



COLEGIO DE BACHILLERES

SECRETARÍA ACADÉMICA

**COORDINACIÓN DE ADMINISTRACIÓN
ESCOLAR Y DEL SISTEMA ABIERTO**

COMPENDIO FASCICULAR

FÍSICA III

**FASCÍCULO 1. CORRIENTE ELÉCTRICA E INDUCCIÓN
MAGNÉTICA**

**FASCÍCULO 2. TRANSMISIÓN ONDULATORIA DE LA
ENERGÍA**

**FASCÍCULO 3. RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA
E INTERACCIONES ATÓMICAS Y
NUCLEARES**



DIRECTORIO:

Jorge González Teyssier
Director General

Javier Guillén Anguiano
Secretario Académico

Álvaro Álvarez Barragán
**Coordinador de Administración
Escolar y del Sistema Abierto**

Derechos Reservados conforme a la ley
© 2002, COLEGIO BACHILLERES
Prolongación Rancho Vista Hermosa Núm. 105
Col. Ex Hacienda Coapa
Delegación Coyoacan, CP 04920, México, D.F.

ISBN: En tramite

Impreso en México
Printed in Mexico

Primera edición: 2 000

PRESENTACIÓN GENERAL

El Colegio de Bachilleres, en respuesta a la inquietud de los estudiantes por contar con materiales impresos que faciliten y promuevan el aprendizaje de los diversos campos del saber, ofrece a través del Sistema de Enseñanza Abierta este compendio fascicular; resultado de la participación activa, responsable y comprometida del personal académico, que a partir del análisis conceptual, didáctico y editorial aportaron sus sugerencias para su enriquecimiento, y así aunarse a la propuesta educativa de la Institución.

Por lo tanto, se invita a la comunidad educativa del Sistema de Enseñanza Abierta a sumarse a este esfuerzo y utilizar el presente material para mejorar su desempeño académico.

PRESENTACIÓN DEL COMPENDIO FASCICULAR

Estudiante del Colegio de Bachilleres, te presentamos este compendio fasciclar que te servirá de base en el estudio de la asignatura “Física III” y funcionará como guía en tu proceso de Enseñanza-Aprendizaje.

Este compendio fasciclar tiene la característica particular de presentarte la información de manera accesible, propiciando nuevos conocimientos, habilidades y actitudes que te permitirán el acceso a la actividad académica, laboral y social.

Cuenta con una presentación editorial integrada por fascículos, capítulos y temas que te permitirán avanzar ágilmente en el estudio y te llevará de manera gradual a consolidar tu aprendizaje de esta asignatura; con la intención de que analices a la corriente eléctrica e inducción magnética en circuitos eléctricos, la transmisión ondulatoria de la energía y las interacciones en la radiación electromagnética; para que puedas explicar y predecir las transformaciones de la energía y valores las aplicaciones que tiene la Física en la tecnología y su importancia en el desarrollo de la cultura.



COLEGIO DE BACHILLERES

FÍSICA III

FASCÍCULO 1. CORRIENTE ELÉCTRICA E INDUCCIÓN
MAGNÉTICA

Autores: José Carreón Arroyo
Pablo Ruiz Robles

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	5
PROPÓSITO	7
CAPÍTULO 1. ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO	9
1.1 CORRIENTE ELÉCTRICA	9
1.1.1 FUENTES DE ENERGÍA	10
1.1.2 CIRCUITO ELÉCTRICO SIMPLE	15
a) Voltaje	16
b) Intensidad de la corriente eléctrica	17
c) Ley de Ohm	17
d) Resistencia en cables conductores	23
e) Circuitos en serie y en paralelo	35
1.1.3 POTENCIA	42
1.2 INDUCCIÓN MAGNÉTICA	53
1.2.1 ANTECEDENTES	53
1.2.2 LEYES DE LA INDUCCIÓN MAGNÉTICA	62
1.2.3 GENERADOR ELÉCTRICO	69
1.2.4 MOTOR ELÉCTRICO	71
1.2.5 TRANSFORMADORES	71
RECAPITULACIÓN	76
ACTIVIDADES DE CONSOLIDACIÓN	77
AUTOEVALUACIÓN	78
ANEXO: USO DEL MULTÍMETRO	80
BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA	84

INTRODUCCIÓN

Uno de los acontecimientos más espectaculares para el hombre fue y sigue siendo el de los fenómenos eléctricos. Desde la antigüedad, 600 a.C., Tales de Mileto observó que al frotar el *ámbar* (vocablo griego que significa *electrón*) con piel de gato, se podían atraer pequeños materiales ligeros (por ejemplo, pajas secas). Posteriormente, otros investigadores contribuyeron al desarrollo de la electricidad, hasta llegar a James Maxwell (1864), quien propuso la *Teoría electromagnética de la Luz*.

En la actualidad, se obtiene gran cantidad de energía eléctrica producida por centrales hidroeléctricas, termoeléctricas y nucleoelectricas. Esta energía es consumida en las grandes ciudades, en los hogares, en las fábricas y en los centros de trabajo.

Con el estudio de este fascículo aprenderás que la electricidad es una rama de la Física y por esta razón iniciaremos con el tema que trata lo relacionado con la *corriente eléctrica* : las fuentes de energía, las variables que intervienen en un circuito eléctrico y lo que concierne a la potencia. Posteriormente, abordaremos el tema de *inducción magnética*, que comprende el efecto magnético de la corriente, la medición de ésta y la transformación de la energía mecánica en eléctrica.

Para comprender estos contenidos será necesario que apliques lo aprendido en *Física I* y *Física II*, donde experimentaste con pilas y focos, con circuitos en serie y en paralelo para encontrar variables en un sistema eléctrico, por ejemplo, la brillantez de un foco. Ahora aprenderás a medir la potencia de un foco al calentar agua en un tortillero, mediante la expresión:

$$\Delta E \text{ (KJ)} = 4.2 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}} \times \text{masa (Kg)} \times \Delta T ^\circ\text{C}$$

También relacionarás la potencia de un foco y de los motores con los valores de voltaje e intensidad de la corriente y aprenderás a manejar los aparatos para medir dichos valores.

En *Física II* aprendiste que la energía potencial se podía transformar en calor; para ello subías y bajabas un peso por medio de un cordel que al friccionar con el recipiente de agua transmitía esta energía en forma de calor al agua, y dentro tenía unas paletas que

agitaban el agua. En consecuencia, el agua se calentaba, y conociendo su masa y la diferencia de temperatura se encontraba lo que se conoce como el equivalente mecánico del calor. Ahora, en el caso contrario, en la *figura 1* se observa la transformación de energía eléctrica en energía mecánica, obteniendo el mismo resultado que en el equivalente mecánico.

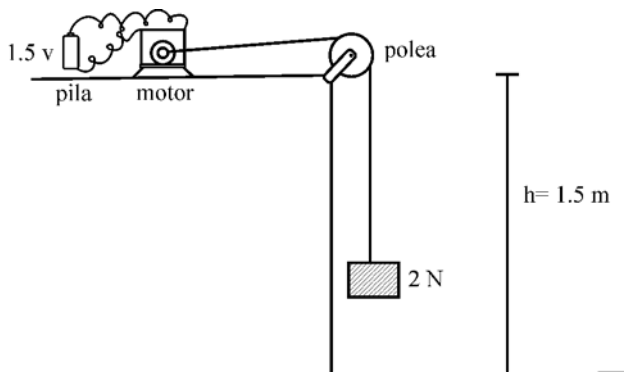


Figura 1.

En esta figura se muestra el empleo de una pila de 1.5 volts que suministra energía eléctrica al motor, donde se enrolla un cordel que levanta un objeto de 2N (de peso) a una altura de 1.5 m y transforma, así, energía eléctrica en mecánica. En este caso, los intercambios de energía suceden en el sistema pila-motor-objeto, es decir, la reacción química de la pila produce la energía eléctrica que posteriormente se transformará en energía mecánica del objeto que se eleva.

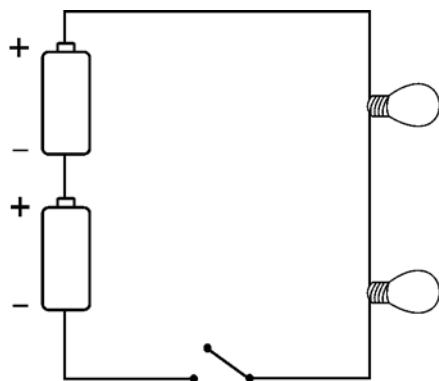
Este tipo de fenómenos, con sus variantes respectivas, es lo que vas a estudiar en este fascículo. Recuerda que cuentas con el apoyo de tu asesor para obtener el mayor provecho de este material. Bien, ¡comencemos!

PROPÓSITO

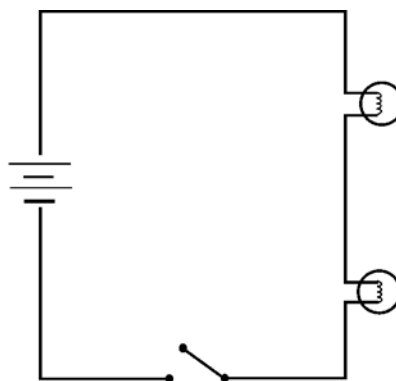
Antes de leer el contenido del fascículo es importante que identifiques los objetivos que alcanzarás al finalizar su estudio, considerando las siguientes preguntas:

¿Qué voy a aprender?

El comportamiento de los circuitos eléctricos y de algunos aparatos eléctricos que se utilizan en la vida cotidiana, como puedes ver en el siguiente diagrama (*figura 2*), que representa un circuito eléctrico sencillo:



a) Diagrama pictórico (elementos reales en el circuito).



b) Diagrama simbólico (elementos representados por símbolos que se utilizan en los circuitos eléctricos).

Figura 2.

En este circuito, que puede ser una conexión hecha con alambres de cobre, dos focos y dos pilas, se utiliza la energía de las pilas para encender los focos y con ellos iluminar. Asimismo, por nuestras experiencias diarias sabemos que también se usa este tipo de energía para calentar líquidos, por ejemplo, en las cafeteras eléctricas.

Igualmente conocerás el efecto térmico de la corriente eléctrica y del brillo luminoso que se observa al aumentar la temperatura del conductor, así como las propiedades de algunos metales conductores de corriente eléctrica, como el cobre del circuito anterior.

Aprenderás a usar el multímetro para medir la potencia eléctrica de aparatos eléctricos, así como el manejo de aparatos simples, para comprender la inducción magnética y la transformación de la energía mecánica en eléctrica.

¿Cómo lo voy a lograr?

Por medio de la manipulación de dispositivos simples, empleando el multímetro en circuitos eléctricos en serie y en paralelo, y observando los efectos que produce la corriente eléctrica en los circuitos sencillos y el control de variables como son la resistencia (R), el voltaje (V) y la potencia (P). Debes tener en cuenta que para el estudio de la corriente eléctrica son necesarios focos, pilas y alambres de distintos metales, para armar circuitos eléctricos sencillos con objeto de observar su comportamiento al variar los elementos de nuestro sistema.

¿Para qué me va a servir?

Para poder calcular la energía total que libera una pila, conocer el funcionamiento de algunos aparatos de medición de la corriente eléctrica y explicar lo que sucede en un circuito eléctrico en términos de voltaje, intensidad de la corriente y potencia, entre otros. Este conocimiento te permitirá comprender algunos conceptos acerca de la corriente eléctrica que se aplica en la vida diaria.

CAPÍTULO 1

ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO

1.1 CORRIENTE ELÉCTRICA

El uso de la energía eléctrica es tan común en nuestros días que la mayor parte de las actividades que realizamos diariamente se relacionan con ésta; por ejemplo, gracias a ella puedes encender tu estéreo para oír música, en el caso de la televisión para ver imágenes, en el de una bomba de agua para observar las transformaciones de energía eléctrica en potencial y cinética.

¿Consideras que estas afirmaciones son correctas? ¿Qué otras aplicaciones podrías encontrar en la vida cotidiana? ¿Te imaginas cómo fue la vida cuando no se aprovechaba la energía eléctrica?

Sabemos que la electricidad se genera por conversiones de energía originada por el caudal de los ríos, como en las presas (aunque no es la única fuente de energía), mas ¿conoces alguna otra forma en que se genera la electricidad en México? La corriente eléctrica generada se lleva a las grandes ciudades mediante cables de alta tensión y a través de transformadores se transporta a nuestras casas por medio de conductores.

¿Por qué se usan alambres de cobre en instalaciones eléctricas caseras? ¿Por qué los alambres de cobre se cubren de plástico? De acuerdo con la función de un aparato eléctrico algunas veces se usa el alambre nicromel, por ejemplo, en las resistencias de las parrillas eléctricas. ¿Por qué en éstas se usa alambre de nicromel y no de cobre?

Para poder comprender lo anterior, en este momento veremos qué son las fuentes de energía, para posteriormente identificar las características que tienen los circuitos eléctricos simples y las variables que intervienen en éstos (resistencia, intensidad, voltaje, potencia).

1.1.1 FUENTES DE ENERGÍA

Las fuentes de energía disponibles que se utilizan para satisfacer las necesidades básicas del individuo, como comer, dormir y divertirse, así como las que se usan con la fuerza de los caballos, de las corrientes de un río, la combustión de la madera, la que genera el Sol, entre otras, son la base para realizar una serie de cambios en beneficio de la sociedad. Ejemplos de transformación de energía son: la transformación de la energía solar que hacen las plantas para su asimilación en almidones y carbohidratos (*figura 3-c*); la transformación de la energía que se aprovecha del caudal y las caídas de agua de los ríos en la producción de energía eléctrica que, a su vez, se utiliza como fuente energética para el transporte eléctrico (*figura 3-a*).

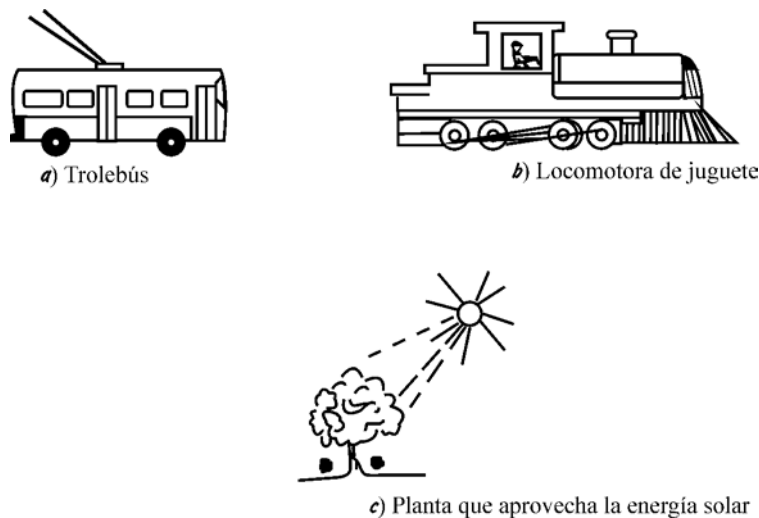


Figura 3.

Se advierte en la *figuras 3a y 3b* que el trolebús y el tren de juguete transforman la energía eléctrica en energía mecánica de movimiento. Por otro lado, las plantas, en un proceso de fotosíntesis, transforman la energía solar en energía química de los alimentos, que posteriormente consumirá el hombre.

Las fuentes de energía más sencillas son aquellas que transforman la energía química en eléctrica, por ejemplo, las pilas, baterías o acumuladores, que a su vez la transformarán en energía mecánica (*figuras 3-a y 3-b*); o bien, en una termoeléctrica donde se quema combustible para generar electricidad.

Existen otras fuentes de energía que se pueden aprovechar como: la energía del vapor de agua que se usa para mover generadores (plantas geotérmicas); la energía que produce el viento para mover molinos y éstos a su vez poder mover generadores (energía eólica); y la energía nuclear que produce, por ejemplo, la fisión del uranio.

En la vida diaria se aplican las transformaciones de energía, por ejemplo, al utilizar el elevador de un edificio o al levantar una grúa eléctrica objetos pesados, transformando la energía eléctrica en energía potencial gravitacional (EPG). Concretándonos en lo que se refiere a la corriente eléctrica, primero debemos tener claro *qué es la electricidad*:

*La **electricidad** es una manifestación de energía, generada por el movimiento de electrones que se da a través de un conductor; cuando éstos se desplazan de un polo negativo (-) a uno positivo (+) provocan una diferencia de potencial que impulsa a la corriente eléctrica.*

Las fuentes de energía eléctrica producen ciertos efectos debido a la diferencia de potencial que se da en un circuito cerrado. Éstos son: **efecto magnético, luminoso y térmico**, que manifiestan la presencia de electricidad.

Para observar lo anterior realiza el siguiente experimento:

ACTIVIDAD EXPERIMENTAL No. 1

FUENTES DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y SUS EFECTOS

OBJETIVO:

Comprobar el efecto magnético, el luminoso y el térmico de la corriente eléctrica en forma experimental.

PROBLEMATIZACIÓN:

¿Cuáles son los efectos que produce la corriente eléctrica en un circuito cerrado?

HIPÓTESIS:

MATERIAL:

- 1 pila de 9 voltios*
- 1 alambre de cobre del No. 22 (1 metro)
- 1 foco de 6 voltios
- 4 caimanos
- 1 clavo de 2 pulgadas*
- 1 metro de alambre magneto
- 1 aguja magnética con base
- 2 clips
- alambre nicromel (trozos de 2, 5 y 10 cm)
- 1 brújula

* Estos materiales deberán ser proporcionados por el estudiante.

PROCEDIMIENTO:

I. Construye un circuito cerrado con los elementos que se muestran en la *figura 4*.

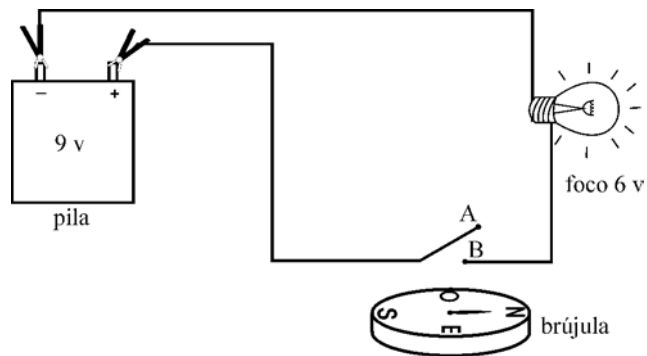


Figura 4.

1° Coloca una brújula debajo del alambre, de tal manera que la aguja se oriente en forma paralela al alambre.

2° Cierra el circuito y anota tus observaciones:

foco _____

brújula _____

3° Cambia la polaridad y anota tus observaciones:

foco _____

brújula _____

II. Construye un arreglo como se muestra en la siguiente figura:

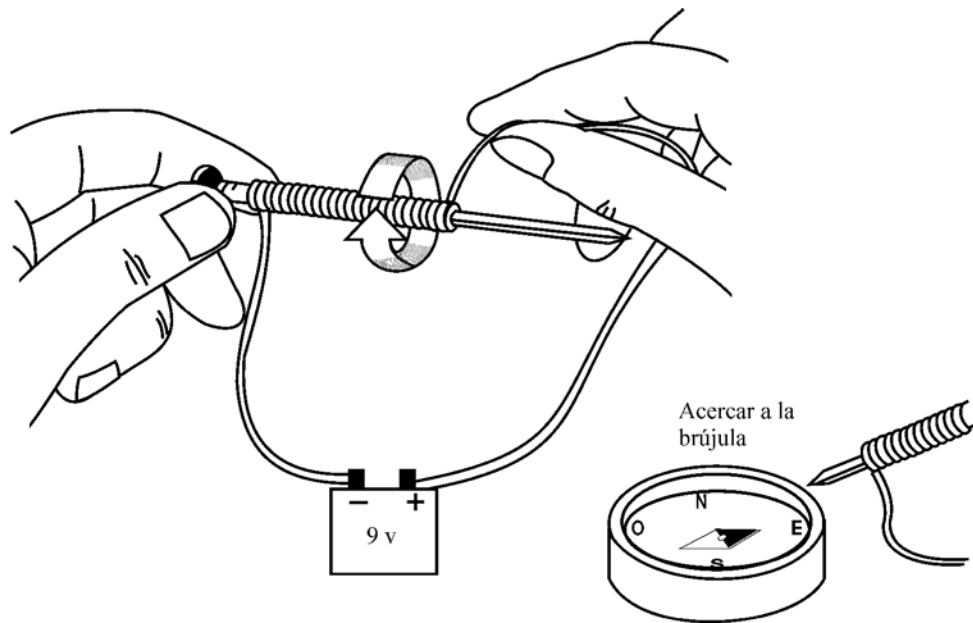


Figura 5.

1° Enrolla el alambre magneto a lo largo del clavo y conéctalo a la pila de 9 voltios (debes lijar los extremos del alambre para quitar el barniz).

2° Toca el alambre con los dedos y describe lo que sientes:

3° Acerca el clavo a la brújula y observa lo que sucede. Anótalo:

4° Acerca el clavo a los clips y describe lo que sucede:

III. Construye un arreglo como el siguiente:

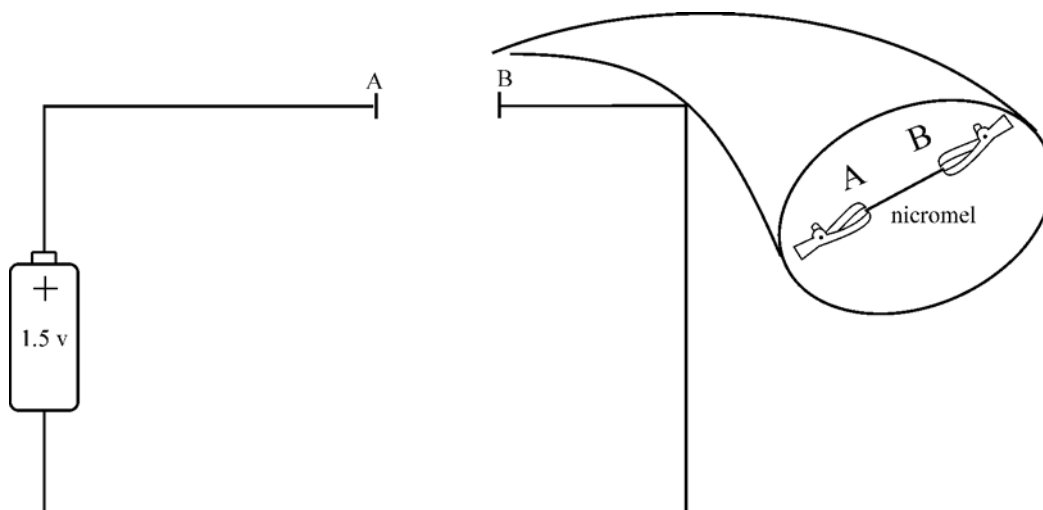


Figura 6.

Entre los puntos A y B coloca sucesivamente trozos de alambre de nicromel de 2, 5 y 10 cm de longitud.

Ahora, con base en lo anterior, contesta el cuestionario:

1. ¿En qué caso se calentó más el alambre de nicromel?

2. ¿En qué tipo de energía se transforma la energía química producida por la pila?

3. ¿Qué aparatos electrodomésticos utilizan el efecto térmico?

4. Si colocas en lugar del alambre de nicromel una tira de aluminio de 2 mm de ancho y 1 cm de largo, ¿qué le sucedería al dispositivo?

*Como pudiste ver, las fuentes de energía eléctrica generan corriente eléctrica y éstas a su vez generan tres efectos: **Efecto magnético**, cuando la corriente eléctrica que pasa por un conductor genera a su alrededor una fuerza similar a la de un imán (un campo magnético). **Efecto luminoso**, que se da por el calentamiento de un conductor hasta su incandescencia, emitiendo finalmente luz como en un foco. **Efecto térmico**, cuando la corriente eléctrica eleva la temperatura de un conductor, debido a la energía cinética de los electrones como sucede en la resistencia de una plancha.*

Estos efectos de la corriente eléctrica los podemos apreciar en los diversos aparatos de uso cotidiano, como son las lámparas, tostadores, maquinarias y motores eléctricos.

1.1.2 CIRCUITO ELÉCTRICO SIMPLE

Un circuito eléctrico simple es aquel dispositivo que está conformado por los siguientes *elementos*:

a) *fuentes de energía*

b) *cable conductor*

c) *foco*

d) *interruptor*

Como vimos anteriormente, cuando se da una diferencia de potencial, la corriente eléctrica fluye a través del circuito, en el cual se desplazan los electrones en una trayectoria cerrada (*figura 7*) del polo negativo (-) al polo positivo (+).

En el circuito eléctrico se manejan *tres variables fundamentales*: **voltaje (V)**, **intensidad de la corriente (I)** y **resistencia (R)**.

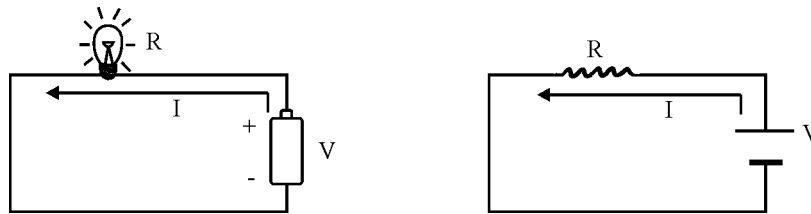


Figura 7.

a) Voltaje

Para que la corriente fluya en forma continua en un circuito es necesario que se mantenga un voltaje (o diferencia de potencial) constante, como por ejemplo el que dan las pilas, baterías, acumuladores y generadores eléctricos. Estos dispositivos tienen la propiedad de *llevar los electrones de un punto de mayor potencial a otro punto de menor potencial y debido a esto se produce una diferencia de potencial permanente*, que es lo que hace que la corriente eléctrica fluya por el conductor.

Por definición, la diferencia de potencial o **voltaje (V)** es *el trabajo realizado por una carga de prueba*, y matemáticamente se expresa como:

$$V \text{ (voltaje)} = \frac{W \text{ (trabajo)}}{q \text{ (carga de prueba)}}$$

Las unidades son:

$$\text{Voltio} = \frac{\text{Joule}}{\text{Coulomb}}$$

Para medir el *voltaje* se utiliza el **voltímetro**, que se conecta en paralelo con el elemento a medir (resistencia), de tal forma que parte de la corriente pase por el voltímetro para indicar el valor en voltios. Esta medición puede ser de corriente directa o de corriente alterna.

Existen dos clases de corriente eléctrica: la *corriente directa* (C.D.) y la *corriente alterna* (C.A.).

La **C.D.** es aquella que hace que los electrones se muevan en un solo sentido debido a que el campo eléctrico es constante (no cambia de polaridad).

La **C.A.** hace que los electrones cambien alternativamente de sentido debido al campo eléctrico variable, a lo cual se le llama *frecuencia*.

En México se mantienen las siguientes constantes para circuitos eléctricos domésticos:

Frecuencia = 60 Hertz (Hz)

Voltaje = 120 volt promedio en (C.A.)

b) Intensidad de la Corriente Eléctrica

Por definición, **la intensidad de la corriente eléctrica (I)** es la cantidad de carga eléctrica que pasa por un cable conductor en una unidad de tiempo, y matemáticamente se expresa:

$I \text{ (intensidad de la corriente)} = \frac{q \text{ (carga de prueba)}}{t \text{ (tiempo)}}$

Sus unidades son:

$$\text{Ampere} = \frac{\text{C (Coulomb)}}{\text{seg (segundo)}}$$

Para medir la *intensidad de la corriente eléctrica* se utiliza el **amperímetro**, que se conecta en serie, es decir, en forma continua en el circuito, que puede ser de corriente directa o corriente alterna.

Debemos mencionar que, de acuerdo con el *Sistema Internacional de Unidades* (S.I.U.), cuando hablamos de cargas eléctricas se manejan las siguientes unidades:

$1 \text{ coulomb} = 6.24 \times 10^{18}$ veces la carga del electrón

$1 \text{ electrón} = -1.6 \times 10^{-19}$ coulombios

$1 \text{ protón} = 1.6 \times 10^{-19}$ coulombios

c) Ley de Ohm (Ω)

Resistencia eléctrica

A menudo sucede que en distintas partes escuchamos o empleamos la palabra resistencia: la resistencia de una plancha, la resistencia de una persona, o habrás experimentado que al intentar salir del metro y mucha gente trata de subir al vagón se debe emplear la fuerza de empuje suficiente para vencer esa resistencia. Análogamente a las personas que suben al vagón, en los circuitos eléctricos se presenta una resistencia al pasar la corriente eléctrica por un conductor.

La Resistencia eléctrica (R) es la oposición que presenta todo dispositivo eléctrico al paso de la corriente eléctrica.

Estos dispositivos eléctricos pueden ser:

- a) Todo dispositivo eléctrico, como planchas, bombillas, etc.
- b) El elemento llamado *resistencia*.
- c) Todos los cables conductores.

Para conocer el valor del *elemento llamado resistencia* se utiliza la *Tabla del código de colores*, siguiendo el orden que se traza en su representación física.

TABLA No. 1: CÓDIGO DE COLORES

0 Negro	5 Verde	<i>Tolerancia</i> Dorado $\pm 5 \%$ Plateado $\pm 10 \%$ Sin color $\pm 20 \%$
1 Café	6 Azul	
2 Rojo	7 Violeta	
3 Naranja	8 Gris	
4 Amarillo	9 Blanco	

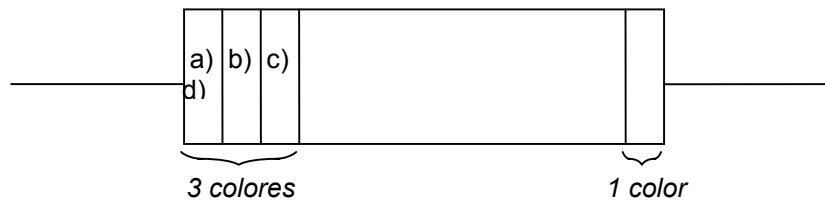


Figura 8. Representación gráfica del elemento llamado resistencia.

Entonces, *para calcular el valor de la resistencia* haremos lo siguiente:

Contamos los colores desde la franja más próxima a un extremo, considerando que...

- La primera franja (a), indica la primera cifra de su valor, tomando el número correspondiente al color.
- La segunda franja (b), indica la segunda cifra de su valor.
- La tercera franja (c), indica el número de ceros que hay que agregar a las dos cifras halladas para conocer el valor de la resistencia, que se expresa en ohms mediante el signo Ω .
- La cuarta franja (d), indica la tolerancia.

Veamos un ejemplo. Si tenemos el siguiente caso:

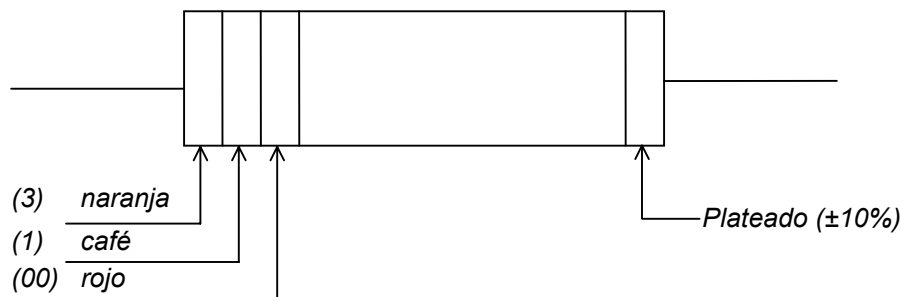


Figura 9.

Tendremos el valor $3100\ \Omega$, y tomando en cuenta la *tolerancia* correspondiente al color plateado, es decir, ± 310 , obtenemos finalmente los valores $3410\ \Omega$ para $+310$ en tolerancia (+) y de $2790\ \Omega$ para -310 en tolerancia (-).

Ahora que sabemos lo que es voltaje, intensidad y resistencia estamos listos para comprender la Ley de Ohm.

Ley de Ohm

La intensidad de la corriente que pasa por un cable conductor es directamente proporcional al voltaje e inversamente proporcional a la resistencia, y matemáticamente se expresa:

$$I \sim \frac{V}{R}$$

I = Intensidad de la corriente
V = Voltaje
R = Resistencia

(Donde \sim es el símbolo de proporcionalidad).

Para comprobar esta ley relacionaremos las variables I, V y R de la siguiente manera:

- a) Manteniendo R = constante, $I \sim V$
- b) Manteniendo V = constante, $I \sim \frac{1}{R}$

Esto lo podrás comprobar realizando la Actividad Experimental No.2.

ACTIVIDAD EXPERIMENTAL No. 2

LEY DE OHM

OBJETIVO:

Comprobar experimentalmente la relación de las variables I, V y R.

PROBLEMATIZACIÓN:

¿Qué le sucede a la intensidad de corriente en un circuito cuando se mantiene el voltaje constante y se varía su resistencia?

¿Qué le sucede a la resistencia cuando se aumenta o disminuye el grosor de un alambre en un circuito eléctrico?

HIPÓTESIS:

MATERIAL:

- 4 pilas (1.5 V, 3 V, 4.5 V, 9 V)**
- 2 multímetros*
- 2 cables de cobre No. 22
- 1 lápiz**

PROCEDIMIENTO:

I. Monta el siguiente circuito. Para ello utiliza un lápiz (de grafito), pilas, un amperímetro y un voltímetro:

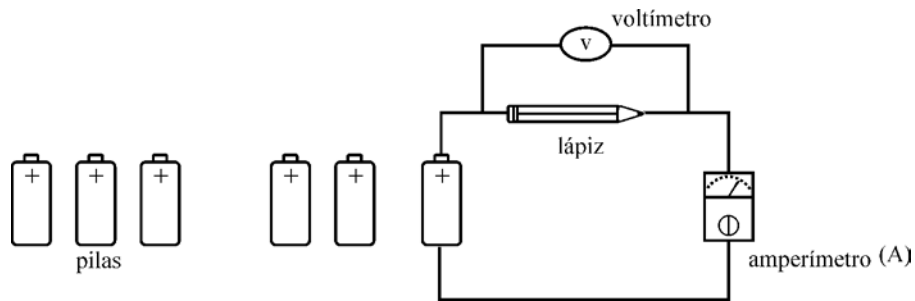


Figura 10.

1° Coloca sucesivamente una, dos y tres pilas, mide las intensidades de corriente y el voltaje.

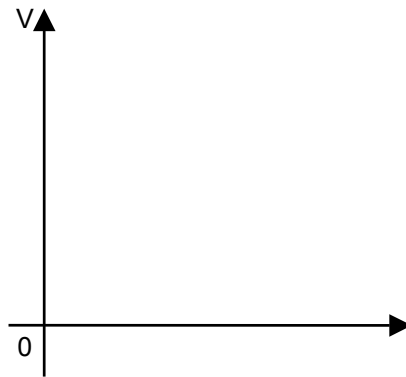
* Consulta el Anexo de este fascículo, en donde se te indica el manejo del multímetro.

** Material que proporciona el alumno.

Registra tus datos en el siguiente cuadro:

V	I (A)	$R = \frac{V}{I}$
1.5 V		
3 V		
4.5 V		
9 V		

2° Elabora la gráfica V (voltaje) vs. I (intensidad).



Ahora, contesta lo siguiente:

1. ¿Qué relación de proporcionalidad hay entre el voltaje y la intensidad?

2. ¿Cómo es la expresión $R = \frac{V}{I}$ en cada caso?

II. Monta el siguiente circuito. Dispón de 3 materiales del mismo tamaño (lápiz = grafito, cobre = Cu y nicromel):

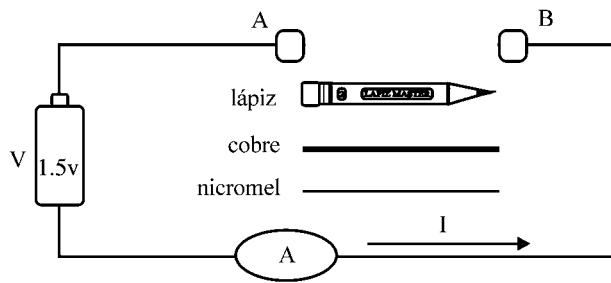


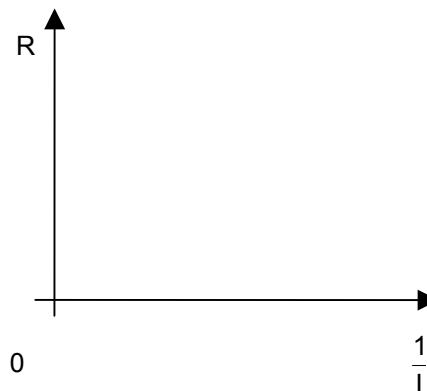
Figura 11.

1° Mide las resistencias de cada material con el óhmetro y registra los datos en el cuadro correspondiente.

2° Mide las intensidades registradas por el amperímetro con los diferentes materiales y regístralo también en el cuadro:

Material	$R (\Omega)$	$I (A)$	$\frac{1}{I}$	$R \left(\frac{1}{I} \right)$
Lápiz				
Cobre				
Nicromel				

3° Elabora la siguiente gráfica:



Responde a las preguntas:

1. ¿Qué relación de proporcionalidad hay entre la resistencia (R) y la intensidad (I)?

2. ¿Cómo es la expresión $\frac{V}{I} = RI$ en cada caso?

d) Resistencia en Cables Conductores

Como vimos, la cantidad de corriente que pasa a través de un circuito eléctrico depende del voltaje, que es una especie de presión eléctrica capaz de producir un flujo de carga (electrones), es decir, una corriente dentro del conductor. Sin embargo, esta corriente también depende de algunos otros factores que *obstaculizan su flujo*, y constituyen lo que es **la resistencia eléctrica**.

La situación es similar al flujo de agua en una tubería, que no sólo depende de la presión del agua, sino de la resistencia que opone la propia tubería. *La resistencia de un cable depende de la conductividad del material y sus características físicas, que son: el grosor, la longitud y la temperatura*; por lo tanto, se puede establecer el *modelo matemático* para la resistencia de un conductor, como:

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

R: Resistencia (Ω)

L: Longitud (m)

A: Área de la sección transversal (m^2)

ρ : Resistividad del material ($\Omega \cdot m$)

\varnothing : Diámetro del cable (m)

Donde el área equivale a:

$$A = \frac{\pi \varnothing^2}{4}$$

La expresión $R = \rho \frac{L}{A}$ indica que a medida que la longitud aumenta le ocurre lo mismo a la resistencia. Si el grosor aumenta, la resistencia disminuye. Además, en cuanto aumente la temperatura, mayor será la energía cinética de los átomos en el conductor y, en consecuencia, mayor es la resistencia.

Algunos materiales pierden toda resistencia a bajas temperaturas, llamándoseles *superconductores*, que son muy utilizados en electrónica.

La **resistividad** (ρ) se define como *la resistencia que presenta un conductor de 1m de longitud y un área de 1m² de sección transversal* (algunos valores se encuentran en la Tabla No. 2).

Revisando la tabla tendremos que cuanto mayor sea la resistividad de un alambre, se comporta como un mal conductor eléctrico.

TABLA No. 2: RESISTIVIDADES (ρ) A 0° C

Material	ρ (10 ⁻⁸ Ω - m)
cobre	1.72
aluminio	3.21
platino	11.05
carbón	3500

Otro concepto que se maneja es la **conductividad** (C), que es *la capacidad de un material para conducir la corriente*, cuya expresión es:

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

Resistencia variable con la temperatura

En algunos materiales (cobre, aluminio) *la resistencia eléctrica aumenta casi proporcionalmente a la temperatura*, y para calcular estas variaciones se utiliza la siguiente expresión matemática.

$$R = R_0 (1 + \alpha \Delta T)$$

R: Resistencia a cualquier temperatura (Ω)

R₀: Resistencia a 0 °C (Ω)

ΔT : Variación de temperatura = T₂ - T₁ (°C)

α : Coeficiente de temperatura (°C)⁻¹

TABLA No. 3: COEFICIENTES DE TEMPERATURA

Material	$\alpha (10^{-3})(^{\circ}\text{C})^{-1}$
cobre	3.8
platino	3.9
hierro	5.1
carbón	-0.5

Veamos unos ejemplos en donde se apliquen las expresiones para calcular la resistencia en cables conductores:

- a) Para calcular el diámetro de un alambre de cobre que tiene una longitud de 800 m y una resistencia de 20 Ω , tenemos...

Datos

$$\begin{aligned} R &= 20 \, \Omega \\ L &= 800 \, \text{m} \\ \varnothing &= ? \\ \rho &= 1.72 \times 10^{-8} \, \Omega\text{-m} \end{aligned}$$

Modelos

$$\begin{aligned} R &= \rho \frac{L}{A} \\ A &= \frac{\pi \varnothing^2}{4} \end{aligned}$$

Despejes

$$\begin{aligned} A &= \frac{\rho L}{R} \\ \varnothing &= \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \end{aligned}$$

Entonces, sustituyendo datos en las expresiones :

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

$$A = \frac{(1.72 \times 10^{-8} \, \Omega\text{-m})(8 \times 10^2 \, \text{m})}{2 \times 10^1} = \frac{1.376 \times 10^{-5} \, \text{m}^2}{2 \times 10^1} = 6.88 \times 10^{-7} \, (\text{m}^2)$$

$$\varnothing = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4(6.88 \times 10^{-7} \, \text{m}^2)}{3.14}} = \sqrt{\frac{2.752 \times 10^{-6}}{3.14}} = \sqrt{8.764 \times 10^{-7}}$$

$$\varnothing = 9.3618 \times 10^{-4} = 0.000936 \, \text{mm}.$$

$$\varnothing = 9.3618 \times 10^{-4} \, \text{m} = 0.936 \, \text{mm}.$$

Así, el diámetro del alambre mide 0.936 mm.

Veamos otro ejemplo:

- b) Un termómetro de platino tiene una resistencia de 10 Ω a 160 $^{\circ}\text{C}$. Calculemos su resistencia a 300 $^{\circ}\text{C}$.

Tenemos que :

Datos

$$T_1 = 160\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_2 = 300\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$R_{160} = 10\ \Omega$$

$$R_0 = ?$$

$$R_{300} = ?$$

$$\alpha = \frac{3.9 \times 10^{-3}}{^{\circ}\text{C}} \quad (\text{Ver Tabla No. 3})$$

Modelo

$$R = R_0 (1 + \alpha \Delta T)$$

Despeje

$$R_0 = \frac{R}{1 + \alpha \Delta T}$$

$$\Delta T = T_2 - T_1 = 300 - 160 = 140^{\circ}\text{C}$$

Entonces, sustituyendo datos en la expresión:

$$R_0 = \frac{10\ \Omega}{1 + \left[\frac{3.9 \times 10^{-3}}{^{\circ}\text{C}} (140^{\circ}\text{C}) \right]} = \frac{10\ \Omega}{1 + 0.546} = \frac{10\ \Omega}{1.546} = 6.46\ \Omega$$

$$R = R_0 (1 + \alpha \Delta T) = 6.46\ \Omega \left(1 + \left[\frac{3.9 \times 10^{-3}}{^{\circ}\text{C}} (140^{\circ}\text{C}) \right] \right) = 6.46\ \Omega (1 + 0.546)$$

$$R = 6.46\ \Omega (1.546) = 9.98\ \Omega$$

ACTIVIDAD DE REGULACIÓN

Para que ejercites el manejo de las fórmulas al calcular la resistencia en cables conductores, resuelve en tu cuaderno los siguientes problemas:

1. Calcula el diámetro de un alambre de cobre que tiene una longitud de 1 km y una resistencia de 30 Ω .
2. Un termómetro de platino tiene una resistencia de 12 Ω a 170 $^{\circ}\text{C}$. Calcula su resistencia a 350 $^{\circ}\text{C}$.

Para comprobar lo anterior realiza la Actividad Experimental No. 3.

ACTIVIDAD EXPERIMENTAL No. 3

RESISTENCIA EN CABLES CONDUCTORES

OBJETIVO:

- Verificar experimentalmente la conductividad eléctrica en diversos materiales (cobre, nicromel, aluminio), tomando en cuenta el calentamiento y la corriente que circula por ellos.
- Obtener experimentalmente la relación que existe entre la resistencia, la longitud y el área transversal de un cable conductor.

PROBLEMATIZACIÓN:

¿Qué tipo de cambios se producen cuando pasa la corriente eléctrica en diversos materiales?

¿Qué características deben tener los focos eléctricos para que sean de diferente potencia?

¿Qué tipo de relación existe entre la resistencia, la longitud y el diámetro de un cable conductor?

HIPÓTESIS:

MATERIAL:

- 2 pilas de 1.5 volts*
- 1 metro de alambre nicromel (No. 22)
- 1 metro de alambre de cobre (No. 22)
- 1 metro de alambre de aluminio (No. 22)
- 1 foco de 3 volts
- 1 regla de madera de 1 metro

* Material que debe proporcionar el estudiante.

PROCEDIMIENTO:

I. Monta el arreglo experimental como se muestra en la figura:

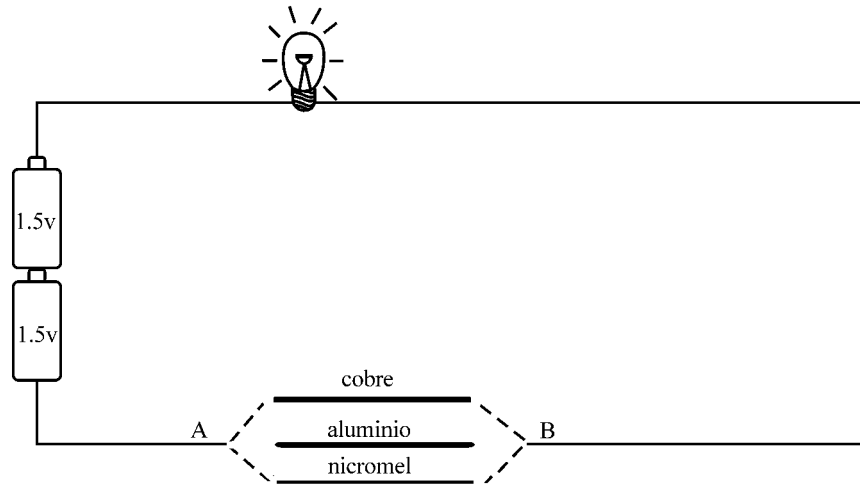


Figura 12.

Nota: A criterio del laboratorista puedes usar 2 alambres en los puntos A y B.

Ahora, lleva a cabo lo siguiente:

1°. Detecta cuál de los tramos de cable se calienta más al conectar cada uno al circuito en los puntos A y B:

2°. Detecta con cuál de los tramos de cable se logra obtener mayor brillo en el foco:

Y ¿Por qué?

- 3°. Conecta al circuito alambre nicromel a las siguientes distancias: 25 cm, 50 cm, 75 cm y 100 cm, y observa el brillo de los focos en cada caso, a qué distancias se obtiene mayor y menor brillo:

DISTANCIA	BRILLO
25 cm	
50 cm	
75 cm	
100 cm	

- 4°. De acuerdo con lo anterior tenemos que:

A mayor distancia _____ brillo.
(menor / mayor)

A menor distancia _____ brillo.
(menor / mayor)

- 5°. El brillo del foco está relacionado con la conductividad del material, de donde tenemos que *a mayor brillo mayor conductividad*.

La conductividad está relacionada de manera inversa con la resistencia, de donde *a mayor brillo mayor conductividad y menor resistencia*.

Por lo anterior, entonces la relación entre las variables de *resistencia (R)* y *longitud (L)* del cable, es de la siguiente manera:

Resistencia (R) es _____
(directamente / inversamente proporcional)
a la longitud (L) del cable.

- 6°. Repite el experimento anterior, colocando sucesivamente un metro de alambre nicromel del No. 22, y otro metro de alambre nicromel de mayor grosor en los puntos A y B del circuito.

Observa el brillo del foco en cada caso y contesta:

A mayor diámetro _____ brillo.
(menor / mayor)

A mayor diámetro _____ resistencia.
(menor / mayor)

7°. El diámetro del cable está relacionado con el área de su sección transversal por medio de la expresión matemática $A = \frac{\pi \phi^2}{4}$, de donde:

Resistencia (R) es _____
(directamente / inversamente proporcional)
al Área (A).

8°. De acuerdo con los ejercicios 5 y 7 obtenemos:

$$R \sim \frac{L}{A}$$

Entonces, al repetir la actividad del ejercicio 3 y medir con el óhmetro las diferentes distancias tendremos:

$L_1 = 25 \text{ cm}$	$R_1 =$ _____
$L_2 = 50 \text{ cm}$	$R_2 =$ _____
$L_3 = 75 \text{ cm}$	$R_3 =$ _____
$L_4 = 100 \text{ cm}$	$R_4 =$ _____

¿Cuál es la relación entre la longitud del alambre y la resistencia?

9°. Repite la actividad del ejercicio 6, mide con el óhmetro la resistencia y con el palmer o vernier el diámetro del cable. Realiza tus cálculos:

$\phi_1 =$ _____ $R_1 =$ _____

$\phi_2 =$ _____ $R_2 =$ _____

$A_1 = \frac{\pi \phi_1^2}{4} =$ _____

$A_2 = \frac{\pi \phi_2^2}{4} =$ _____

¿Cómo es la relación entre la resistencia y el área de la sección transversal del alambre?

10°. Calcula la resistividad del nicromel usando la expresión $\rho = \frac{RA}{L}$ (Utiliza tu cuaderno).

11°. ¿La resistencia varía con la temperatura? ¿Por qué?

12°. ¿Por qué se utiliza cobre en los cables conductores en lugar de nicromel?

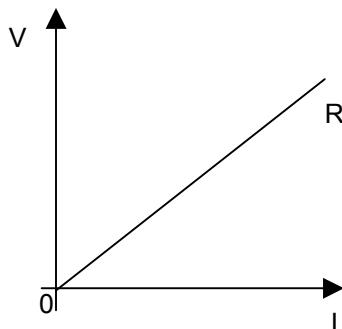
Elementos óhmicos y no óhmicos

En la Actividad Experimental anterior se observó el comportamiento de la resistencia eléctrica en cables conductores (metales), a éstos se les llama *conductores óhmicos* debido a que siguen la Ley de Ohm.

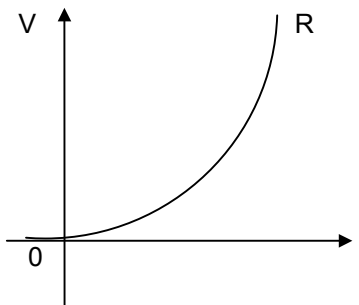
Pero algunos materiales como el tungsteno y algunos semiconductores que se utilizan en focos eléctricos y transistores no siguen la Ley de Ohm y se les llama *conductores no óhmicos*.

Debido a que estos materiales se calientan con el paso de la corriente eléctrica podemos concluir lo siguiente:

- a) los *materiales óhmicos* se comportan de la siguiente manera: si la resistencia es constante ($R=\text{cte}$) el voltaje (V) es directamente proporcional a la intensidad de corriente (I), ($V \sim I$), en donde al graficarlo obtenemos:



- b) *los materiales no óhmicos* se comportan de tal manera que al aumentar el voltaje la intensidad aumenta, pero no directamente proporcional, obteniéndose la siguiente gráfica:



Esto lo podemos comprobar realizando la siguiente actividad experimental.

ACTIVIDAD EXPERIMENTAL No. 4

RELACIÓN VOLTAJE–CORRIENTE EN MATERIALES ÓHMICOS Y NO ÓHMICOS

OBJETIVO:

Identificar experimentalmente la relación que existe entre voltaje e intensidad de la corriente, mediante el uso de materiales óhmicos y no óhmicos.

PROBLEMATIZACIÓN:

¿El valor de la resistencia de un circuito cambia conforme variamos el voltaje en dicho circuito?

HIPÓTESIS:

MATERIAL:

- alambre nicromel (1.10 m)
- 1 regla de madera de 1 m
- 5 pilas de 1.5 V (tamaño D)*

* Material que debe proporcionar el estudiante.

- multímetro
- papel milimétrico
- 1 foco de 6 V

PROCEDIMIENTO:

I. Monta el siguiente circuito (*figura 13*). Para ello toma el alambre nicromel y colócalo sobre la regla, después con una de las pilas y con el multímetro monta el arreglo como se ve en la figura.

El multímetro, es este caso, medirá la corriente eléctrica que circula por el alambre, por lo tanto, el cable rojo del multímetro deberá estar conectado en A y la perilla deberá girarse hasta 2 de la escala de DCA.

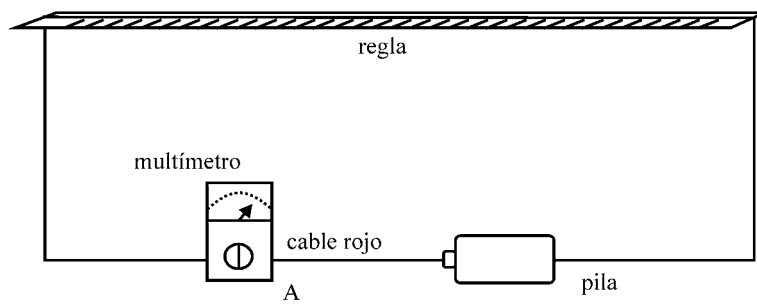


Figura 13.

1°. Mide la corriente con 1, 2,... hasta 5 pilas y regístralo en el siguiente cuadro (verifica los voltajes de las pilas con el multímetro):

CANTIDAD DE PILAS	1 (1.5 V)	2 (3.0 V)	3 (4.5 V)	4 (6.0 V)	5 (7.5 V)
Voltaje (V)					
Intensidad (I)					

2°. Construye la gráfica de V vs. I en papel milimétrico.

3°. Con base en lo anterior, podemos ver que se puede ajustar una recta que pase por el origen. Considerando esto resuelve las preguntas:

a) ¿Qué tipo de relación existe entre V e I ?

b) ¿Cuál sería su modelo matemático?

c) ¿Qué corriente circulará cuando se conecten 15 pilas?

4°. Interpreta el significado físico que tiene la constante de proporcionalidad (ve la gráfica que elaboraste en el 2° punto):

II. Repite la actividad, pero ahora sustituye el alambre nicromel y la regla por un foco de 6 V, como se ilustra en la figura 14. Ahora ¿qué sucederá?

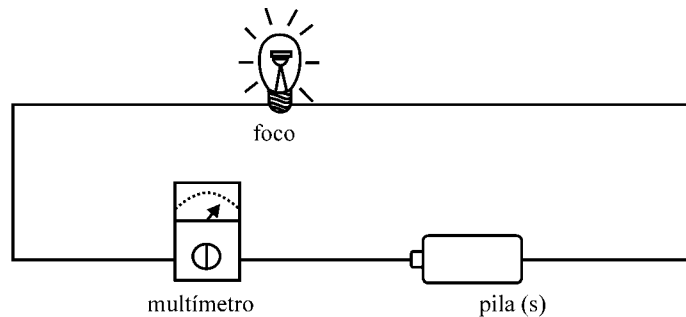


Figura 14.

1°. Realiza tus cálculos con 2, 3, hasta 5 pilas y llena el cuadro de datos:

CANTIDAD DE PILAS	1 (1.5 V)	2 (3.0 V)	3 (4.5 V)	4 (6.0 V)	5 (7.5 V)
Voltaje (V)					
Intensidad (I)					

2°. Construye otra gráfica de V vs. I en papel milimétrico.

En este caso, observarás que no es posible ajustar una recta a los datos graficados, es decir, el voltaje no es proporcional a la corriente. ¿A qué se debe esto?

Considerando lo anterior, elabora un reporte de la actividad experimental, en donde expongas tus conclusiones.

e) Circuitos en Serie y en Paralelo

Como vimos anteriormente, un circuito eléctrico simple se forma por una fuente de energía, cable conductor, foco e interruptor, en donde podemos colocar un amperímetro o un voltímetro, por ejemplo. Sin embargo, podemos formar otros tipos de circuitos en donde los elementos resistivos se conectan *en serie* o *en paralelo*. Veamos.

En un **circuito en serie**, los elementos se conectan uno a continuación del otro, en donde la corriente eléctrica tiene una misma trayectoria. En un **circuito en paralelo** los elementos resistivos se conectan en forma paralela entre sí, en donde la corriente eléctrica se divide en tantas partes como elementos resistivos existen.

Observa la siguiente figura:

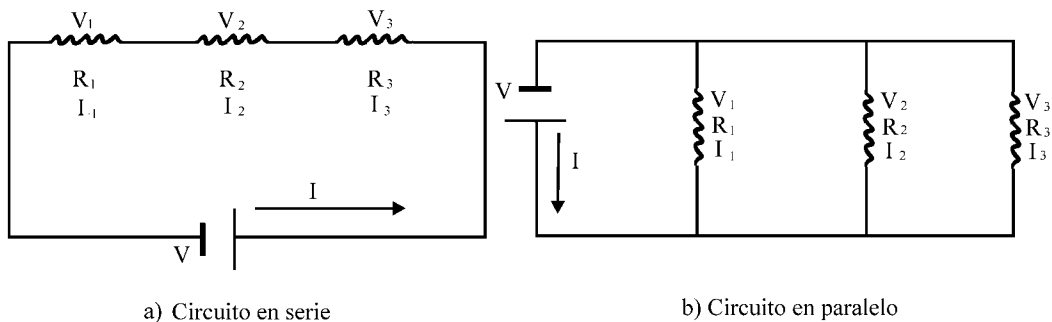
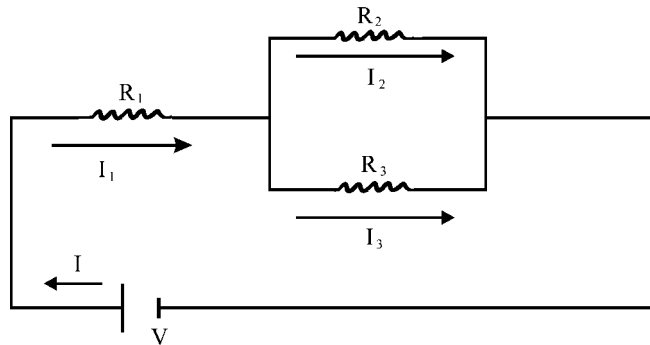


Figura 15.

Un **circuito mixto** se forma combinando elementos que están conectados en serie y en paralelo:



Circuito mixto

Figura 16.

La diferencia de potencial o voltaje

De acuerdo con lo que has estudiado anteriormente, ¿qué sucede con el voltaje en un circuito en serie?, ¿y otro en paralelo ?.

Cuando tenemos un circuito en serie el voltaje total se distribuye instantáneamente entre sus elementos resistivos. La intensidad de corriente es la misma en todos sus elementos. La resistencia total del circuito es la suma de sus elementos.

Esto se puede demostrar experimentalmente usando el multímetro (amperímetro, voltímetro, óhmetro), en donde obtenemos las siguientes expresiones matemáticas:

$$\begin{aligned} V &= V_1 + V_2 + V_3 \\ I &= I_1 = I_2 = I_3 \\ R &= R_1 + R_2 + R_3 \end{aligned}$$

Cuando se trata de un circuito en paralelo el voltaje de la fuente es el mismo para cada uno de los elementos resistivos. La corriente eléctrica total del circuito es la suma de la corriente que pasa por cada elemento resistivo. La resistencia total del circuito es menor que la resistencia de cualquiera de los elementos.

Experimentalmente obtenemos:

$$\begin{aligned} V &= V_1 = V_2 = V_3 \\ I &= I_1 = I_2 = I_3 \\ \frac{1}{R} &= \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \end{aligned}$$

Ahora, veamos unos ejemplos:

a) Si tenemos un circuito (*figura 17*) en donde 3 resistencias, de $100\ \Omega$, $200\ \Omega$ y $300\ \Omega$, respectivamente, se conectan en serie, con un voltaje de 18 voltios, calculemos:

- resistencia total e intensidad total
- voltaje e intensidad en cada elemento

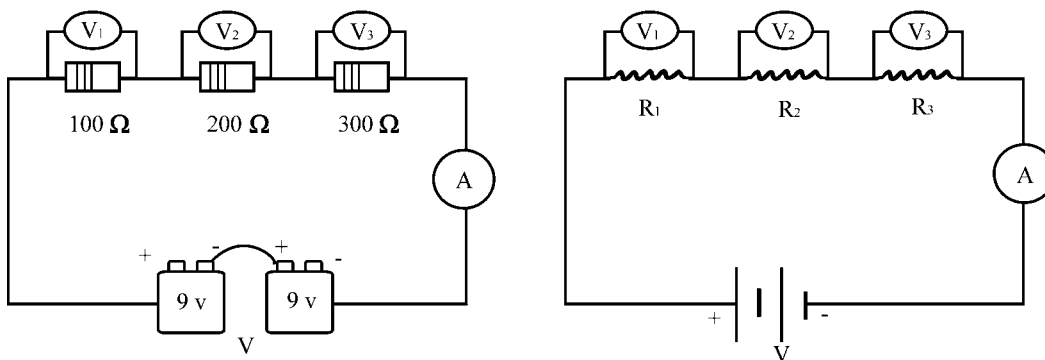


Figura 17.

Entonces, aplicando las expresiones matemáticas de resistencia en serie, tenemos:

$$R = R_1 + R_2 + R_3 = 100\ \Omega + 200\ \Omega + 300\ \Omega = 600\ \Omega$$

$$I = \frac{V}{R} = \frac{18}{600} = 0.030\ \text{a} = 30\ \text{ma} \quad \text{donde: ma = miliamperes.}$$

Como la intensidad total es la misma que en cada uno de los elementos:

$$I = I_1 = I_2 = I_3 = 30 \text{ ma (miliamperes)}$$

Aplicando $V = RI$ en cada elemento

$$V_1 = R_1 I_1 = (100 \Omega)(0.030) = 3 \text{ V}$$

$$V_2 = R_2 I_2 = (200 \Omega)(0.030) = 6 \text{ V}$$

$$V_3 = R_3 I_3 = (300 \Omega)(0.030) = 9 \text{ V}$$

$$V = V_1 + V_2 + V_3 = 18 \text{ V}$$

Recuerda por nemónica
es asociar la fórmula

$$V = R \cdot I$$

A **V**ictoria es a **R**eina de
Inglaterra.

Revisa ahora el siguiente ejemplo:

b) Tenemos un circuito (*figura 18*) en donde 3 resistencias , de 100Ω , 200Ω y 300Ω , respectivamente, se conectan en paralelo a una fuente de voltaje de 18 volts. Calculemos:

- resistencia total e intensidad total
- voltaje e intensidad en cada elemento

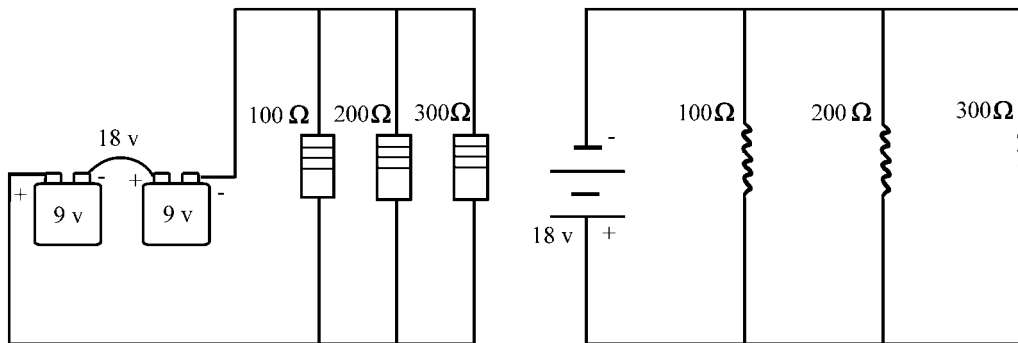


Figura 18.

Aplicando expresiones matemáticas:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{100} + \frac{1}{200} + \frac{1}{300} = \frac{60000 + 30000 + 20000}{600000}$$

$$\frac{1}{R} = \frac{110000}{600000} = \frac{11}{600} \quad \text{despeja} \quad R = \frac{600}{11} = 54.5 \Omega$$

$$I = \frac{V}{R} = \frac{18V}{54.5\Omega} = 0.33 \text{ a (amperes)} = 330 \text{ ma (miliamperes)}$$

Como el voltaje total es el mismo en cada elemento resistivo:

$$V = V_1 = V_2 = V_3 = 18 \text{ volts}$$

Aplicando $I = \frac{V}{R}$ a cada elemento:

$$I_1 = \frac{V}{R_1} = \frac{18V}{100\Omega} = 0.180 \text{ a}$$

$$I_2 = \frac{V}{R_2} = \frac{18V}{200\Omega} = 0.090 \text{ a}$$

$$I_3 = \frac{V}{R_3} = \frac{18V}{300\Omega} = 0.060 \text{ a}$$

$$I = I_1 + I_2 + I_3 = 0.330 \text{ a}$$

Ahora, ¿cómo se hacen estos cálculos en un circuito eléctrico mixto?

Analicemos el siguiente ejemplo:

c) Tenemos un circuito (*figura 19*) en donde conectamos 3 resistencias (de 100Ω , 200Ω y 300Ω) en serie y en paralelo a una fuente de voltaje de 18 voltios.

Calculemos:

- resistencia total e intensidad total
- voltaje e intensidad de cada elemento

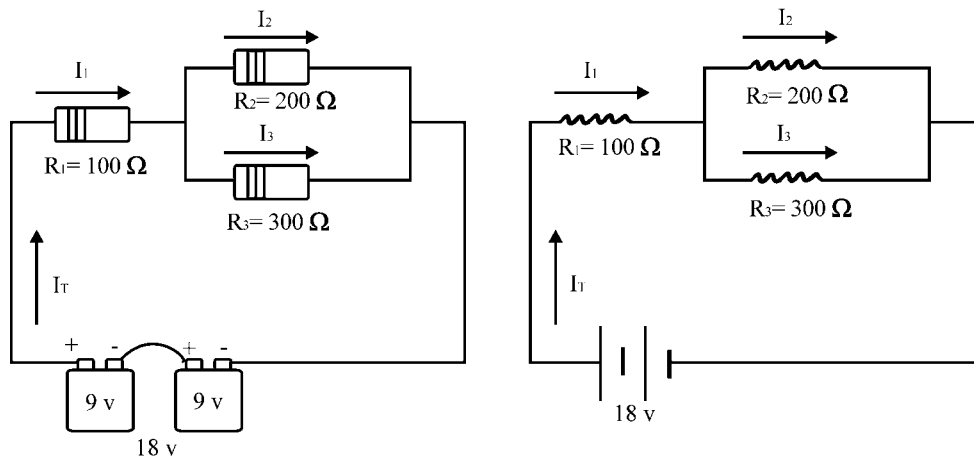


Figura 19.

Debemos calcular en partes:

Primero, la resistencia equivalente (que es la suma de resistencias, de acuerdo a la conexión, de una secuencia o de todo el circuito, que es capaz de sustituir al conjunto de resistencias), en paralelo (R_e):

$$\frac{1}{R_e} = \frac{1}{\underset{(R_2)}{200\Omega}} + \frac{1}{\underset{(R_3)}{300\Omega}} = \frac{300\Omega + 200\Omega}{60000\Omega} = \frac{500\Omega}{60000\Omega} = R_e = \frac{60000\Omega}{500\Omega} = 120\Omega$$

Entonces, la resistencia total es:

$$R_T = R_1 + R_e$$

$$R_T = 100\Omega + 120\Omega = 220\Omega$$

Para calcular la intensidad total:

$$I_T = \frac{V_T}{R_T} = \frac{18V}{220\Omega} = 0.0818\text{ a} = 81.8\text{ ma (miliamperes)}.$$

De acuerdo con el siguiente diagrama el voltaje de cada elemento sería:

$$V_1 = R_1 I_1 = 100\Omega (0.0818\text{ a}) = 8.18\text{ V}$$

$$V_2 = R_e I = 120\Omega (0.0818\text{ a}) = 9.82\text{ V}$$

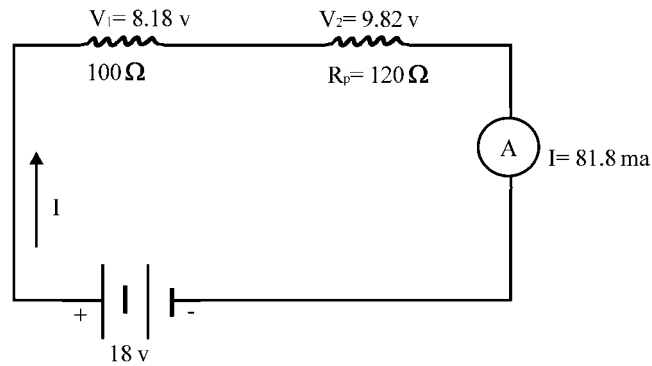


Figura 20.

Para calcular la intensidad de cada elemento:

$$I_2 = \frac{V_2}{R_2} = \frac{9.82\text{ V}}{200\Omega} = 0.0490\text{ a}$$

$$I_3 = \frac{V_2}{R_3} = \frac{9.82\text{ V}}{300\Omega} = 0.0327\text{ a}$$

Para corroborar estos ejemplos te proponemos realizarlos en el laboratorio, consiguiendo los elementos descritos, y con el uso del multímetro comprobar los resultados.

ACTIVIDAD DE REGULACIÓN

Con la intención de que apliques lo aprendido hasta el momento, realiza la siguiente actividad en tu cuaderno.

1. Calcula: – resistencia total e intensidad total
– voltaje e intensidad en cada elemento

Sobre los tres casos que se presentan a continuación:

- a) 3 resistencias (de $500\ \Omega$, $700\ \Omega$ y $900\ \Omega$) conectadas *en serie* a una fuente de 27 volts. Dibuja el circuito.
- b) 3 resistencias ($500\ \Omega$, $700\ \Omega$ y $900\ \Omega$) conectadas *en paralelo* a una fuente de 27 volts. Traza el circuito.
- c) El *circuito mixto* que se muestra enseguida:

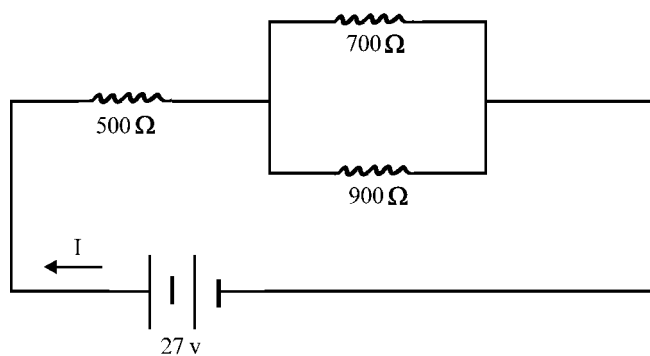


Figura 21.

Revisa tus resultados con el asesor.

1.1.3 POTENCIA

Te ha sucedido alguna vez que cuando requieres de mayor iluminación en un cuarto de tu casa sólo tienes que poner un foco de mayor potencia eléctrica, o bien, habrás observado que mientras mayor es la potencia de un aparato eléctrico que estás usando mayor es la energía eléctrica consumida y por lo tanto el pago es mayor por el consumo de energía.

Si utilizamos 120 voltios de voltaje promedio en una instalación casera, al conectar focos de 40 watts y 60 watts, obtendremos intensidades de corriente de 0.33 amperes y 0.50 amperes respectivamente, de tal manera:

$$\frac{40 \text{ watts}}{0.33 \text{ amperes}} = 121 \text{ voltios}$$

$$\frac{60 \text{ watts}}{0.50 \text{ amperes}} = 120 \text{ voltios}$$

A partir de esto podemos deducir que *manteniendo el voltaje constante, la potencia es directamente proporcional a la intensidad de corriente eléctrica*:

$$\frac{P}{I} = V$$

P: Potencia (watts)

I: Intensidad de la corriente (amperes)

V: Voltaje (volts)

La **potencia eléctrica (P)** se define como la energía que consume un dispositivo eléctrico en un segundo:

$$P = \frac{W}{t}$$

P: Potencia (watts)

W: Energía (joules)

t: Tiempo (segundos)

Para conocer la energía eléctrica que consumen los dispositivos eléctricos se usa la siguiente expresión matemática:

$$W = Pt$$

W: Energía (Kw · H)

P: Potencia (Kw)

t: Tiempo (H)

La C.F.E. (Comisión Federal de Electricidad) nos cobra de acuerdo a los Kw · H consumidos por los aparatos eléctricos.

Para calcular la potencia eléctrica *también podemos utilizar las siguientes expresiones matemáticas:*

$$P = VI = RI^2 = \frac{V^2}{R}$$

También para determinar la potencia de un calentador eléctrico (Física II), cuando se calienta una cierta masa de agua en un determinado tiempo, midiendo su variación de temperatura, se calcula la potencia eléctrica con:

$$P = \frac{\Delta Ei}{t} = \frac{4.2 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} \cdot \text{masa} \frac{\text{Kg}}{1} \cdot \frac{\Delta T(^{\circ}\text{C})}{1}}{t \text{ (tiempo) seg}} = \frac{\text{KJ}}{\text{seg}}$$

P: Potencia (watts)

ΔEi : Variación de energía interna
(Joules)

t: Tiempo (segundos)

m : Masa (gramos)

ΔT : Variación de temperatura
(grados centígrados)

A continuación se emplean las expresiones anteriores en ejemplos de problemas de potencia eléctrica, en donde se proporcionan datos para que calcules la potencia eléctrica de algunos aparatos domésticos.

Ejemplos

I. Una plancha eléctrica con una potencia de 1500 w, conectada a un voltaje de 120 v, dura prendida media hora (0.5 hora = 30 min. = 1800 seg.), calcular:

- Resistencia (R)
- Intensidad de la corriente (I)
- Energía consumida (en Kwh y joules)
- Cantidad de calor desprendida (Q, calorías)
- Costo de la energía consumida (1 kWh - \$0.05)

Aplicando las expresiones correspondientes, tenemos:

$$a) P = \frac{V^2}{R} \quad R = \frac{V^2}{P} = \frac{120^2}{1500} = \frac{14400}{1500} = 9.6 \, \Omega \text{ (ohms)}$$

$$b) P = VI \quad I = \frac{P}{V} = \frac{1500 \text{ W}}{120 \text{ V}} = 12.5 \text{ a (amperes)}$$

$$c) W = Pt \quad W = (1.5 \text{ Kw})(0.5 \text{ H}) = 0.75 \text{ Kwh}$$

$$W = \left(1500 \frac{\text{joule}}{\text{seg}} \right) (1800 \text{ seg}) = 27 \times 10^5 \text{ joules}$$

$$d) Q = 27 \times 10^5 \text{ Joules} \cdot \frac{1 \text{ caloría}}{4.18 \text{ joules}} = 6.459 \times 10^5 \text{ calorías}$$

$$e) \text{Costo (c)} = 0.75 \text{ Kw} \cdot \text{H} \cdot \frac{\$ 0.05}{1 \text{Kw} \cdot \text{H}} = \$ 0.037 \text{ pesos} = 3.75 \text{ centavos}$$

II. Calcula la potencia de un foco que se encuentra dentro de un tortillero con 2 litros (2 kg) de agua, que se calienta de 20 °C (T_i) a 31 °C (T_f) en 15 minutos (900 s):

recuerda que $\Delta T = T_f - T_i$

$$P = \frac{\Delta E_i}{t} = \frac{4.2 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} \cdot \frac{\text{masa (Kg)}}{1} \cdot \frac{\Delta T (^\circ\text{C})}{1}}{\text{tiempo (seg)}} = \frac{(4.2)(2)(11)}{900} = \frac{92.4}{900} = 0.102 \text{ Kw} \times 100 = 102.66$$

$$P = 102.66 \text{ watts}$$

$$1 \text{ watt} = \frac{\text{joule}}{\text{segundo}}$$

ACTIVIDAD DE REGULACIÓN

Para que apliques lo aprendido hasta ahora sobre potencia eléctrica, resuelve los siguientes problemas:

- Un horno de microondas tiene una potencia de 1400 watts, conectado a una línea de 120 v, se mantiene encendido durante 15 minutos. Calcular:
 - La intensidad de la corriente que circula por él
 - La resistencia del horno
 - La energía eléctrica consumida
 - Cantidad de calor desprendida
 - Costo de la energía si 1Kw · H = \$ 0.80 pesos = 80 centavos
- Calcula la potencia de un foco que se encuentra dentro de un tortillero con 1.5 litros de agua, que se calienta de 20 °C a 26 °C en 10 minutos.
- Para reafirmar los conceptos teóricos de potencia eléctrica te proponemos que realices la siguiente actividad experimental en el laboratorio.

ACTIVIDAD EXPERIMENTAL No. 5

POTENCIA ELÉCTRICA

OBJETIVO:

Identificar la relación que existe entre las variables de potencia (P), intensidad (I), voltaje (V) y resistencia (R).

PROBLEMATIZACIÓN:

¿Qué sucede con la intensidad cuando se incrementa la potencia? ¿Qué relación existe entre el voltaje y la resistencia?

HIPÓTESIS:

EXPERIMENTO A

MATERIAL:

- calentador eléctrico
- termómetro
- probeta
- fuente de poder
- multímetro

PROCEDIMIENTO:

I. Utiliza el calentador eléctrico de un foco para calentar agua, digamos el suficiente

líquido para cubrir el foco, tal como se ve en la *figura 22*, y procede como sigue:

1°. Mide con el multímetro la corriente y el voltaje durante el proceso de calentamiento.

2°. Mide la temperatura inicial del agua (*a*).

$T_1 = \text{_____}^{\circ}\text{C}$

3°. Conecta la clavija a la fuente de poder en las terminales de corriente alterna y anota el cambio de temperatura al cabo de 10 minutos (b).

t = 10 min

T₂ = _____ °C

4°. Es importante agitar ligeramente en forma circular el calentador aproximadamente cada 3 minutos (c).

5°. Deja enfriar y mide la cantidad de agua con la probeta (d).

V = m = _____ Kg

(Sólo en el caso del agua V = m).

6°. Calcula la potencia, por calentamiento del agua, mediante la relación:

$$P = \frac{\Delta Ei}{t} = \frac{4.2 \cdot m \cdot \Delta T}{t}$$

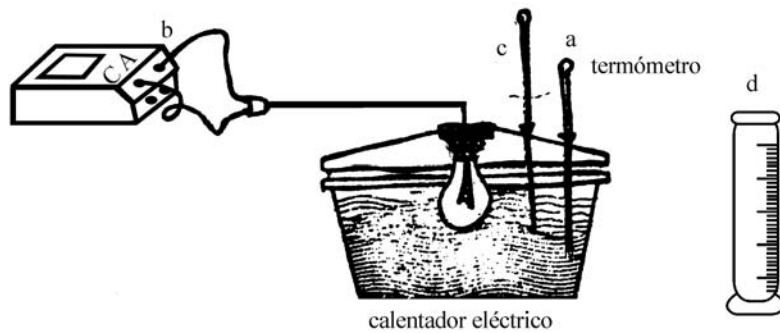


Figura 22.

II. Repite el experimento dos veces más, conectando una vez en la fuente de poder a las terminales A y D, y la otra en la toma normal de 120 V (sin fuente de poder).

1°. Tabula tus datos y verifica si el voltaje es proporcional al cociente P/I.

Tu profesor te ilustrará en el correcto uso del multímetro cuando mides voltajes, ya que en este caso el cable rojo debe estar en V, la perilla en VCA y además debe medirse en paralelo.

REGISTRO DE DATOS

PRUEBA	P(W)	I (A)	V(V)	$\frac{P}{I}$
Corriente alterna				
Terminales A D				
Sin fuente de poder				

2°. Analiza los datos del cuadro anterior y contesta las siguientes preguntas:

a) ¿Qué sucede con la intensidad cuando aumenta la potencia?

b) ¿Qué relación existe entre el voltaje y la resistencia $\frac{V}{I}$?

c) ¿Con las comparaciones anteriores podemos establecer que $\frac{P}{I} = V$? Explica por qué:

d) ¿Podremos encender un foco casero con pilas? Argumenta tu respuesta.

e) Si midieras la potencia de una cafetera eléctrica por los dos métodos que conoces, por calentamiento del agua y directamente con $P = VI$ ¿qué valores obtienes con cada uno de los métodos? ¿Son parecidos?

f) ¿Qué es un fusible?, ¿para qué se emplea? ¿En qué efecto se basa su funcionamiento?

g) En una plancha eléctrica se encuentran las siguientes especificaciones del fabricante: 960 W, 120 V.

- Explica el significado de estos valores.
- Suponiendo que el calentador esté conectado al voltaje adecuado, ¿qué corriente pasará a través de él?

h) Una cafetera eléctrica de 1000 W de potencia se conecta 4 minutos para calentar 500 ml de agua, si la temperatura inicial del agua era de 20 °C ¿a qué temperatura final llega el agua?.

EXPERIMENTO B

Ya te has percatado que al colocar un foco de 60 watts en el patio de tu casa, el brillo es menor que cuando pones uno de 100 watts. Asimismo, el watt es una unidad de potencia, es decir, es la energía disipada en una unidad de tiempo. Para medir esta potencia se usa una medición indirecta, en este caso usarás vasos de unicel para calcular la potencia que desarrollan los focos que trabajan con pilas, mediante la siguiente expresión matemática:

$$P = \frac{\Delta E_i}{t} = \frac{4.2 \text{ m (kg)} \Delta T (^{\circ}\text{C})}{t}$$

MATERIAL:

- 2 vasos de unicel con tapa*
- 1 pila de 1.5 volts*
- 1 pila de 9 volts*
- 2 metros de alambre de cobre del número 18
- 1 foco de 1.5 volts
- 1 foco de 6 volts
- 1 multímetro

* Material que debe aportar el estudiante.

PROCEDIMIENTO:

I. Monta el siguiente dispositivo

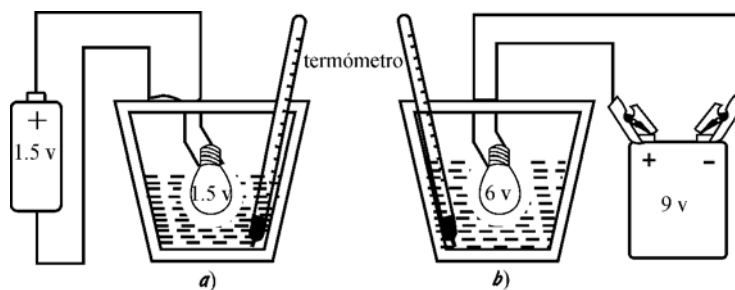


Figura 23.

Realiza lo siguiente:

- 1º. Calcula la potencia de los focos para cada caso, tomando como referencia el tiempo necesario para elevar dos grados centígrados la temperatura del agua, y mide la masa del agua.
- 2º. Mide la corriente para los dos circuitos anteriores (asegúrate de que el amperímetro que utilices tenga la escala adecuada).
- 3º. Calcula el cociente de las potencias entre la corriente, pues así se obtendrá el número de volts indicado en la pila. Cuando fluye mucha corriente, entonces la pila no puede mantener el voltaje y se dice que se baja (¿por qué crees que al arrancar un carro disminuye la intensidad de sus luces?).

- 4°. Con un voltímetro o un multímetro con la escala adecuada observarás cómo se baja el voltaje al cerrar el circuito. Anota los valores que obtuviste con el circuito abierto y con el circuito cerrado:

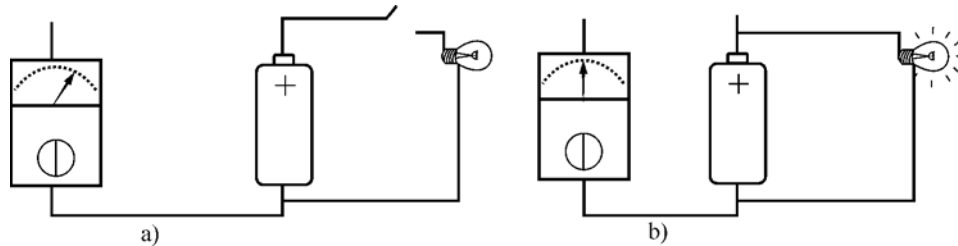


Figura 24.

Como hemos visto, el voltaje se puede definir como el cociente de la potencia entre la corriente, esto es:

$$\text{Número de volts} = \frac{\text{número de watts}}{\text{número de amperes}}$$

Cabe señalar que se pueden encontrar las palabras *volt* o *voltio*, *watt* o *vatio*, *ampere* o *amperio* como equivalentes. Una relación similar existe en las redes caseras de corriente alterna.

- II. Para encontrar la relación $\frac{P(W)}{I(A)} = \text{cte}$, manteniendo el voltaje constante, monta el siguiente dispositivo:

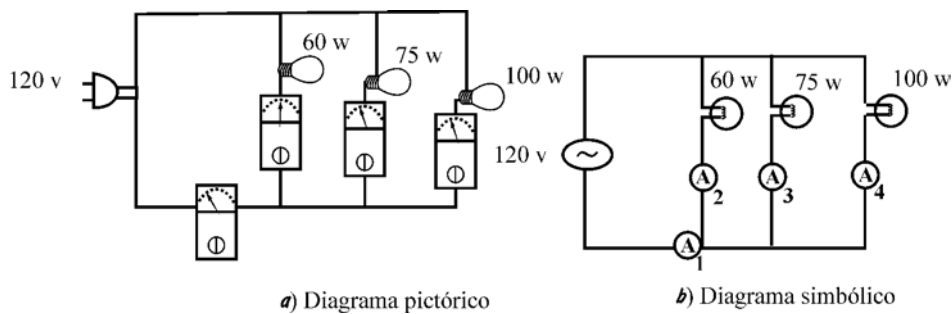


Figura 25.

Realiza lo que se te pide a continuación:

1º. Compara la brillantez de los focos e indica cuál tiene mayor intensidad de corriente:

2º. En este sistema una de las variables se mantiene constante, ¿cuál es?

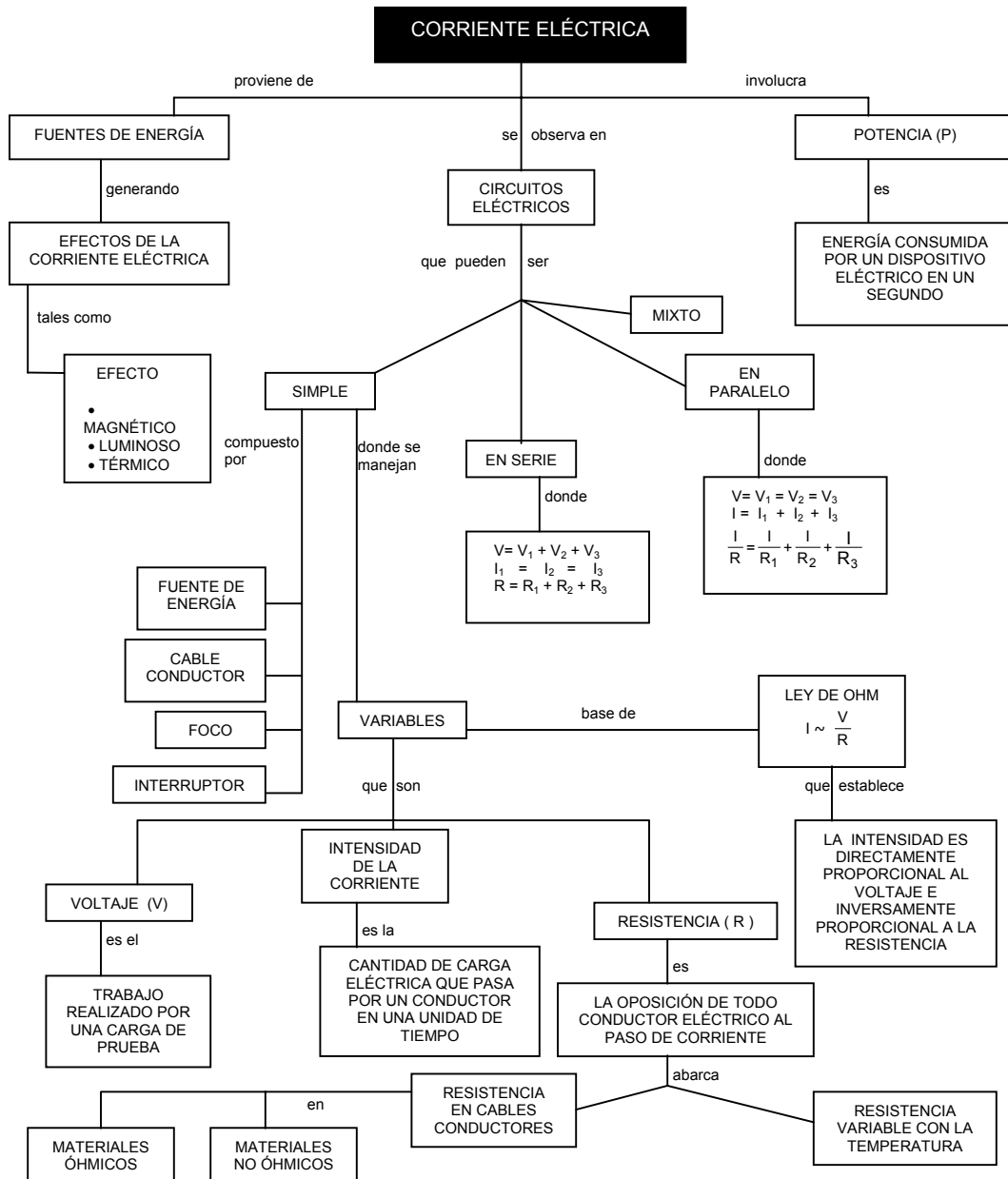
3º. Mide con el amperímetro en las posiciones A_1 , A_2 , A_3 y A_4 . Comprueba que $A_1 = A_2 + A_3 + A_4$ y divide la potencia de cada foco entre su intensidad:

$$\frac{60 \text{ W}}{A_2} + \frac{75 \text{ W}}{A_3} + \frac{100 \text{ W}}{A_4} = 120 \text{ V}$$

4º. ¿De qué forma se relaciona este circuito con los que hay en tu casa?

EXPLICACIÓN INTEGRADORA

Revisa el siguiente mapa conceptual para que tengas un panorama general de los contenidos de este tema.



1.2 INDUCCIÓN MAGNÉTICA

1.2.1 ANTECEDENTES

Ahora nos introduciremos al estudio del efecto de las fuerzas magnéticas sobre cargas móviles. Esto nos permitirá definir algunos conceptos como *inducción*, así como el planteamiento de algunos conceptos teóricos importantes que nos ayudarán a aterrizar en las *leyes de Faraday y Lenz*.

Los científicos que trataron este tema fueron Faraday y Lenz. Al primero, lo describen sus biógrafos como un estudioso práctico de la electricidad que contribuyó a la propuesta de varios aparatos, que dieron origen a las leyes que llevan su nombre.

Siguiendo estos descubrimientos, Lenz observó que en una bobina con bastantes vueltas el introducir un imán se hacía con mayor dificultad que cuando la bobina tenía menos vueltas. Estos descubrimientos de la ciencia lo llevaron al desarrollo tecnológico, dando lugar al nacimiento de dos dispositivos importantes que son el motor y el generador, muy utilizados en la rama industrial y tecnológica.

Como un primer acercamiento al tema realiza la siguiente actividad experimental.

ACTIVIDAD EXPERIMENTAL No. 6

INDUCCIÓN MAGNÉTICA

OBJETIVO:

Identificar la relación que existe entre la corriente eléctrica y un campo magnético.

PROBLEMATIZACIÓN:

El físico danés Hans Christian Oersted descubrió que la corriente eléctrica produce un campo magnético al observar el comportamiento de la aguja de una brújula. Pero ¿se puede dar el caso inverso?, es decir, ¿un campo magnético puede producir una corriente eléctrica?

HIPÓTESIS:

MATERIAL:

- 3 metros de alambre magneto del número 22
- 1 imán de barra
- 1 microamperímetro
- hilo

PROCEDIMIENTO:

- I. Monta el siguiente dispositivo (enrolla el alambre como se indica para formar una bobina):

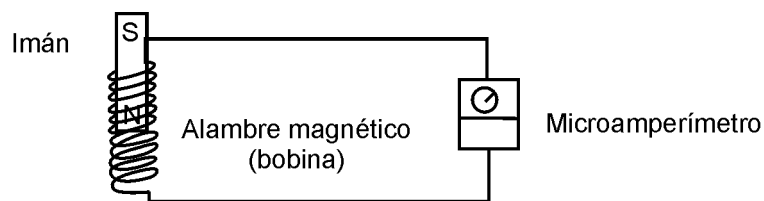


Figura 26.

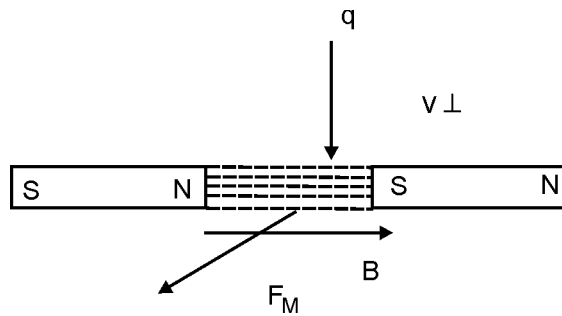
Realiza lo siguiente:

- 1º. Introduce el imán con el polo norte hacia la bobina, observa la aguja del microamperímetro y anota lo que sucede:

- 2º. Amarra el imán a un hilo y colócalo sobre la bobina, haciéndolo girar. ¿Qué se observa?

- 3º. Describe de qué depende el sentido de la corriente eléctrica:

Veamos lo siguiente. Una carga q que entra con una velocidad en forma perpendicular ($V \perp$) a un campo magnético, recibiendo una fuerza magnética también perpendicular, se observaría como en la *figura 27*.



q : Valor de la carga

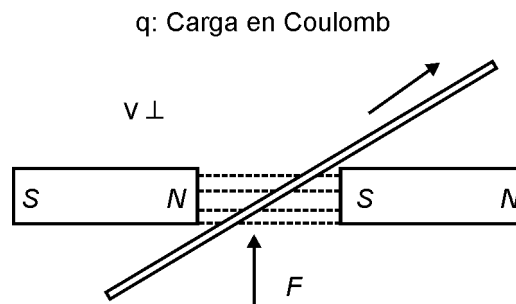
$V \perp$: Velocidad de la partícula que entra en forma perpendicular

B : Intensidad del campo magnético

F_M : Fuerza magnética

Figura 27.

Ahora, si en lugar de la carga se usa un conductor con una corriente eléctrica, el cable genera una fuerza magnética, y se observaría de la siguiente forma:



q : Carga en Coulomb

Figura 28.

La fuerza magnética con la cual sale la partícula se calcula con la expresión:

$$F_M = BV \perp q$$

donde se despeja la inducción (B) y obtenemos:

$$B = \frac{F_M}{V \perp q}$$

De aquí que: *La inducción (B) en un punto de un campo magnético mide la fuerza que recibe la unidad de carga que en ese punto se mueve perpendicular al campo con una velocidad determinada.*

Se ha demostrado que las cargas en movimiento producen campos magnéticos. Esto se puede observar cuando por un cable recto se hace pasar una corriente eléctrica habiendo colocado una cartulina que atraviesa el cable, en el cual se ha agregado limadura de hierro, con la que se distingue la formación de círculos (*figura 29*).

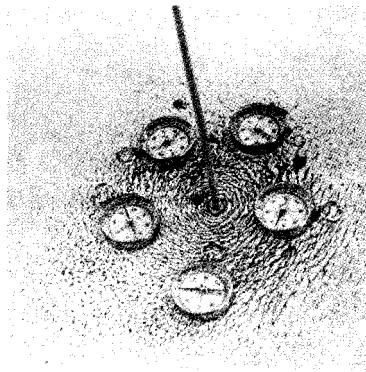


Figura 29. Campo magnético que se forma alrededor de un alambre. Las líneas de fuerza son los círculos concéntricos al alambre, que se encuentran en un plano perpendicular a él.

Cuando en lugar de limadura de hierro se colocan brújulas, las agujas se orientan de tal manera que indican las líneas del campo magnético. En este fenómeno si se cambia la dirección de la corriente, las brújulas describen un giro completo, lo que hace ver también que cambia la dirección del campo magnético.

Cuando se desea aumentar el campo magnético se aumenta el número de vueltas (espiras) en el conductor (bobina). (Ver *figura 30*).

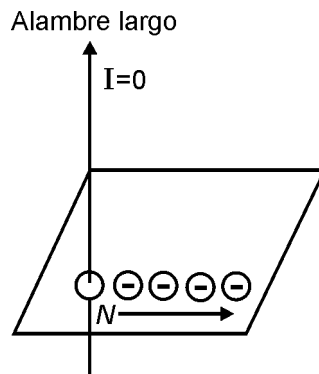


Figura 30. La flecha indica la manera de colocar la brújula para que el campo magnético, producido por el alambre al conducir corriente, se dé en forma perpendicular al campo magnético terrestre.

Una partícula cargada se mueve dentro de un conductor e interacciona con un campo magnético, el cable por donde pasa la carga se desvía por efecto de una fuerza magnética producida. (Ver figura 26).

Para comprender las fuerzas que actúan sobre partículas cargadas en movimiento en un campo magnético es necesario comprender algunos fenómenos como el funcionamiento de motores, o incluso, la radiación que rodea a la Tierra, *fenómeno conocido como Van - Allen*.

Por lo tanto, la teoría marca que una partícula cargada puede entrar de tres maneras a un campo magnético:

- 1) **Forma perpendicular.**
Generando una fuerza magnética perpendicular como se planteó al principio.

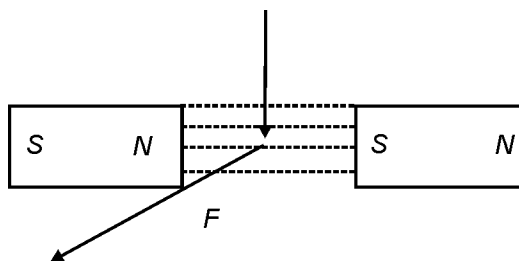


Figura 31.

- 2) En **forma inclinada**, donde la partícula genera un movimiento helicoidal como sucede en los anillos de Van – Allen.

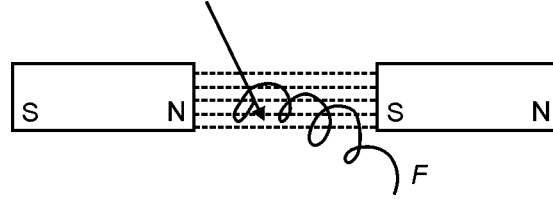


Figura 32.

- 3) La carga entra en **forma paralela** a las líneas del campo magnético, sin producir fuerza alguna.



Figura 33.

A continuación se hace el desarrollo matemático de una partícula que entra en forma perpendicular y es extrapolada a un conductor con corriente eléctrica.

Esta fuerza magnética para una partícula se evalúa con el siguiente modelo matemático:

$$F = qV \perp B_{\perp}. \text{ Para un cable } V \frac{L}{t}.$$

q : Valor de la carga (coulombio)

$$F = q \frac{L}{t} B_{\perp} = \frac{q}{t} L B_{\perp} = B_{\perp} I \cdot L$$

V : Velocidad de la partícula que entra en forma perpendicular

$$\left(\frac{m}{seg} \right)$$

$$F = B_{\perp} \cdot IL$$

B : Intensidad del campo magnético

I : Intensidad

L : Longitud del conductor

Este desarrollo permite observar que *el conductor por donde pasa la corriente se mueve dentro de un campo magnético* cuya intensidad es “B”. El alambre es empujado por una fuerza lateral por efecto de la interacción de los campos. Para demostrar la existencia de esta fuerza lateral es necesario hacer la Actividad Experimental No. 7, llamada *columpio de Ampere (figura 34)*, donde observarás la fuerza que empuja al columpio.

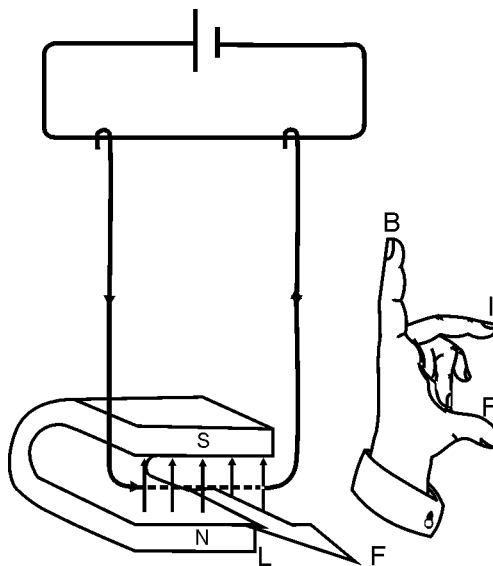


Figura 34. Cumpio de Ampere. Cuando pasa la corriente por el cumpio, éste se mueve hacia delante. (Tomado de Velasco Oyarzábal Félix. *Lecciones de Física*. Compañía Editorial Continental , México, 1977, pág. 401).

ACTIVIDAD EXPERIMENTAL No. 7

COLUMPIO DE AMPERE

OBJETIVO:

El estudiante demostrará la existencia de una fuerza lateral, por medio de la inducción.

PROBLEMATIZACIÓN:

¿Por qué se mueven los conductores con corriente eléctrica cuando se sumergen en un campo magnético?

HIPÓTESIS:

MATERIAL:

- imán potente en forma de U
- una pila de 9 volts*
- 2 m de alambre conductor # 12
- 1 m de alambre conductor #14

* Material que debe proporcionar el estudiante.

PROCEDIMIENTO:

- I. Monta un marco rígido de alambre del No. 12, sin forro, de tal manera que lo conectes a una pila de 9 volts y haya un interruptor en el circuito. El otro marco debe tener menos rigidez, que logras usando alambre del No.14, éste formará el columpio.

Montado el aparato, el columpio de Ampere, se conecta al interruptor. Observa el movimiento del columpio.

- II. Repite el ejercicio anterior colocando varias espiras (vueltas del alambre) en el columpio, observa y compara la fuerza del mismo.

Como se apuntó anteriormente, *al aumentar el número de vueltas, aumenta la fuerza magnética*. Para calcular esta fuerza el modelo es el siguiente:

$$F = BILN$$

F : Fuerza (N) (Newton)

B : Inducción magnética (Tesla, Gauss)

I : Intensidad (amp)

L : Longitud (m)

N : Número de vueltas (espiras)

Para entender mejor la utilización de la fórmula anterior se ha seleccionado el siguiente problema:

- a) Un conductor lleva 3a; al ser colocado entre los polos de un imán de herradura queda 2 cm sumergido perpendicularmente en un campo uniforme de 200 G ¿ Qué fuerza recibe el alambre?

Fórmula $F = BILN$

<i>Datos</i>	<i>Modelo</i>	<i>Sustitución</i>
$B = 200 \text{ G} \frac{1\text{T}}{10^4 \text{ G}}$ $B = 2 \times 10^2 \times 10^{-4} \text{ T} = 2 \times 10^{-2} \text{ T}$ $L = 2 \text{ cm} \frac{1\text{m}}{100 \text{ cm}} = 0.02 \text{ m}$ $I = 3 \text{ a (amperes)}$	$F = BILN$ $1\text{T} = 10^4 \text{ G}$ $1\text{G} = 10^{-4} \text{ T}$ Tesla (T) Gauss (G)	$F = 2 \times 10^{-2} \text{ T} \times 3\text{a} \times 2 \times 10^{-2} \text{ m}$ $F = 1.2 \times 10^{-3} \text{ N}$

$T = 2 \times 10^{-2} \text{ ó } 0.02 \text{ (Tesla)}$

$F = ?$

Con el modelo de la fuerza magnética se puede calcular la inducción de la expresión

$F = BIL$, quedando $B = \frac{F}{IL}$, y sustituyendo las unidades:

$$B = \frac{\frac{\text{N}}{\frac{\text{C}}{\text{S}} \cdot \text{m}}}{\frac{\text{N}}{\text{A} \cdot \text{m}}} = \frac{\text{N}}{\text{A} \cdot \text{m}} \quad I = \frac{\text{C}}{\text{S}} = \text{A}$$

y así la Inducción magnética (B) es

$$B = \frac{\text{N}}{\text{A} \cdot \text{m}} = \text{Tesla.}$$

La inducción magnética $T = 10^4$ Gauss.

La unidad de inducción magnética es la **tesla**. ¿Pero qué es la tesla? La inducción en un punto de un campo magnético será de **1 tesla** cuando una carga de 1 coulomb pasa por una corriente de 1 amper.

1.2.2 LEYES DE LA INDUCCIÓN MAGNÉTICA

Leyes de Faraday

Se habló de que el descubrimiento de las corrientes eléctricas inducidas aparecen por el año 1831, cuando Michael Faraday realizaba este tipo de experimentos donde introducía un imán recto dentro de una bobina, encontrando que se generaba una corriente eléctrica inducida que registraba por medio de un galvanómetro.

Así se muestra que cuando se introduce el polo norte, la aguja se desvía hacia la derecha; y cuando se saca el imán, la aguja se desvía hacia la izquierda. Si se mete el polo sur del imán la aguja se desvía hacia la izquierda y si se saca se desvía hacia la derecha. ¿Pero cómo se produce la corriente? Es una pregunta que se hacía desde mucho tiempo atrás, y la respuesta fue contestada argumentando que el movimiento relativo de la bobina y el imán es lo que produce la corriente, ya sea si se mueve la bobina o el imán solo, o si se mueven ambos.

De hecho existe corriente inducida cuando el campo magnético es variable, un ejemplo sencillo es el que muestra la siguiente figura:

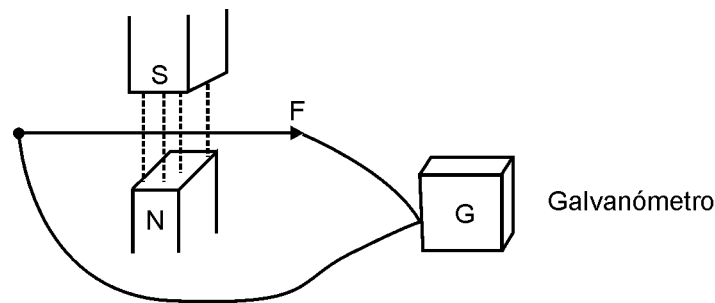


Figura 35.

El alambre se mueve en el sentido que marca la “F” en la figura, registrándose una corriente en los extremos, indicada por el galvanómetro **G**.

El fenómeno de la inducción electromagnética se puede resumir en un enunciado conocido como la **ley de Faraday**:

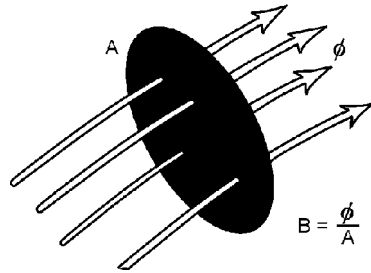
El voltaje inducido en una bobina es proporcional al producto del número de espiras y a la razón de cambio del campo magnético dentro de dichas espiras.

Como se vio anteriormente, un campo magnético se representa por medio de líneas magnéticas cuya dirección y sentido están dados por la dirección que toma una brújula y por el sentido en que apunta su polo norte. Además, hay que señalar que el número de líneas magnéticas que atraviesan perpendicularmente a la unidad de área es proporcional a la inducción magnética, esto nos lleva a dos conceptos importantes:

Flujo magnético: Es el número de líneas del campo magnético.

Densidad: Es el flujo que atraviesa perpendicular a la unidad de área $B = \frac{\Phi}{A}$.

Compara esta definición con la de inducción magnética en un campo magnético que ahora se llama *densidad de flujo*.



Las unidades son:

Flujo Φ : Weber = Tm^2 (unidad de flujo magnético)

$1\text{T} = 10^4\text{G}$ $1\text{T} = 10^4\text{ Gauss (G)}$

T = Tesla

Flujo magnético $B = \frac{\Phi}{A}$

Densidad = Número de líneas por área (m^2)

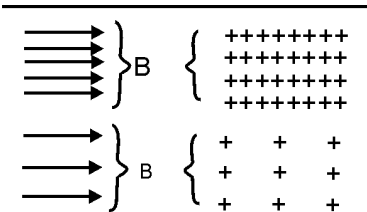
Figura 36. Flujo magnético, donde A es perpendicular a las líneas magnéticas. (Tomado de Velasco Oyarzábal Félix. *Lecciones de Física*. Compañía Editorial Continental, México, 1977, pág. 409).

Sabemos que la densidad de flujo “B” se define como la relación del flujo entre el área:

$$B = \frac{\Phi}{A}.$$

Para poder generalizar este concepto resumiremos *las propiedades de las líneas de fuerza magnética*, que son:

- Un campo magnético se puede representar por medio de líneas de fuerza magnética.

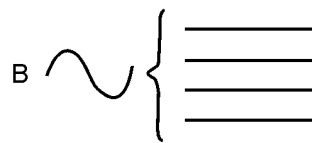


- El campo magnético es más intenso donde las líneas magnéticas están más juntas, y débil cuando están más separadas (*figura 37-a*).

a) *El campo magnético es intenso donde las líneas están más juntas, y débil si están más separadas.*

- La inducción magnética B es proporcional al número de líneas de fuerza que atraviesa la unidad de área colocada perpendicular a las líneas (*figura 37-b*).

$B = \frac{\text{Número de líneas}}{\text{área perpendicular}}$



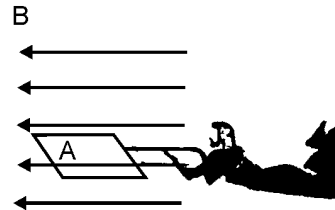
b) *La inducción magnética B es proporcional al número de líneas magnéticas.*

- Se llama flujo magnético a través de un área A al número de líneas de fuerza que la atraviesan (*figura 37-c*).



c) *El flujo magnético a través del área A es igual al número de líneas que lo atraviesan*

- Si la espira está paralela a las líneas de fuerza, ninguna línea la atraviesa y el flujo η es cero (*figura 37-d*). Si la espira está perpendicular al campo, entonces la atraviesa el número máximo de líneas y el flujo es máximo.



d) *Si la espira está paralela a las líneas de fuerza, el flujo es cero.*

Figura 37. (Tomado de Velasco Oyarzábal Félix. *Lecciones de Física*. Compañía Editorial Continental, México, 1977).

Detalles de la Ley de Faraday

Faraday introducía un imán en una bobina y observaba en un galvanómetro lo siguiente:

- Al acercar el imán la aguja se deflexa hacia un lado; al alejarlo se deflexa en sentido contrario (*figura 38*).
- El sentido de la deflexión inicial depende de si se acerca el imán por el polo norte o sur.
- Mientras más rápido es el movimiento del imán mayor es el voltaje inducido (*figura 39*).

- Mientras más potente es el imán mayor es el voltaje inducido, esto suponiendo que los imanes se mueven con la misma *velocidad*.

De acuerdo con los experimentos se llega a la cuantificación de la *F.E.M.*, donde:

$$\boxed{\text{F.E.M.} = \frac{\Phi_f - \Phi_i}{t}} \quad \text{F.E.M.} = \text{Fuerza electromotriz.}$$

La fuerza electromotriz inducida en un circuito es directamente proporcional a la rapidez con que cambia el flujo magnético que encierra.

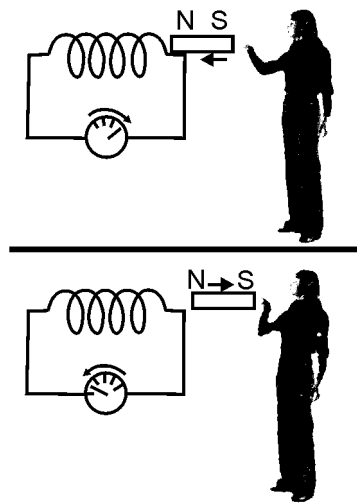


Figura 38.

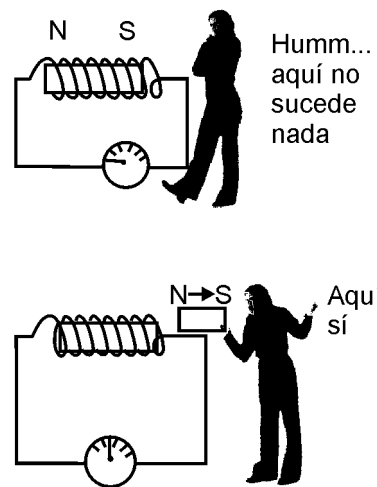


Figura 39.

Fuerza electromotriz en un conductor

Anteriormente se demostró B que una carga “q” que entra en forma $V \perp$ perpendicular a un campo magnético “B” es empujada con una fuerza “F” y su modelo matemático es $F = q V \perp B$. Si la ecuación anterior la multiplicamos por la distancia se obtiene el trabajo por la unidad de carga.

$$\frac{F \cdot L}{q} = V \perp BL \quad \text{donde} \quad \frac{F \cdot L}{q} = \text{F.E.M.}, \quad \text{entonces} \quad \text{F.E.M.} = V \perp BL \text{ por unidad de carga.}$$

Esta expresión nos sirve para calcular la diferencia de voltaje cuando se mueve el conductor que corta las líneas del campo magnético y en los extremos del alambre aparece la *F.E.M.*, o sea el trabajo realizado por unidad de carga sobre las cargas eléctricas en esta sección del conductor móvil.

UNIDADES. En el Sistema Internacional de Unidades (S.I.U.) la inducción electromagnética (B) está dada en $\frac{\text{Weber}^*}{\text{m}^2} = B$ $V = \frac{\text{m}}{\text{s}}$ $L = \text{m}$

$$\begin{aligned} \text{Y así la F.E.M.} &= V = \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot B = \left(\frac{\text{Weber (Wb)}}{\text{m}^2} \right) \cdot L = (\text{m}) \\ &= \text{F.E.M.} = \frac{\text{Weber}}{\text{seg}} = \text{Volt (V)} \end{aligned}$$

Fuerza electromotriz en una bobina

En este caso se muestra que un lazo de conductor se encuentra sumergido en un campo magnético donde Faraday observó que:

La fuerza electromotriz inducida en un circuito es directamente proporcional a la rapidez con que cambia el flujo magnético.

La expresión matemática es:

$$E = N \frac{\phi_f - \phi_i}{\Delta t}$$

ϕ_f : Flujo final > unidades (Wb)
 ϕ_i : Flujo inicial Weber
 E: Fuerza electromotriz inducida en volts (V)
 Δt : tiempo (seg)
 N: número de vueltas (espiras)

A continuación tenemos un ejemplo donde se aplica el modelo matemático de Faraday y la ecuación de flujo magnético.

$$E = N \frac{\phi_f - \phi_i}{\Delta t} \quad \phi = B A$$

- a)** Una bobina de 500 vueltas con una resistencia de $10 \, \Omega$ y con un área de $40 \, \text{cm}^2$ es atravesada, normalmente, por un campo magnético que en centésimos (10^{-2} seg) de segundo cambia de 1000 G a -1000 G. Calcular: *Flujos magnéticos.*

* El Weber es una unidad de flujo magnético de una tesla en un metro cuadrado, pero como es una unidad muy grande se emplea otra unidad de flujo que es el Maxwell, donde $1 \, \text{Wb} = 10^8 \, \text{Maxwell (Mx)}$.

<i>Datos</i>	<i>Modelo</i>	<i>Sustitución</i>
$1T = 10^4 G$ $B_i = 1000 G = 10^{-1} T$ $B_f = -1000 G = -10^{-1} T$ $A = 40 \text{ cm}^2 = 4 \times 10^{-3} \text{ m}^2$ $\Phi = ?$	$\Phi = B \cdot A$	$\Phi_i = 10^{-1} T \times 4 \times 10^{-3} \text{ m}^2 = 4 \times 10^{-3} \text{ Wb}$ $\Phi_f = -10^{-1} T \times 4 \times 10^{-3} \text{ m}^2 = -4 \times 10^{-3} \text{ Wb}$ entonces así $\text{Wb} = T \cdot \text{m}^2$

$$\begin{aligned}
 \text{F.E.M.} \quad \boxed{E = N \cdot \frac{\Phi_f - \Phi_i}{\Delta t}} &= 500 \frac{(-4 \times 10^{-3} \text{ Wb} - 4 \times 10^{-3} \text{ Wb})}{10^{-2} \text{ seg}} = \frac{-4000.004}{10^{-2}} \\
 &= -40000.04 = -40 \text{ V} \\
 E &= -40 \text{ (V)}
 \end{aligned}$$

Es interesante recordar que en los experimentos de Faraday cuando un imán es introducido en una bobina se genera una corriente, y ahora la bobina funciona como si fuera un imán, cuyos polos se determinan de acuerdo con la regla de la mano derecha (que se explica enseguida). Estos polos inducidos siempre se oponen al acercamiento del imán, por ejemplo cuando se introduce el polo norte, se genera en la bobina un polo norte, y cuando se aleja, un polo sur.

Regla de la mano derecha para una bobina:

Se toma la bobina con la mano derecha hacia enfrente de la cara, los dedos indican la dirección de la corriente, y el dedo pulgar extendido hacia la derecha indica las líneas del campo magnético.

Ley de Lenz

El anterior descubrimiento se le atribuye a Lenz, que en su ley dice:

La corriente inducida tiene un sentido tal que se opone a la causa que la produce.
La expresión para calcular la F.E.M. en una bobina como se vio anteriormente es:

$$E = BLVN$$

E : Inducción en t

L : Largo del conductor en "m"

V : Velocidad con la que se mueve el conductor

N : Número de vueltas (espiras)

E : F.E.M. inducida en volt

Por definición : *La F.E.M. inducida* es directamente proporcional a la inducción magnética del campo, a lo largo del conductor comprendido en el campo y a la velocidad con que se mueve.

A continuación se plantea un problema donde se aplica esta expresión:

- a) Un conductor se mueve a $50 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$ hacia el norte perpendicularmente a un campo magnético de 10 cm de ancho, cuyo valor es de 1000 G y cuyo sentido es de arriba hacia abajo. Calcular la F.E.M. inducida.

<i>Datos</i>	<i>Modelo</i>	<i>Sustitución</i>
$B = 1000 \text{ G} = 0.1 \text{ Wb}$ $L = 10 \text{ cm} = 0.1 \text{ m}$ $V = 50 \frac{\text{cm}}{\text{s}} = 0.5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ $N = 1$	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> $F.E.M. = BLVN$ </div>	$0.1 \text{ Wb} \times 0.1 \text{ m} \times 0.5 \text{ m/s} \times 1$ $= 5 \times 10^{-3} \text{ volt}$ así la F.E.M. = $5 \times 10^{-3} \text{ volt (V)}$

¿Qué sentido tiene la corriente?

Para contestar esta pregunta se utiliza *la regla de mano derecha* que dice:

Se extienden perpendicularmente entre sí los 3 primeros dedos de la mano derecha: El índice señala el sentido de la inducción, el cordial el sentido de la corriente y el pulgar el movimiento. Observa la figura:

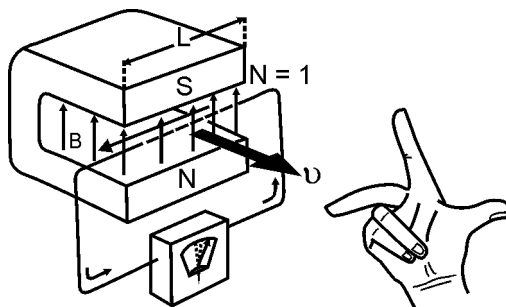


Figura 40. Conductor moviéndose hacia adelante en un campo magnético. (Tomado de Velasco Oyarzábal Félix. *Lecciones de Física*. Compañía Editorial Continental, México, 1977, pág. 412).

1.2.3 GENERADOR ELÉCTRICO

Una de las aplicaciones más importantes de la inducción magnética se observa en el avance tecnológico dentro del ámbito industrial por la aplicación de dos dispositivos, que son el *generador* y el *motor eléctrico*.

El generador eléctrico *convierte la energía mecánica de rotación en energía eléctrica*, este dispositivo eléctrico consta de un imán o electroimán fijo y un tambor giratorio con bobinas en su perímetro, representadas por gruesos alambres aislados y pelados en los extremos, donde se hace contacto eléctrico con las escobillas, quienes conducen la corriente al exterior, la cual se observa cuando se coloca una bombilla que enciende (*figura 41*).

En un aparato para demostrar esta experiencia de tipo escolar, el eje central nos conecta mecánicamente a una manivela donde el operador la hace girar violentamente y se observa que la lámpara enciende. Una forma alternativa del **generador** es el **alternador**, que se utiliza en el encendido de los automóviles, en este caso se tienen unos **diodos** montados que permiten que la corriente se dirija en un solo sentido. Es muy común que gente inexperta conecte la **batería** con los **polos** al revés y queme los **diodos** del **alternador**.

Es interesante decir que *existen generadores de corriente alterna y directa*, para ello se utilizan los conmutados, que no son más que anillos en los extremos del eje principal del barril que gira en medio del generador de los **electroimanes**.

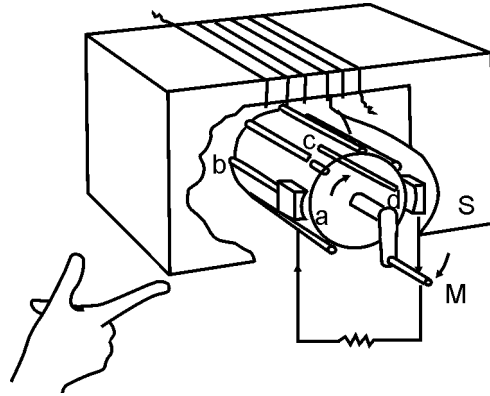


Figura 41. Generador eléctrico. El sentido de la corriente inducida en el tramo $a-b$ lo da la regla de la mano derecha. (Tomado de Velasco Oyarzábal Félix. *Lecciones de Física*. Compañía Editorial Continental, México, 1977, pág. 413).

A continuación se muestran las fases de la espira con diferentes posiciones al dar vuelta.

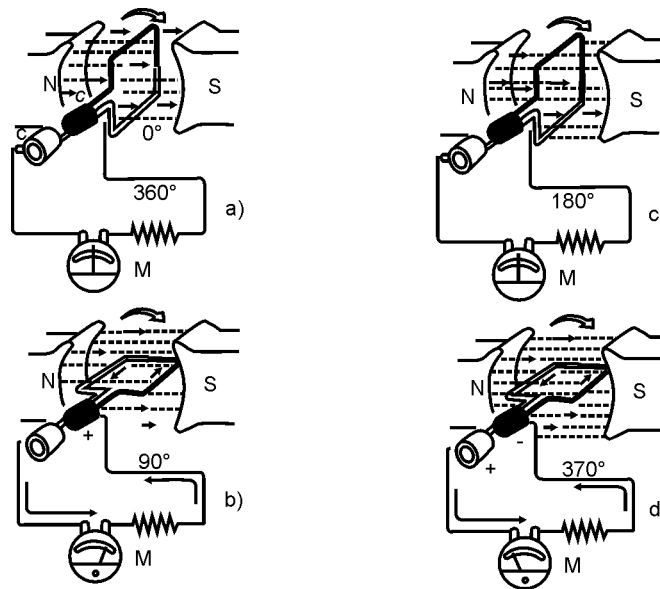


Figura 42. Generador de corriente alterna. (Tomado de Velasco Oyarzábal Félix. *Lecciones de Física*. Compañía Editorial Continental, México, 1977, pag. 413).

1.2.4 MOTOR ELÉCTRICO

El motor eléctrico es un dispositivo eléctrico que *convierte la energía eléctrica en mecánica*, podemos decir que un motor de corriente directa está formado por una bobina que se encuentra entre los polos de un imán.

Como se apuntó anteriormente en los principios de la inducción, al circular una corriente eléctrica en la bobina ésta adquiere un campo magnético y actúa como un imán, cuyos polos se determinan por la regla de la mano derecha, y al interaccionar con los polos del imán produce un movimiento de tipo rotatorio, debido a la fuerza que hay entre los dos campos magnéticos.

Tanto el motor de C.D. como el de C.A. se basan en lo siguiente:

Electroimán, que es el *inductor o estator* fijo y el circuito eléctrico que gira alrededor de un eje, que recibe el nombre de *inducido o rotor*. En la parte operacional a un motor se le anexa una bomba que es muy utilizada en la industria.

1.2.5 TRANSFORMADORES

El transformador es un dispositivo eléctrico que está formado por dos bobinas montadas sobre un núcleo de láminas, el transformador industrial es enfriado por algún líquido como aceite; por tener alto voltaje éste se altera por cortos eléctricos cuando hace viento, o bien intenso trabajo; quizás hayas observado esto en tu casa durante la ausencia de energía debido a un corto del transformador de la alimentación eléctrica.

El modelo matemático que rige la relación de la F.E.M. y el número de vueltas es:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

En un transformador las fuerzas electromagnéticas son directamente proporcionales al número de vueltas de la bobina.

Otra manera de ver el transformador es por el concepto de potencia eléctrica donde ésta es igual en el primario como en el secundario. La expresión matemática queda:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{E_2}{E_1}$$

donde se observa que *en un transformador las intensidades son inversamente proporcionales a las fuerzas electromotrices*.

Veamos un ejemplo:

- a) Un transformador tiene una potencia de 40 watts, 1000 vueltas en el primario y 15000 en el secundario. El primario se conecta a un voltaje de la línea de alimentación de 125 volt.

Se desea calcular:

- La intensidad de la corriente en el primario.

Datos

$$\begin{aligned} P &= 40 \text{ watt} \\ \epsilon_1 &= 125 \text{ V} \\ I_1 &= ? \end{aligned}$$

Modelo

$$P = V \cdot I$$

$$I_1 = \frac{P}{V} = \frac{40 \text{ W}}{125 \text{ V}} = 0.32 \text{ a}$$

$$I_1 = 0.32 \text{ a}$$

- El voltaje en el secundario.

Datos

$$\begin{aligned} \epsilon_1 &= 125 \text{ V} \\ N_1 &= 1000 \\ N_2 &= 15000 \\ \epsilon_2 &= (?) \end{aligned}$$

Modelo

$$\frac{\epsilon_1}{\epsilon_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

$$\epsilon_2 = \frac{125 \text{ V} \times 15000}{1000} = 1875$$

$$\epsilon_2 = 1875 \text{ V}$$

despeje

$$\epsilon_2 = \frac{\epsilon_1 N_2}{N_1}$$

- La intensidad de la corriente en el secundario.

Datos

$$\begin{aligned} P &= 40 \text{ watt} \\ \epsilon_2 &= 1875 \text{ V} \\ I_2 &= ? \end{aligned}$$

Modelo

$$P = I_2 \epsilon_2$$

$$I_2 = \frac{P}{\epsilon_2} = \frac{40 \text{ W}}{1875 \text{ V}}$$

$$\begin{aligned} I_2 &= 0.0213 \text{ amperes (a) y en miliamperes (ma)} \\ &= 21.33 \text{ (ma)} \end{aligned}$$

Los transformadores tienen como función bajar o subir el voltaje dependiendo de las características del primario y del secundario, que están en función del número de vueltas de las bobinas.

Realiza la siguiente actividad.

ACTIVIDAD EXPERIMENTAL No. 8

TRANSFORMADORES

OBJETIVO:

Demostrar la relación de las variables voltaje (V) e intensidad (I).

PROBLEMATIZACIÓN:

Existen radios que necesitan utilizar un transformador para conectarlos a 125 V. ¿Por qué?

HIPÓTESIS:

MATERIAL:

- 2 bobinas de 500 espiras
- 1 bobina de 1000,3000 espiras
- fuente de voltaje
- fuente de poder

PROCEDIMIENTO:

Monta el dispositivo de la siguiente figura:

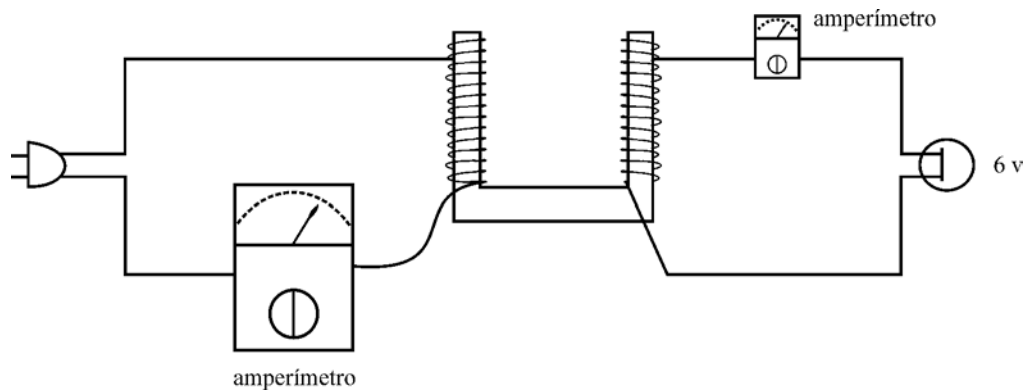


Figura 43.

- 1°. Conectar la bobina al galvanómetro y posteriormente introducir el imán del polo norte y observar la aguja del galvanómetro.
- 2°. Conectar la bobina al galvanómetro y otra paralela conectada a una pila de 6 volt. Observa el galvanómetro.
- 3°. Conectar la bobina a un galvanómetro y hacerla girar con violencia sobre su eje vertical para observar el *cambio de flujo*.

Ahora realiza lo siguiente:

- Conecta la fuente de poder para poner el indicador de 3 volt con dos bobinas de 500 espiras en el núcleo de hierro dulce.
- Determina el voltaje e intensidad de entrada y salida.

$$V_1 = \quad V_2 =$$

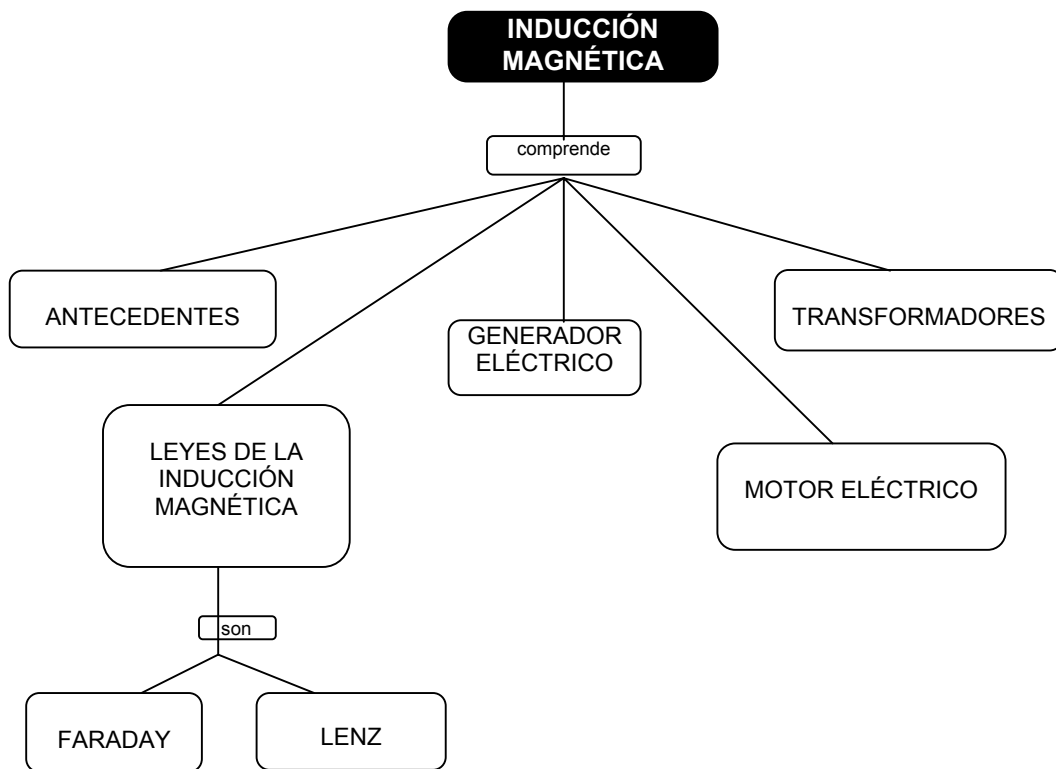
$$I_1 = \quad I_2 =$$

- Reemplaza la bobina del secundario por una de 3000 espiras.
- Determina las potencias de entrada y de salida.
- Cambia el tipo de C.A. a C.D.

CONCLUSIONES:

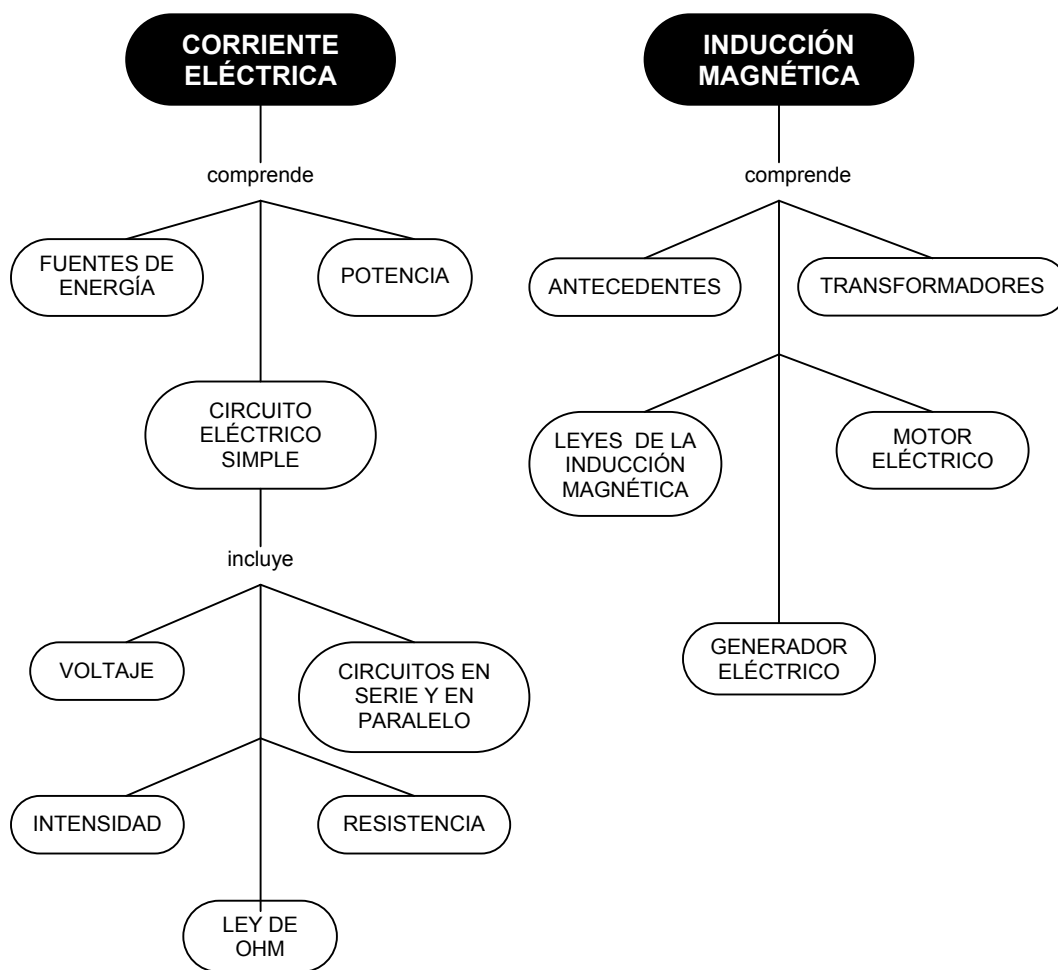
EXPLICACIÓN INTEGRADORA

Observa el siguiente esquema que muestra los conceptos más importantes del tema que acabas de estudiar.



RECAPITULACIÓN

El siguiente esquema muestra los puntos centrales del contenido del fascículo.



ACTIVIDADES DE CONSOLIDACIÓN

Para que confirmes lo aprendido en este fascículo, resuelve lo siguiente:

1. Explica la diferencia entre resistencia en serie y en paralelo.
2. ¿Cuál es la diferencia entre un conductor óhmico y uno no óhmico?
3. ¿Cuál es el modelo matemático de la potencia eléctrica?
4. ¿En qué tipo de arreglo de resistencia la relación de la potencia y la intensidad de la corriente es una constante?
5. ¿Cuál es el modelo de la relación de la fuerza eléctrica y la carga, cuando ésta entra a un campo magnético?
6. ¿Quién descubrió que una carga en movimiento genera un campo magnético?
7. Un campo magnético variable que se puede cortar por medio de un conductor ¿podría generar una corriente eléctrica? Explica.
8. ¿Para qué sirve la regla de la mano izquierda?
9. Explica las partes principales de un motor y de un generador.
10. Explica brevemente cómo funciona un transformador.
11. Según Oersted una corriente eléctrica produce un campo magnético. ¿Puede suceder el caso contrario?
12. ¿Tiene influencia la dirección de la corriente cuando un imán entra o sale de una bobina?
13. Una espira circular de alambre con un radio de 5 cm se halla en un campo uniforme magnético de 6×10^{-4} T. Cuál será el flujo a través de él si su plano es...
 - a) Perpendicular
 - b) Paralelo al campo
14. ¿De qué depende la magnitud del voltaje inducido?
15. Escribe el modelo cuando el voltaje inducido en una bobina es proporcional al producto del número de espiras y la razón de cambio del campo magnético dentro de dichas espiras.

AUTOEVALUACIÓN

Compara tus respuestas con las que te presentamos enseguida y así verificarás tu nivel de aprendizaje.

1. El primero es el dispositivo que se conecta en un circuito eléctrico, donde la corriente entra por un punto (positivo) y sale por el otro extremo (negativo), llamándose conexión en serie. En paralelo los dispositivos resistivos se conectan en el circuito con este arreglo, donde la corriente y la dirección es paralela, permitiendo en caso de interrupción que la corriente siga fluyendo en las demás ramas.
2. El primero sigue la ley de Ohm $V = RI$ y el segundo en un punto determinado se aparta de dicha ley.
3. $P = VI$
4. En paralelo.
5. $F = qV \perp B$
6. Oersted.
7. Sí, se puede generar una corriente eléctrica como en los experimentos de Faraday.
8. Sirve para determinar la dirección que toman las líneas de fuerza alrededor de un alambre conductor. Conociendo la dirección de la corriente donde los electrones fluyen del polo negativo al polo positivo, se toma el conductor con la mano izquierda, donde el dedo pulgar apunta hacia donde pasa la corriente y los dedos apuntan en forma concéntrica las líneas del campo magnético.
9. El motor se compone de bobina fija, imán giratorio.

El generador tiene bobinas, escobillas, conmutador, electroimanes.
10. Es un embobinado sobre núcleo de hierro (lámina de hierro), donde en el primario (bobina) entra corriente y sale en el secundario con diferente voltaje que en el primario.
11. Sí, se explica con las leyes de Faraday y Lenz.
12. Sí, en el cambio de la corriente que se nota en el galvanómetro.

$$13. \Phi = B \cdot A = 6 \times 10^{-4} \text{ T} \times 3.1416 \times 25 \times 10^{-4}$$

$$a) \pi r_2^2 = 3.1416 [5 \times 10^{-2}]^2$$

$$b) \Phi = 47 \times 10^{-8} \text{ T}$$

14. Del número de vueltas en la bobina.

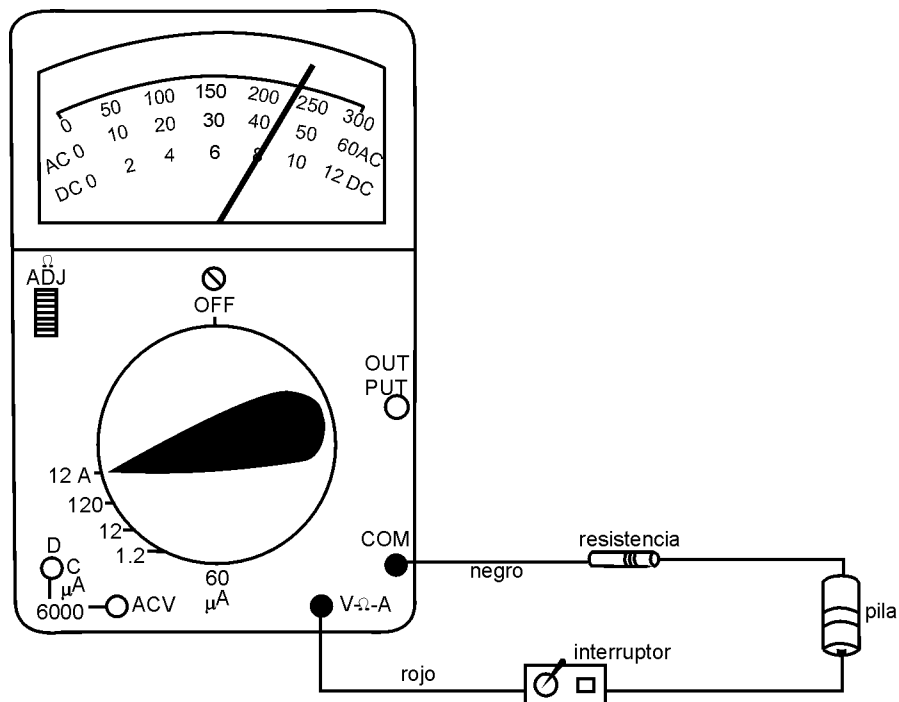
$$15. \mathcal{E} = N \frac{\Phi_2 - \Phi_1}{t_2 - t_1}$$

ANEXO

USO DEL MULTÍMETRO *

MEDICIÓN DE LA INTENSIDAD DE LA CORRIENTE DIRECTA

1. Inserta los extremos de los cables de prueba en las terminales V- Ω -A y COM del multímetro.
2. Coloca el selector en el rango deseado para medir DC mA.
3. Monta un circuito simple con una pila, una resistencia, un interruptor y el multímetro como se muestra en la figura.
4. Haz la lectura en el multímetro de la intensidad de la corriente que circula por el circuito.

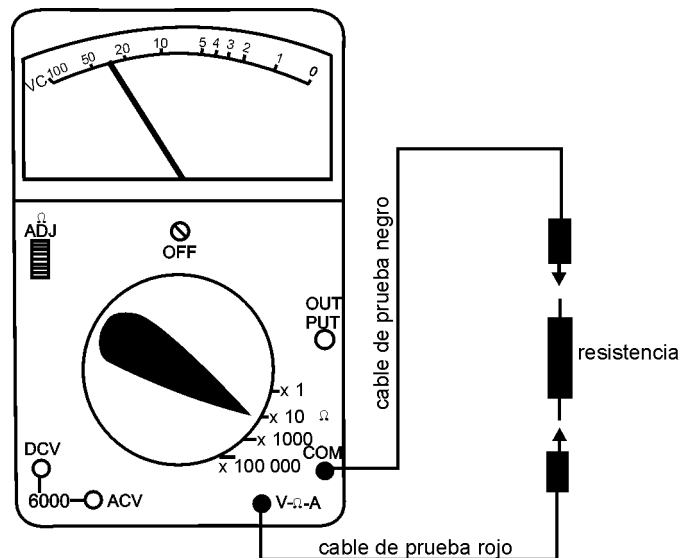


Nota: Observa en la figura que para medir corrientes la conexión del multímetro es en serie con el circuito.

* Tomado de Pérez Montiel, Héctor. *Física Experimental*. Publicaciones Cultural, México, 1992, págs. 22-24.

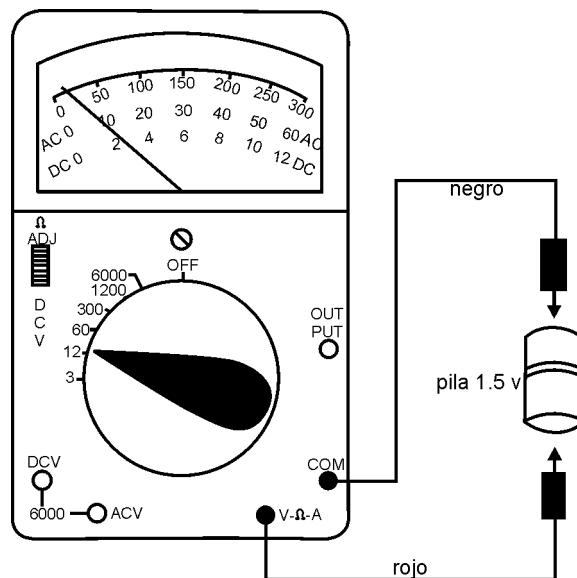
MEDICIÓN DE RESISTENCIAS

1. Inserta los extremos de los cables de prueba en las terminales V- Ω -A y COM del multímetro.
2. Adopta en corto las puntas de los cables de prueba, para ello une las dos puntas entre sí.
3. Ajusta la aguja indicadora a cero, moviendo la perilla que dice ADJ.
4. Coloca el selector en el rango deseado.
5. Coloca las puntas en los extremos de la resistencia que deseas medir.
6. Efectúa la lectura en ohms en la escala correspondiente y multiplica el valor de la lectura por el factor marcado en la posición en que se colocó el selector.
7. Mide varias resistencias, una por una, y con base en su valor haz conexiones de ellas en serie y en paralelo. Compara el valor medido en el multímetro con el valor calculado por ti, para ello aplica las fórmulas respectivas vistas en el fascículo.

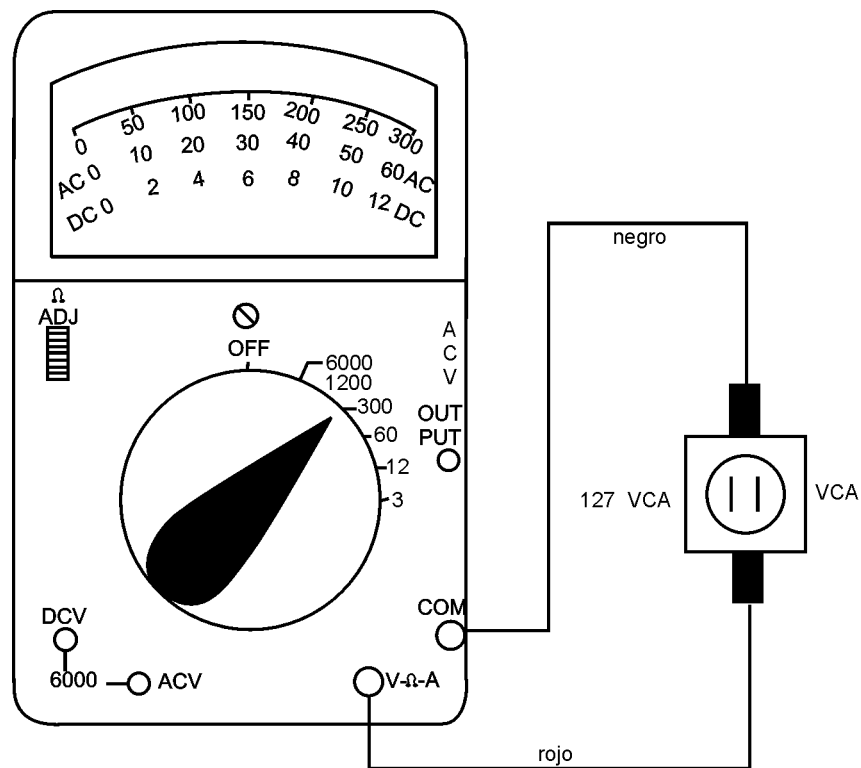


MEDICIÓN DE VOLTAJES EN CORRIENTE DIRECTA

1. Inserta los extremos de los cables de prueba en las terminales V- Ω -A y COM del multímetro.
2. Coloca el selector en el rango deseado para medir DCV.
3. Coloca las puntas de prueba en los polos de la pila a la cual le deseas medir el voltaje.
4. Conecta dos o tres pilas en serie y luego en paralelo, en cada caso determina el voltaje con el multímetro.



1. Inserta los extremos de los cables de prueba en las terminales V- Ω -A y COM del multímetro.
2. Coloca el selector en el rango deseado para medir ACV.
3. Coloca las puntas de prueba a una fuente de voltaje de corriente alterna (con las que cuente el laboratorio escolar) y haz la medición del voltaje.



BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

HEWITT, Paul G. Conceptos de Física. Limusa, México, 1992.

MOSQUEIRA, Salvador. Física General. Curso Completo. Patria, México, 1992.

PÉREZ Montiel, Héctor. Física Experimental. Publicaciones Cultural, México, 1992.

TIPPENS. Física. Conceptos y Aplicaciones. Mc. Graw - Hill, México, 1988.

VELASCO Oyarzábal, Félix. Lecciones de Física. Compañía Editorial Continental,
México, 1977.

WILSON J.D. Física con Aplicaciones. Interamericana, México, 1984.