentes tipos de pérdidas.



### **3.10 PROPIEDADES MAGNÉTICAS**

#### **OBJETIVOS**

- I. Aprenderá a utilizar el flujómetro para la medición de flujo magnético
- II. Clasificará a los materiales que se usen en diamagnéticos, paramagnéticos o ferromagnéticos.
- III. Verificará experimentalmente el ciclo de histéresis en materiales ferromagnéticos

#### **CONCEPTOS NECESARIOS**

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

#### **MATERIAL Y EQUIPO**

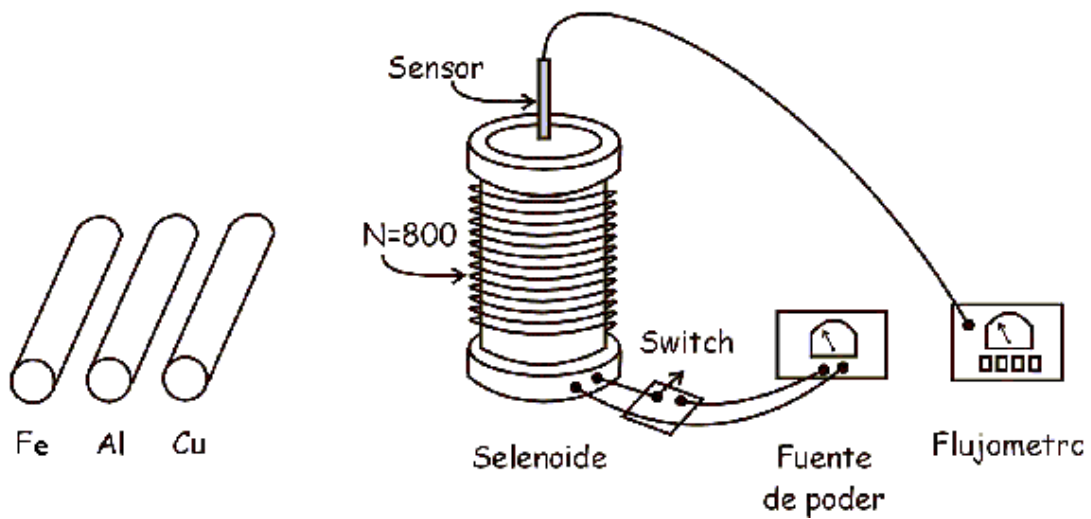
- Un solenoide
- Tres núcleos (aluminio, cobre, hierro)
- Un medidor de flujo magnético
- Una fuente de poder de 0-10VCD; 14A
- Conjunto de cables de conexión

#### **DESARROLLO**

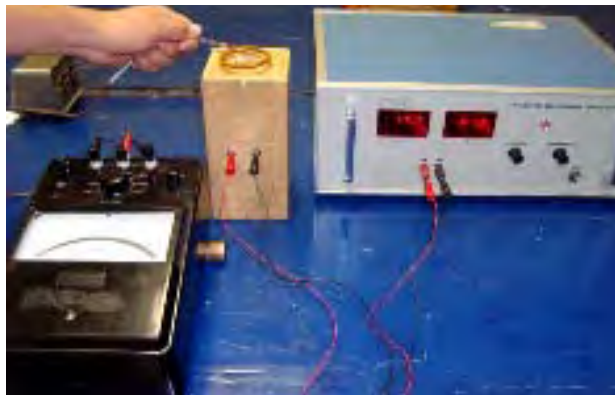
- a) El profesor explicará el uso y manejo del flujómetro para medición de flujo magnético.
- b) Con ayuda del profesor se calibrará el flujómetro, estará listo para realizar mediciones.

- c) Conecte la fuente de poder al solenoide como se muestra en la figura 3.10.1
- d) Gire la perilla de voltaje hasta el máximo y ajuste la perilla de corriente hasta 1.6 A
- e) Una vez que la fuente marque 1.6 A desconecte el solenoide

**Nota:** Las tomas de lectura con aire deben realizarse en el menor tiempo posible, pues sin núcleo la bobina sufre un calentamiento excesivo.



(a)



(b)

Figura 3.10.1. Medición de flujo magnético

**Nota:** Durante la toma de lecturas evite usar anillos, relojes o adornos metálicos.

f) Con el flujómetro encendido se coloca el sensor de este a un centímetro arriba del centro del solenoide evitando que se mueva.

g) Seleccione la escala máxima de lectura en el flujómetro y conecte el solenoide a la fuente de alimentación con una corriente de alimentación de 1.6 A. Si no registra lectura en el flujómetro cambie a una escala apropiada.

h) Varíe la corriente en intervalos de 0.2 A y para cada lectura concentre la misma en la tabla 3.10.1.

I [A]	LECTURA EN EL FLUJOMETRO			
	[10 <sup>-5</sup> Wb·Turn]			
	AIRE [3x10 <sup>2</sup> ]	ALUMINIO [3x10 <sup>2</sup> ]	COBRE [3x10 <sup>2</sup> ]	HIERRO [3x10 <sup>3</sup> ]
1.6	0.9	0.60	0.6	1.0
1.4	0.8	0.60	0.4	0.9
1.2	0.5	0.40	0.4	0.9
1.0	0.4	0.40	0.4	0.9
0.8	0.3	0.30	0.3	0.8
0.6	0.3	0.30	0.3	0.6
0.4	0.2	0.10	0.2	0.3

Tabla 3.10. Lecturas obtenidas de diferentes materiales

**Nota:** Se debe multiplicar el valor obtenido en el flujómetro por las 40 vueltas de la sonda de prueba.

I [A]	LECTURA EN EL FLUJOMETRO [Wb]				CAMPO MAGNETICO B CALCULADO [T]			
	AIRE [ $3 \times 10^2$ ]	ALUMINIO [ $3 \times 10^2$ ]	COBRE [ $3 \times 10^2$ ]	HIERRO [ $3 \times 10^3$ ]	AIRE	ALUMINIO	COBRE	HIERRO
1.6	0.00036	0.00024	0.00024	0.00040	0.432	0.288	0.288	4.8
1.4	0.00032	0.00024	0.00016	0.00036	0.384	0.288	0.192	4.32
1.2	0.00020	0.00016	0.00016	0.00036	0.240	0.192	0.192	4.32
1.0	0.00016	0.00016	0.00016	0.00036	0.192	0.192	0.192	4.32
0.8	0.00012	0.00012	0.00012	0.00032	0.144	0.144	0.144	3.84
0.6	0.00012	0.00012	0.00012	0.00024	0.144	0.144	0.144	2.88
0.4	0.00008	0.00004	0.00008	0.00012	0.096	0.048	0.096	1.44

Tabla 3.10.2

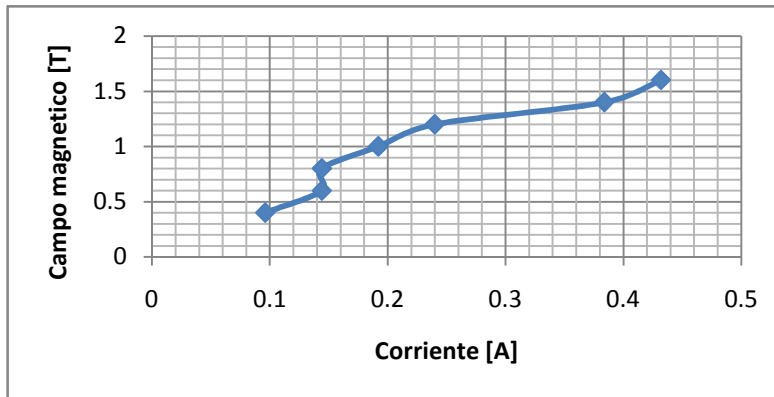
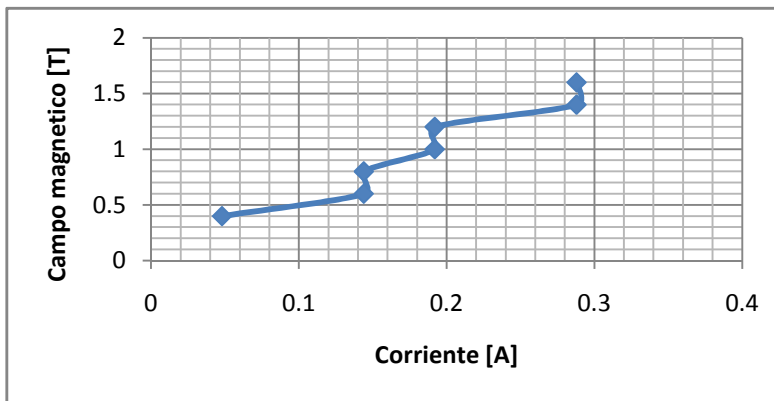
***Nota: Evite cambiar de núcleo cuando esté pasando corriente.***

i) Para cada uno de los núcleos se repite el procedimiento a partir del punto g) y concentre sus lecturas en la tabla 3.10.1.

***Nota: Se recomienda realizar las lecturas sin cambiar en lo posible la escala.***

**CUESTIONARIO FINAL**

1. Para cada uno de los núcleos (incluyendo el aire), realice una gráfica con la variable independiente en el eje de las abscisas y con la variable dependiente en el de las ordenadas. Use papel milimétrico.

**Figura 3.10.2. Aire****Figura 3.10.3. Aluminio**

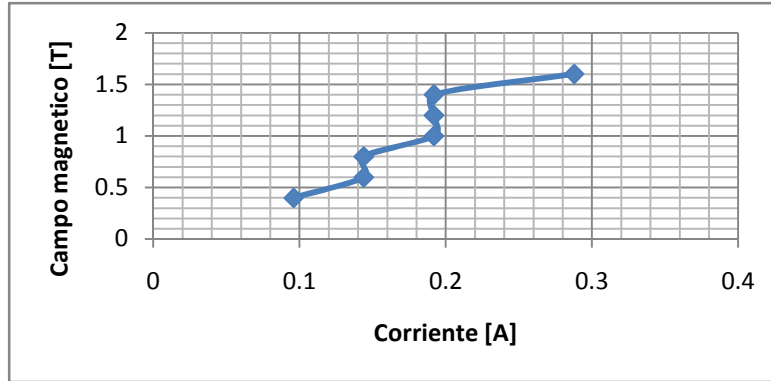


Figura 3.10.3. Cobre

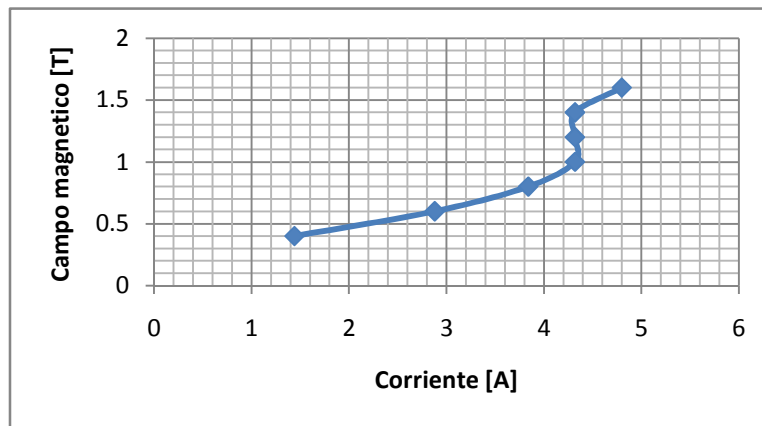


Figura 3.10.2. Hierro

2. Mediante el método de mínimos cuadrados establezca la ecuación de la recta que mejor se ajusta a los resultados obtenidos (el modelo matemático).

Sistema  $B=mx+b$

$$bn + m \sum x = \sum y$$

$$b \sum x + m \sum x^2 = \sum xy$$

$$b = \frac{\frac{\sum y}{n} \frac{\sum x}{\sum x^2}}{\frac{\sum x}{\sum x^2}} = \frac{(\sum x^2)(\sum y) - (\sum x)(\sum xy)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2}$$

$$m = \frac{\frac{n \sum xy}{\sum x \sum x^2}}{\frac{\sum y}{\sum x^2}} = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2}$$

	I	B	IxB	I <sup>2</sup>
	1.6	0.432	0.6912	2.56
	1.4	0.384	0.5376	1.96
	1.2	0.240	0.288	1.44
	1.0	0.192	0.192	1
	0.8	0.144	0.1152	0.64
	0.6	0.144	0.0864	0.36
	0.4	0.096	0.0384	0.16
Σ=	7	1.632	1.9488	8.12

Tabla 3.10.3. Para aire

$$b = \frac{(8.12)(1.632) - (7)(1.9488)}{7(8.12) - (7)^2} = -0.049$$

$$m = \frac{7(1.9488) - (7)(1.632)}{7(8.12) - (7)^2} = 0.282$$

$$B = 0.282x - 0.049$$

	I	B	IxB	I <sup>2</sup>
	1.6	0.288	0.4608	2.56
	1.4	0.288	0.4032	1.96
	1.2	0.192	0.2304	1.44
	1.0	0.192	0.192	1
	0.8	0.144	0.1152	0.64
	0.6	0.144	0.0864	0.36
	0.4	0.048	0.0192	0.16
Σ=	7	1.296	1.5072	8.12

Tabla 3.10.4. Para aluminio

$$b = \frac{(8.12)(1.296) - (7)(1.5072)}{7(8.12) - (7)^2} = -0.0034$$

$$m = \frac{7(1.5072) - (7)(1.296)}{7(8.12) - (7)^2} = 0.188$$

$$B = 0.188x - 0.0034$$

	l	B	lxB	l <sup>2</sup>
	1.6	0.288	0.6912	2.56
	1.4	0.192	0.5376	1.96
	1.2	0.192	0.288	1.44
	1.0	0.192	0.192	1
	0.8	0.144	0.1152	0.64
	0.6	0.144	0.0864	0.36
	0.4	0.096	0.0384	0.16
Σ=	7	1.248	1.392	8.12

**Tabla 3.10.4. Para cobre**

$$b = \frac{(8.12)(1.248) - (7)(1.392)}{7(8.12) - (7)^2} = 0.049$$

$$m = \frac{7(1.392) - (7)(1.248)}{7(8.12) - (7)^2} = 0.128$$

$$B = 0.128x + 0.049$$



	I	B	IxB	I <sup>2</sup>
	1.6	4.8	7.68	2.56
	1.4	4.32	6.048	1.96
	1.2	4.32	5.184	1.44
	1.0	4.32	4.32	1
	0.8	3.84	3.072	0.64
	0.6	2.88	1.728	0.36
	0.4	1.44	0.576	0.16
Σ=	7	25.92	28.608	8.12

Tabla 3.10.4. Para hierro

$$b = \frac{(8.12)(25.92) - (7)(28.608)}{7(8.12) - (7)^2} = 1.302$$

$$m = \frac{7(28.608) - (7)(25.92)}{7(8.12) - (7)^2} = 2.40$$

$$B = 2.40x + 1.302$$

3. Calcule la permeabilidad relativa de cada uno de los materiales, en las unidades adecuadas

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

B = campo magnético en el material

B<sub>o</sub> = campo magnético en el aire

$$\mu_r = \frac{|0.288|}{|0.432|} = 0.66, \text{ Para aluminio}$$

$$\mu_r = \frac{|0.288|}{|0.432|} = 0.66, \text{ Para cobre}$$

$$\mu_r = \frac{|4.8|}{|0.432|} = 11.11, \text{ Para hierro}$$

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

Diamagnético:

Paramagnéticos: Aluminio y cobre

Ferro magnético: Hierro

ESCRIBA SUS OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES A LA PRÁCTICA.

Se aprendió a usar el flujómetro utilizando diferentes materiales, así pudimos clasificarlos en paramagnético diamagnético y ferro magnético. Observando que la permeabilidad relativa es menor a uno en materiales diamagnéticos y paramagnéticos (cobre y aluminio) a diferencia del material ferro magnético (hierro) que es mucho mayor a uno.

## CAPITULO 4

### NUEVOS EXPERIMENTOS

#### 4.1 PRUEBA DESTRUCTIVA DE CAPACITORES

Los capacitores son elementos pasivos de gran utilidad en toda la industria eléctrica electrónica, sus usos y aplicaciones son variados, esto conlleva a que su manejo sea el adecuado para no tener percances.

Primeramente debemos considerar sus parámetros del capacitor (figura 4.1.1):

Capacidad: Se refiere a los faradios que puede presentar un capacitor.

Voltaje máximo de trabajo: Indica el voltaje máximo que se le puede aplicar a un capacitor sin que sufra daño (si se sobrepasa el voltaje el capacitor corre el riesgo de explotar).

Polaridad: Si el capacitor es polarizado (electrolítico) se debe de respetar su polaridad a la hora de alimentarlo con voltaje (si se conecta mal la polaridad se corre el riesgo de que explote).

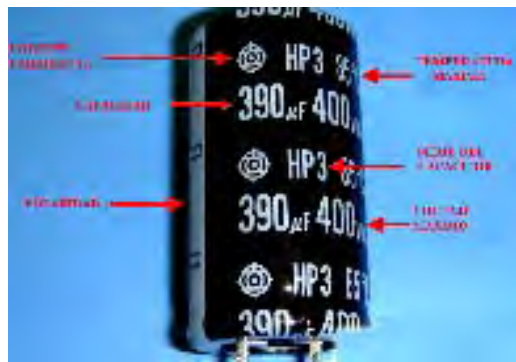


Figura 4.1.1. Parámetros de un capacitor

Por otra parte es importante tener siempre en cuenta que los capacitores almacenan energía y por general su descarga es del tipo avalancha, por lo anterior siempre que se vaya a

trabajar con un capacitor debe de cerciorarse uno que este descargado. La descarga del capacitor se puede realizar conectando sus terminales a tierra.

### Prueba destructiva del capacitor.

a) Arme el circuito como se muestra en la figura 4.1.2, considerando que se está conectando con la polaridad incorrecta y con un sobre voltaje, es importante que tenga la cubierta de acrílico puesta en el capacitor.

b) Cierre el interruptor y observe lo que sucede.

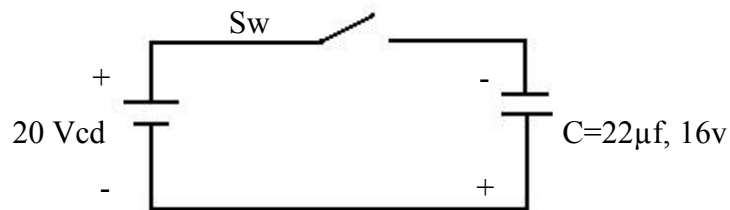


Figura 4.1.2. Prueba destructiva del capacitor.

Después de 10 segundos de haber accionado el interruptor el capacitor exploto como se muestra en la figura 4.1.3. Esto debido a que el voltaje máximo de trabajo del capacitor era de 16V y se alimento a 20V, además la polaridad estaba mal conectada.



Figura 4.1.3. Prueba destructiva del capacitor.

## 4.2 PUENTE DE WHEATSTONE BÁSICO.

El circuito que se muestra en la Figura 4.3a conocido como puente de Wheatstone, se utiliza para encontrar el valor de un resistor desconocido  $R_x$  por comparación con tres resistores  $R_1$ ,  $R_2$  y  $R_3$  cuyas resistencias se pueden modificar. Se conoce con precisión la resistencia de cada resistor que corresponde a cada posición de ajuste. Se modifican estos resistores hasta que la corriente en el galvanómetro  $G$  es cero; se dice entonces que el puente está equilibrado.

a) Con ayuda del profesor arme el dispositivo básico del puente de Wheatstone que se muestra en la figura 4.2.1 alimentándolo con 3v de cd.

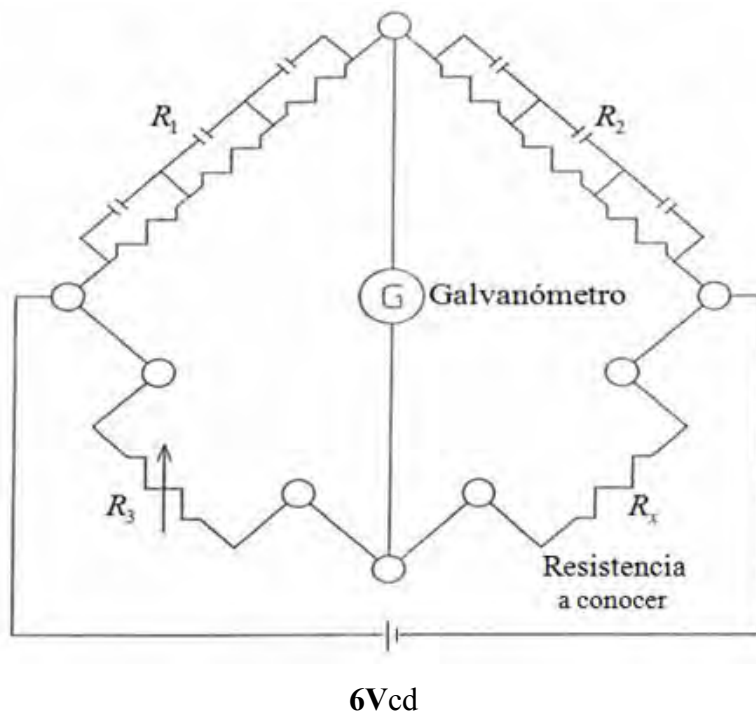


Figura 4.2.1a Puente de Wheatstone.



Figura 4.2.1b Puente de Wheatstone.

b) Asigne un valor de resistencia en R1 y en R2 diferente de cero como se muestra en la figura 4.2.3.

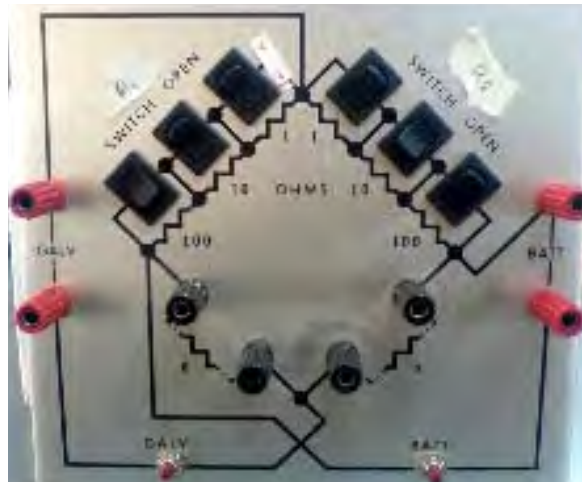


Figura 4.2.3 Puente de Wheatstone básico.

Los posibles valores de resistencia que pueden asignar son:  $1\ \Omega$ ,  $10\ \Omega$ ,  $11\ \Omega$ ,  $100\ \Omega$ ,  $101\ \Omega$ ,  $110\ \Omega$ ,  $111\ \Omega$ .

Por ejemplo si se quiere asignar el valor de  $100\ \Omega$  solo ponga el primer Switch en posición de cerrado como se muestra en la figura 4.2.4.

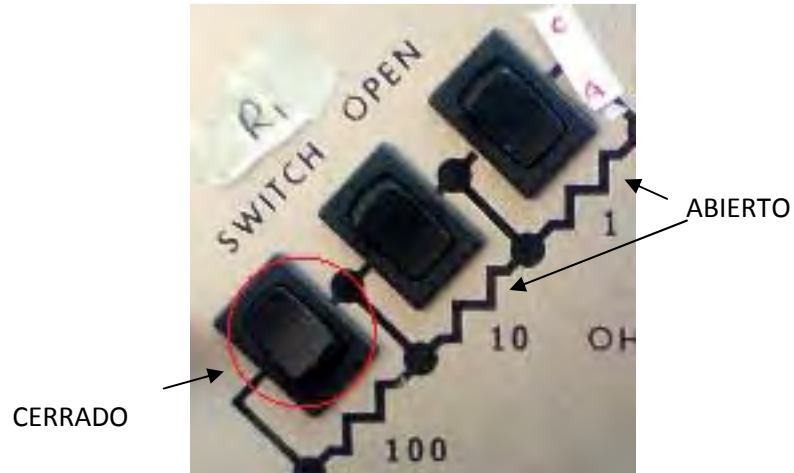


Figura 4.2.4 Interruptores de selección de resistencia.

c) Asegúrese de conectar el galvanómetro a la entrada de 5mA indicado en la figura 4.2.5.



Figura 4.2.5 Galvanómetro

d) Coloque las perillas de las décadas de resistencia en 0, figura 4.2.6.



Figura 4.2.6 Modulo de resistencias por década.

Cada modulo de resistencias consta de 6 perillas cada una con escala de 0 a 10 pero con diferente factor multiplicador, por ejemplo, si se quiere una resistencia de 321110K se deben de seguirlos siguientes pasos:

Ubíquese en la perilla de década X100K y seleccione el valor de 3, en este caso se obtendrá una resistencia de 300K $\Omega$ , figura 4.2.7.



Figura 4.2.7 Perilla selectora X100K

A continuación pase a la perilla de década X10K y seleccione el valor de 2, en este caso se obtendrá una resistencia de 20K $\Omega$ , figura 4.2.8.





Figura 4.2.8 Perilla selectora X10K

Y así sucesivamente varíe las décadas hasta obtener la configuración de la figura 4.2.9.



Figura 4.2.9 Ejemplo de configuración de resistencia  
 $300K + 20K + 1K + 100 + 10 + 0 = 321.110K\Omega$

e) Para tomar la lectura mantenga presionados los botones GALV Y BATT del puente de Wheatstone y el botón 'push to read' del galvanómetro al mismo tiempo, figura 4.2.10.



Figura 4.2.10 Botones utilizados para tomar la lectura

f) Varíe las perillas de las décadas hasta obtener el valor de 0 en el galvanómetro ( $I_G = 0$ ). Esto se logra observando la aguja del galvanómetro si esta se va hacia el lado positivo (+) reduzca el valor de la resistencia en las décadas y si la aguja se va hacia el lado negativo (-) incremente el valor de la resistencia, figura 4.2.11.



Figura 4.2.11 Caratula del Galvanómetro

g) Registre en la tabla X los valores de  $R$ ,  $R_1$  y  $R_2$  para tal condición.  
 ) calcule el valor de la resistencia desconocida con la formula y llene la tabla.

$$R_x = \frac{R \cdot R_2}{R_1}$$

$R_x$ [ $\Omega$ ]	$R_1$ [ $\Omega$ ]	$R_2$ [ $\Omega$ ]	$R$ [ $\Omega$ ] Década	$R_x$ [ $\Omega$ ] Calculado
$R_{x1}$	110	110	118	118
$R_{x2}$	110	100	129	117.2
$R_{x3}$	101	101	1000	1000
$R_{x4}$	101	101	10000	10000
$R_{x5}$	100	10	100000	10000

Tabla 4.2.1 Comprobación de valores de resistencia por puente de Wheatstone.

La fórmula  $R_x = \frac{R_2 R_3}{R_1}$  se obtiene analizando el diagrama del circuito de puente de Wheatstone:

Considere que el circuito está en equilibrio, en estas condiciones la resistencia desconocida está dada por  $R_x = \frac{R_2 R_3}{R_1}$  (Este método permite alcanzar una precisión muy grande al comparar resistores).

Primero se consideran los interruptores  $S_1$  y  $S_2$  cerrados y se indican las corrientes en el circuito como se muestran en la figura 4.2.12.

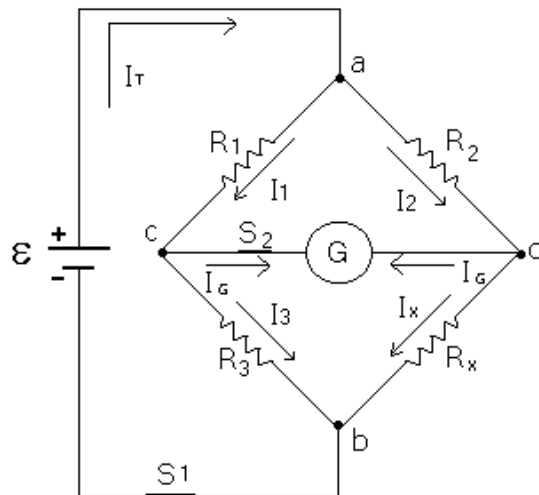


Figura 4.2.12 Circuito puente de Wheatstone con  $S_1$  y  $S_2$  cerrados

- Para encontrar el valor del resistor  $R_x$  el galvanómetro (G) debe indicar cero, es decir la corriente total que pasa por él es cero. Por lo que se puede considerar el circuito como se muestra en la figura 4.2.13.

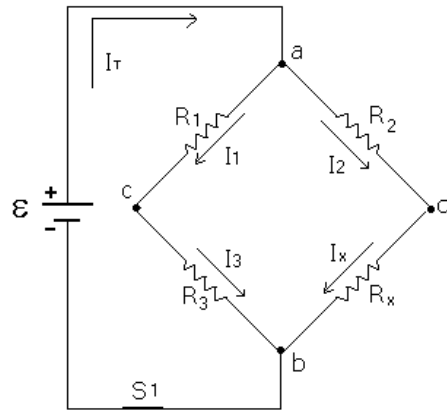


Figura 4.2.13. Análisis de corrientes

- Las condiciones para que  $I_G = 0$  son:

$$I_1 = I_3 \quad V_{ac} = V_{ad} \quad V_c = V_d$$

$$I_2 = I_X \quad V_{cb} = V_{db}$$

- $V_{ac} = V_{ad}$  aplicando la ley de ohm  $R_1 I_1 = R_2 I_2$  .....( 1 )

- Del circuito se puede observar que:  $\varepsilon = V_{ab}$ , realizando el recorrido por la rama “a c b” y por la rama “a d b” tenemos:

$$\varepsilon = (R_1 + R_3) I_1$$
 .....( 2 )

$$\varepsilon = (R_2 + R_X) I_2$$
 .....( 3 )

- Despejando a  $I_1$  de ( 1 ):  $I_1 = \frac{R_2}{R_1} I_2$

- Igualando ( 2 ) y ( 3 ) y sustituyendo  $I_1$ :  $(R_1 + R_3) I_1 = (R_2 + R_X) I_2$

$$(R_1 + R_3) \left( \frac{R_2}{R_1} \right) I_2 = (R_2 + R_X) I_2 \quad \text{se elimina } I_2 \quad (R_1 + R_3) \left( \frac{R_2}{R_1} \right) = (R_2 + R_X)$$

$$R_2 + \frac{R_3 R_2}{R_1} = R_2 + R_X \quad \text{dando como resultado} \quad R_X = \frac{R_2 R_3}{R_1}$$

#### **4.3 MEDICIÓN DE CAMPO MAGNÉTICO CON TESLAMETRO**

**Medición de campo magnético para un electroimán.**

Arme el circuito de la figura 4.3.1

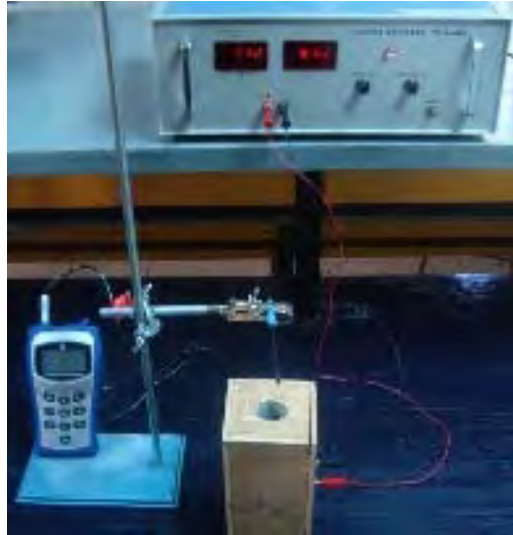


Figura 4.3.1. Medición de campo magnético para un electroimán.

Coloque la sonda a una distancia de 2cm del solenoide con ayuda del soporte universal.

Gire la perilla de voltaje hasta el máximo y ajuste la corriente a 0.6A

Encienda el teslametro (figura 4.3.2) con el botón ON/OFF,.



Figura 4.3.2 Teslametro digital

Para seleccionar el tipo de unidades con las que se desea obtener la medición presione SHIFT y a continuación UNITS, figura 4.3.3.



Figura 4.3.3 Teclado del teslametro

A continuación mueva hacia arriba o hacia abajo con las flechas hasta obtener la unidad deseada (GAUSS, TESLA, mili TESLA o AMPERE-METRO) en la parte superior derecha del display, figura 4.3.4. Para fijar las unidades vuelva a oprimir SHIFT y a continuación UNITS.



Figura 4.3.4 Display del teslametro.

Para comenzar a tomar la medición oprima el botón ZERO hasta escuchar un beep lo cual indica que esta calibrado a cero y espere hasta escuchar un segundo beep; esto indica que ya puede tomar la lectura.

Para tomar la lectura retire el solenoide deslizándolo de manera horizontal alejándolo de la sonda y tome la lectura del teslametro como se muestra en la figura 4.3.5.



Figura 4.3.5 Medición de campo magnético

d) Gire la perilla de voltaje hasta el máximo y varíe la corriente de acuerdo a la tabla 4.3.1.

Corriente (A)	Campo Magnético (mT)
0.6	2.63
0.7	2.82
0.8	3.54
1.0	4.2
1.1	4.47
1.2	4.73
1.6	6.84

Tabla 4.3.1 Medición de campo variando la corriente

### Medición de campo magnético de un electroimán variando la distancia.

Considerando el circuito de la figura 4.3.1 alimente al electroimán con una corriente fija de 1.1<sup>a</sup> y varíe la distancia de la sonda con ayuda del soporte universal en intervalos de 2 cm de acuerdo a la siguiente tabla y concentre sus resultados en la misma.



Distancia (cm)	Campo Magnético (mT)
2	4.47
4	2.84
6	2.1
8	1.28
10	0.83

Tabla 4.3.2 Medición de campo variando la distancia

A diferencia de la práctica que se realizaba con el flujómetro, el usar el teslametro nos permite realizar de una manera más sencilla la práctica y obtener mejores resultados.

## CONCLUSIONES

El trabajo que se realizó resultara de utilidad para los profesores que comiencen a impartir clases en el laboratorio, sobre todo si no tienen experiencia trabajando en lugares de experimentación de esta índole, ya que el manual incluye recomendaciones de diversos tipos para garantizar el desarrollo satisfactorio de las prácticas y el cumplimiento de las normas de seguridad.

El manual cuenta con fotografías explicativas de cómo se deben de armar correctamente los circuitos indicados en los diagramas incluidos con el fin de identificar el equipo y material utilizado para realizar las practicas. También se muestran los resultados experimentales que se esperan obtener y así a la hora de que se esté realizando la práctica el profesor pueda comparar estos con los resultados que se estén obteniendo durante el desarrollo de esta misma y pueda verificar su veracidad, también se presenta la memoria de cálculos que se deben de realizar a lo largo de las prácticas para que se vea la relación de los datos experimentales con los datos calculados teóricamente.

Además se diseñaron procedimientos para nuevos experimentos utilizando material de nueva adquisición en los laboratorios de física, dichos procedimientos explican el uso y manejo de estos equipos con lo cual se pretende que se incluyan posteriormente en nuevas ediciones del manual de prácticas del laboratorio de electricidad y magnetismo

## BIBLIOGRAFÍA

1. Física para ciencias e ingenierías volumen 2  
Raymond A. Serway  
6ta Edición  
Editorial Thomson
  
- 2.- Física Tomo II  
Giancoli  
4ta Edición  
Editorial Prentice Hall
  
- 3.- Física universitaria  
Sears-Zemanzki-Young  
6ta Edición  
Editorial Addison-Wesley      Iberoamericana
  
- 4.- Fundamentos teóricos del manual de prácticas
  
- 5.- Física Tomo II  
Resnick Halladay-Krane  
4ta Edición  
Editorial CECSA
  
- 6.- [http://tochtli.fisica.uson.mx/electro/Generadores%20electrostaticos/breve\\_rese%C3%B1a\\_del\\_generador.htm](http://tochtli.fisica.uson.mx/electro/Generadores%20electrostaticos/breve_rese%C3%B1a_del_generador.htm)
  
- 7.- <http://es.wikipedia.org/wiki/Capacitor>
  
- 8.- <http://es.wikipedia.org/wiki/Electrolito>

9.- <http://www.monografias.com/trabajos23/electrolitos/electrolitos.shtml>

10.- <http://enciclopedia.us.es/index.php/Electr%C3%B3lisis>