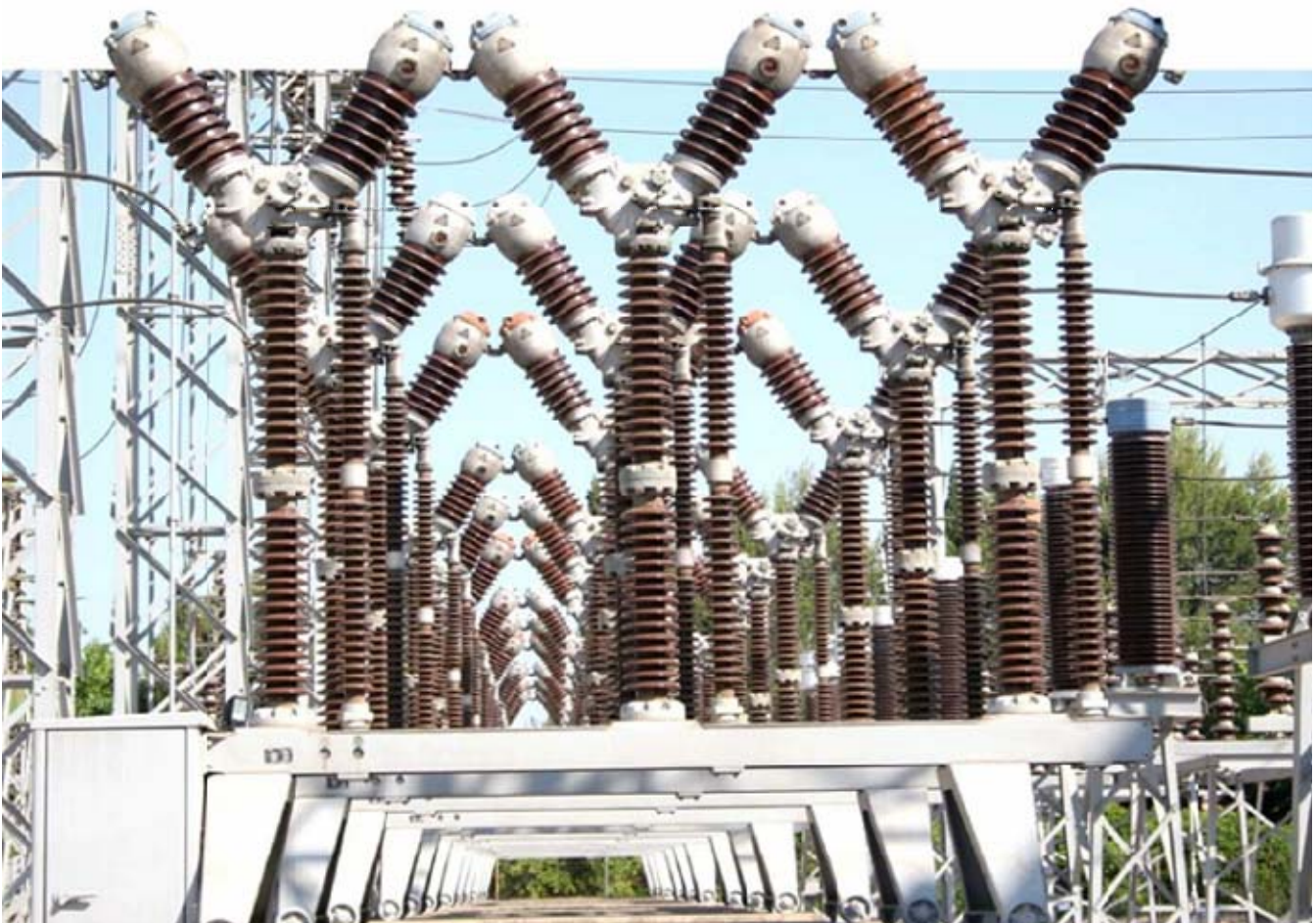


Manual de Contenido  
del Participante

# Electricidad Básica



TX-TEP-0002

ESPAÑOL

## Propósito y Objetivos de este Manual

Este manual tiene como propósito presentar los conceptos básicos de electricidad.

Los objetivos de este manual se orientan al cumplimiento de los siguientes puntos:



Reconocer los principios de electricidad estática.



Definir el concepto de magnetismo y su relación con la electricidad.



Identificar los conceptos de Diferencia de Potencial-Corriente, Ley de Ohm.



Interpretar la Ley de Joule.



Reconocer las Leyes de Kirchhoff.



Identificar los Principios de Electricidad Trifásica.

Es importante comprender las consecuencias que el desconocimiento de los conceptos y principios explicados en este manual puede ocasionar en el ambiente, seguridad y salud ocupacional y en la calidad del producto final.

# Cómo Utilizar este Manual

Este manual le muestra cuáles son aquellos conceptos y contenidos básicos relacionados a la electricidad.

En el manual Ud. puede encontrar explicación de conceptos, reflexiones y actividades que le ayuden a comprender los principales aspectos asociados a la electricidad.



---

CAPÍTULO 1 5  
Principios de Electricidad

---



CAPÍTULO 2 18  
Electricidad y Magnetismo

---



CAPÍTULO 3 31  
Circuitos Eléctricos

---



CAPÍTULO 4 42  
Control de Flujo de Corriente

---



CAPÍTULO 5 59  
Análisis de Circuitos

---



CAPÍTULO 6 64  
Corriente Alterna

---



CAPÍTULO 7 82  
Condensadores

---



CAPÍTULO 8 87  
Impedancia

---



CAPÍTULO 9 92  
Circuitos Trifásicos

---

El manual contiene pequeñas figuras que se repiten en todos los capítulos y que son una forma de organización de la información para hacer más fácil y dinámica la lectura. Estas figuras se denominan íconos.

A continuación hay una descripción de la utilización de cada ícono, es decir en qué oportunidad aparecen:



### GLOSARIO

Explica términos y siglas.



### RECUERDE

Refuerza un concepto ya mencionado en el texto del manual.



### ANEXO

Profundiza conceptos.



### MANTENIMIENTO

Resalta procedimientos necesarios de mantenimiento.



### PREGUNTAS

Presenta preguntas disparadoras.



### ATENCIÓN

Destaca conceptos importantes.



### EJEMPLO

Ilustra con situaciones reales los temas tratados.



### ACTIVIDAD

Señala el comienzo de un ejercicio que le permitirá reforzar lo aprendido.



### EXAMEN FINAL

Señala el comienzo de la evaluación final.



### FIN DE CAPÍTULO

Señala la finalización del capítulo.



### FIN DE MANUAL

Señala la finalización del manual.

# Principios de Electricidad

## TEMAS DEL CAPÍTULO 1

---

1.1 ¿Qué es la electricidad?	6
1.2 Tipos de Energía	10

La electricidad es la acción que producen los electrones al trasladarse de un punto a otro, o la falta o exceso de electrones en un material.



## 1.1 ¿Qué es la electricidad?

Es la forma de energía producto de la acción específica de electrones.

Electrones.

Todos los efectos de la electricidad pueden explicarse y predecirse presumiendo la existencia de una diminuta partícula denominada electrón. Aplicando esta teoría electrónica, los hombres de ciencia han hecho predicciones y descubrimientos que pocos años atrás parecían imposibles. La teoría electrónica no sólo constituye la base para el diseño de equipos eléctricos y electrónicos de todo tipo, sino que explica los fenómenos químicos y permite a los químicos predecir y formar nuevos compuestos, como las maravillosas drogas sintéticas.

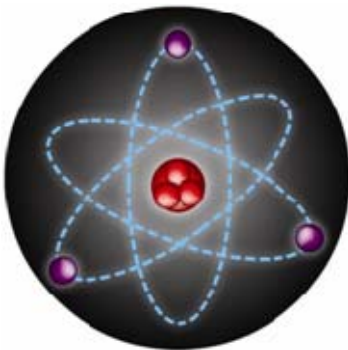
En vista de que la presunción de la existencia del electrón ha conducido a tantos importantes descubrimientos en el campo de la electricidad, la electrónica, la química y la física atómica, podemos suponer sin temor a equivocarnos que el electrón es una realidad. Todos los equipos eléctricos y electrónicos han sido diseñados en base a la teoría de los electrones.

¿Qué es la electricidad?

La electricidad es la acción que producen los electrones al trasladarse de un punto a otro, ya sea por su falta o exceso de los mismos en un material.

Pero ... ¿Cómo se desplaza el electrón en un material?

Para que los electrones puedan moverse es necesario que alguna forma de energía se convierta en electricidad. Se pueden emplear seis formas de energía, cada una de la cuales podría considerarse como fuente independiente de electricidad.

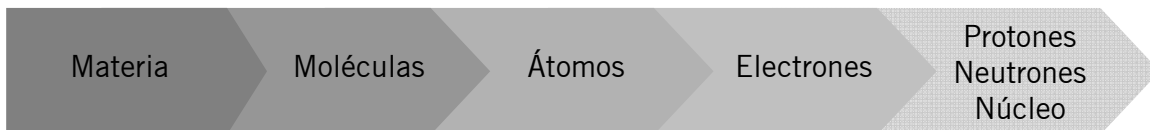


Para entender bien estos conceptos, debemos empezar por el principio: conociendo al electrón, al átomo y a la estructura atómica de la materia.



## Estructura de la materia.

La materia puede definirse como cualquier cuerpo que ocupa un lugar en el espacio y tiene peso. Por ejemplo la madera, el aire, el agua, etc. Toda materia está compuesta de moléculas formadas por combinaciones de átomos, los cuales son partículas muy pequeñas. Los principales elementos que forman al átomo son el electrón, el protón, el neutrón y el núcleo.



### Estructura de un átomo

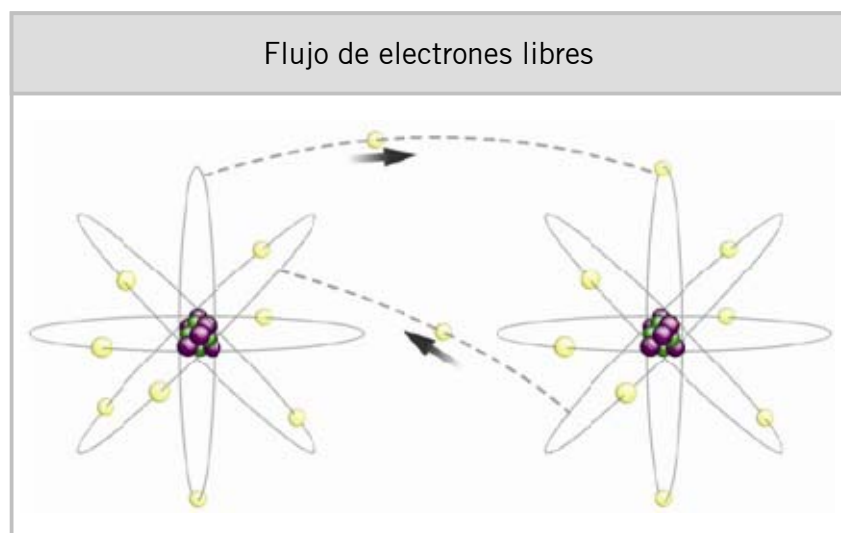
En el núcleo de un átomo hay:

- protones, que tienen una carga positiva (+);
- neutrones, que no poseen carga.

Los electrones, en cambio, se encuentran girando en órbitas alrededor del núcleo y tienen una carga negativa (-).

## ¿Cuál es el origen de la electricidad?

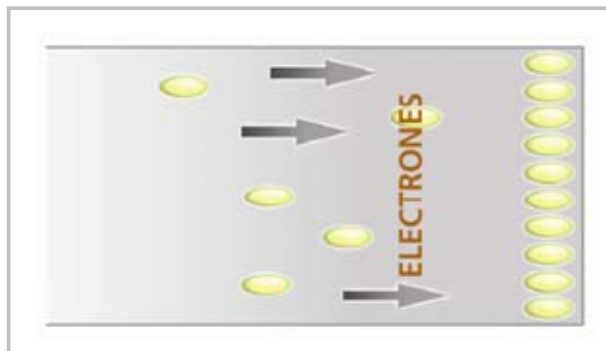
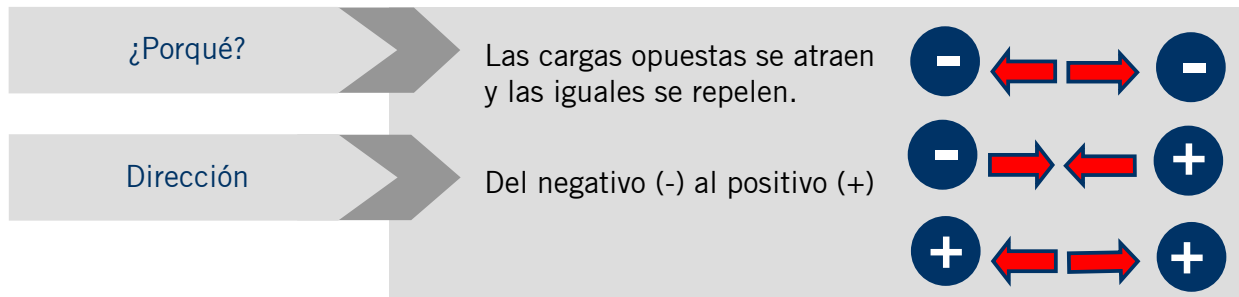
Los electrones giran alrededor del núcleo debido al equilibrio de dos fuerzas: la fuerza propia del electrón que lo mantiene siempre en movimiento y la fuerza de atracción que ejerce el núcleo sobre el electrón. Los electrones que se encuentran en la órbita más lejana del núcleo pueden salirse de sus órbitas, aplicándoles alguna fuerza externa como un campo magnético o una reacción química. A este tipo de electrones se les conoce como electrones libres.



El movimiento de electrones libres de un átomo a otro origina lo que se conoce como corriente de electrones, o lo que también se denomina corriente eléctrica. Ésta es la base de la electricidad.

## Electricidad Estática y Dinámica.

Los electrones son negativos y se ven atraídos por cargas positivas. Siempre habrá atracción desde una fuente en donde haya exceso de electrones hacia una fuente que tenga deficiencia de electrones, la cual tiene una carga positiva. Para que un material pueda estar eléctricamente cargado, debe tener más electrones que protones, o viceversa.



#### ELECTRICIDAD ESTÁTICA/CARGA ELÉCTRICA

Cuando los electrones viajan por un cuerpo y llegan al borde del mismo, se genera electricidad. Esta electricidad se manifestó sólo por acción de presencia, por lo tanto es llamada electricidad estática o carga eléctrica.



#### ELECTRICIDAD DINÁMICA/CORRIENTE ELÉCTRICA

Cuando los electrones fluyen por un cuerpo desde un extremo hacia el otro, se genera la electricidad dinámica o corriente eléctrica.

Con la electricidad estática podemos tener descargas, pero con la electricidad dinámica obtenemos efectos diferentes, como por ejemplo: luz, calor, fuerza motriz, etc.

El movimiento disperso de los electrones libres de un átomo a otro es normalmente igual en todas direcciones, de manera que ninguna parte del material en particular gana ni pierde electrones. Cuando la mayor parte del movimiento de los electrones se produce en la misma dirección, de manera que parte del material pierde electrones mientras que la otra parte los gana, el movimiento neto o flujo se denomina flujo de corriente.

#### RECUERDE

Siempre habrá atracción desde una fuente en donde haya exceso de electrones hacia una fuente que tenga deficiencia de electrones, la cual tiene una carga positiva.

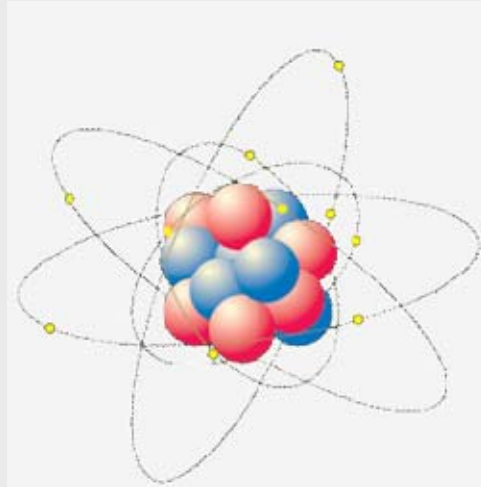


**ACTIVIDAD 1.**

Se han introducido los conceptos básicos de electricidad.



En base a la imagen, conteste las siguientes preguntas.

**1**

Indique en la figura el núcleo del átomo.

**2**

¿Cómo está conformado el núcleo del átomo?

**3**

¿Cuántos electrones hay en el átomo de la figura?

**4**

¿Cuántas órbitas se pueden distinguir en la figura?

**5**

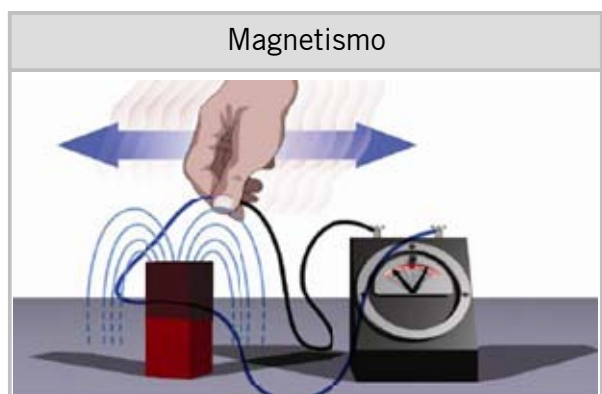
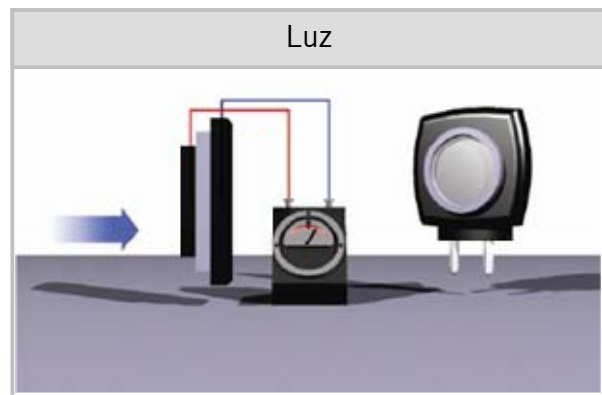
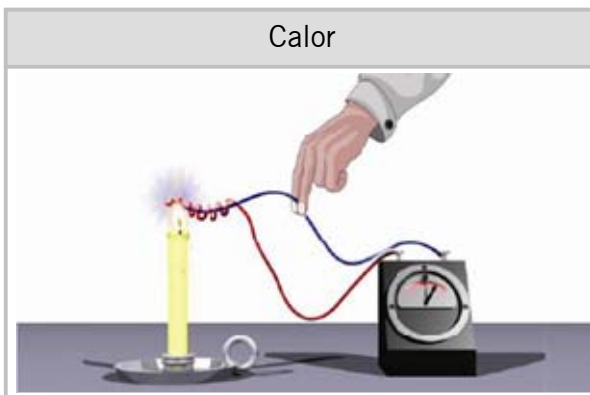
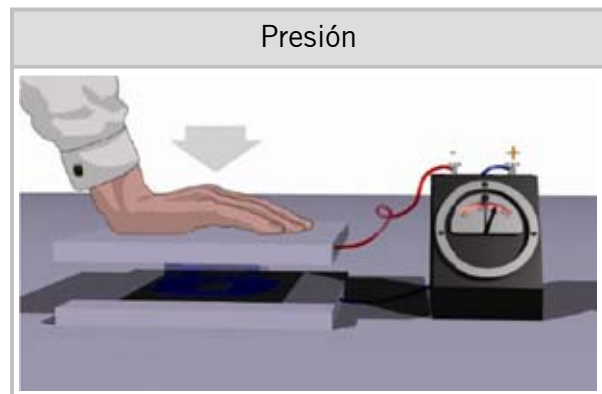
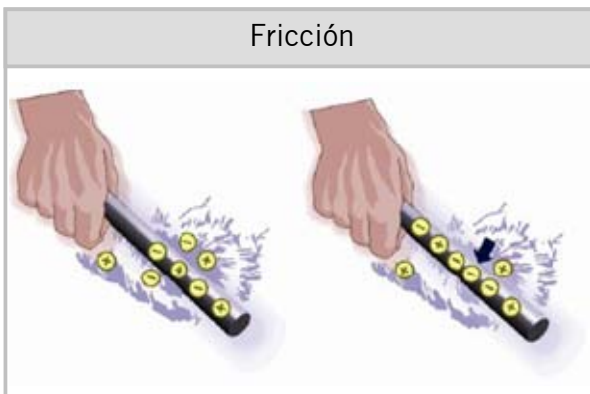
¿Un átomo aislado puede ser generador de corriente eléctrica?

**6**

¿Qué debe circular para que se produzca corriente eléctrica?

## 1.2 Tipos de Energía

Para producir electricidad se debe utilizar alguna forma de energía que ponga en movimiento a los electrones. Se pueden emplear seis formas de energía:



## Fricción.

Se produce al frotar 2 materiales. Uno de los objetos gana electrones y el otro los pierde.

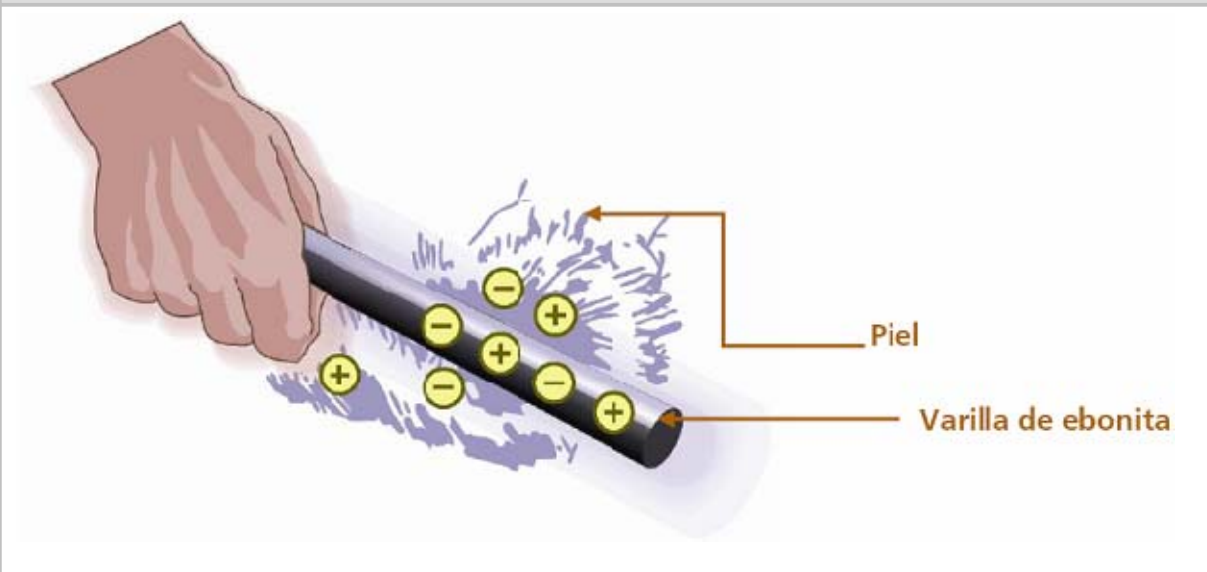
El sistema completo no gana ni pierde electrones.

Si los objetos que se friccionan son muy conductores, esas cargas se neutralizan rápidamente.

Si por el contrario son poco conductores, ambos objetos quedan con carga eléctrica.

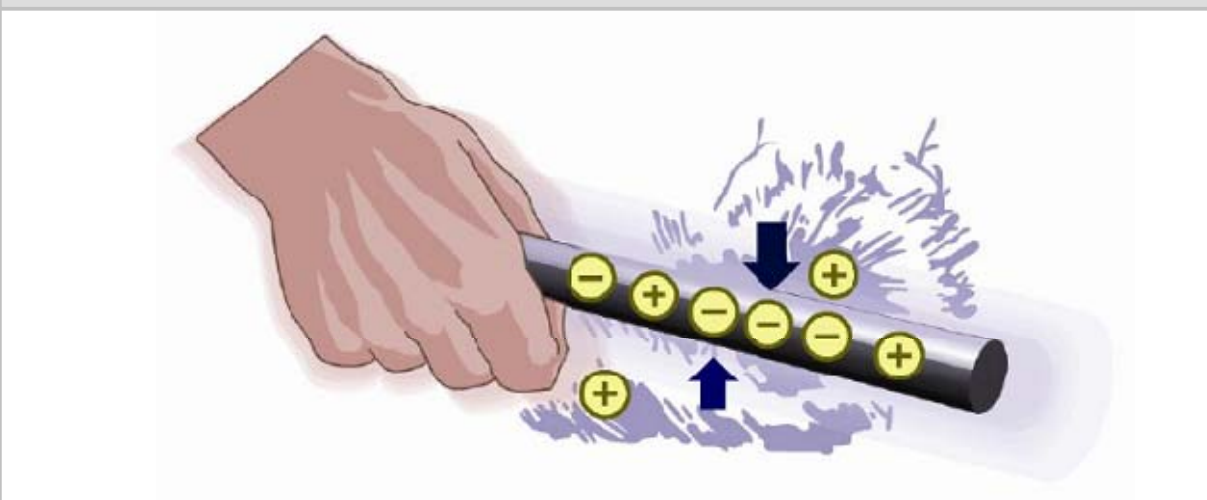
1

Las cargas y los electrones están presentes en cantidades iguales en la varilla y en la piel.



2

Los electrones pasan de la piel a la varilla



Fricción	Presión	Calor	Luz	Acción química	Magnetismo

**Ley de Coulomb** - expresa que dos cargas puntuales se atraen o se repelen con una fuerza directamente proporcional al producto de las cargas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa.

$$F=K(q_1 \times q_2)/r^2$$

**Campo eléctrico** - cualquier carga eléctrica ejerce en el espacio que la rodea, fuerzas de atracción o repulsión sobre otras cargas, tal y como la hemos visto anteriormente, estas fuerzas varían según la Ley de Coulomb.

**Ley de Gauss** - el flujo eléctrico a través de una superficie cerrada es igual a la carga neta situada en el interior, dividida por la constante dieléctrica del medio.

Esta expresión es una de las expresiones fundamentales de la electrostática, proporcionando métodos para el cálculo del campo creado por cuerpos cargados.

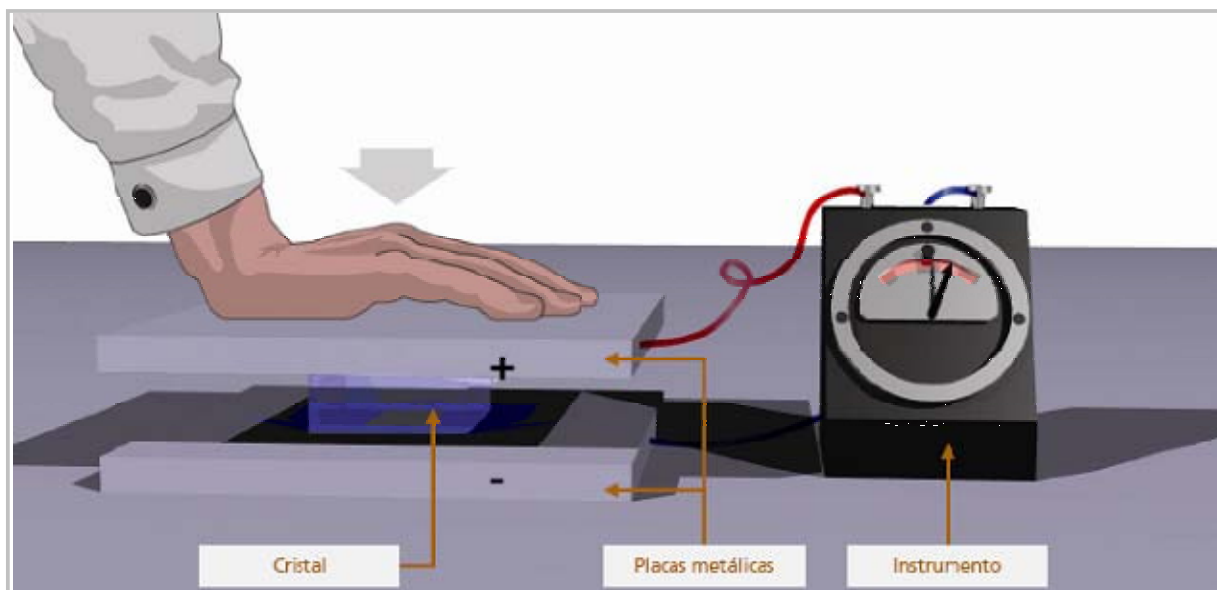
### Presión (piezoelectricidad)







Se produce sometiendo a presión mecánica cristales llamados piezoeléctricos.

El uso más habitual es el de los encendedores electrónicos que, al recibir un golpe, generan una corriente eléctrica de alto voltaje que crea la chispa para el encendido. Este fenómeno también se presenta a la inversa, esto es, se deforman bajo la acción de fuerzas internas al ser sometidos a un campo eléctrico. El efecto piezoeléctrico es normalmente reversible: al dejar de someter los cristales a un voltaje exterior o campo eléctrico, recuperan su forma.

Otros usos industriales incluyen sensores de vibración y transductores.

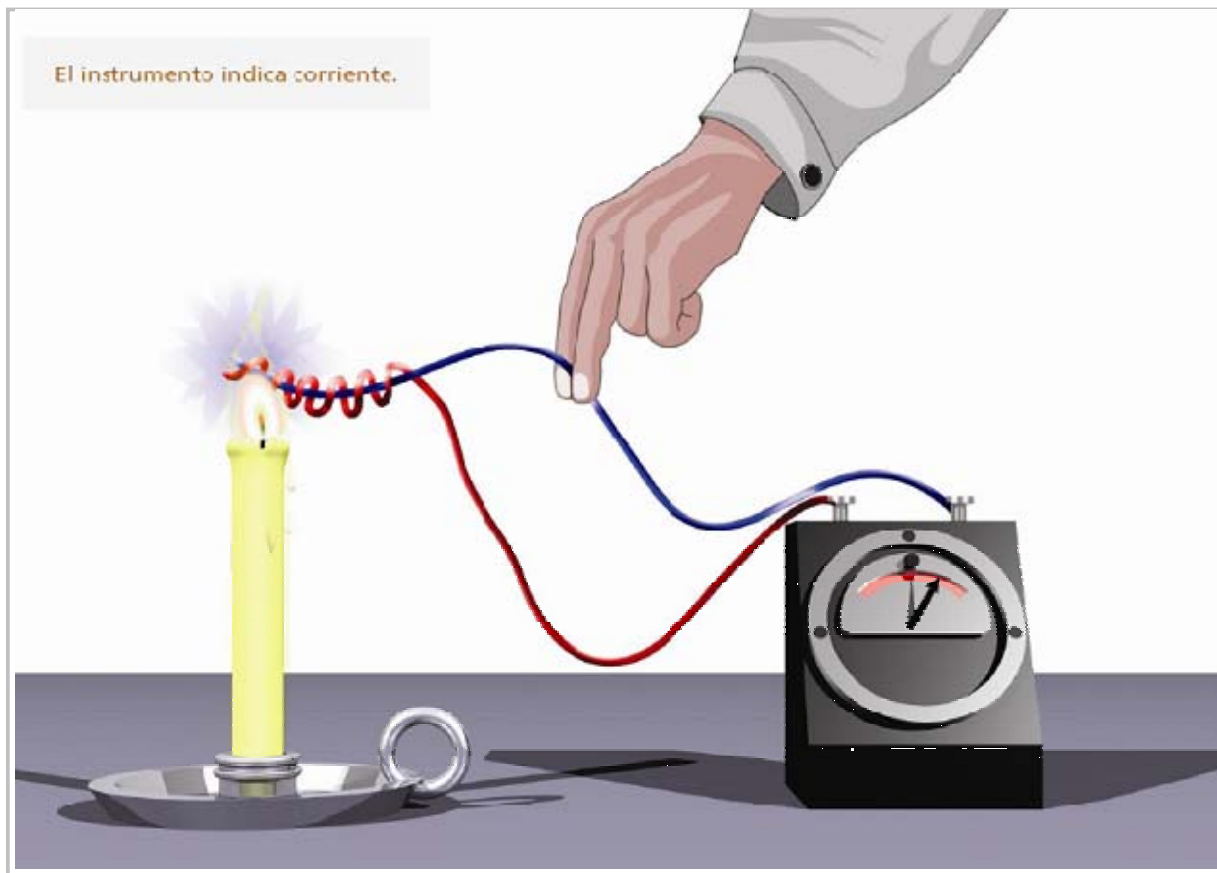
Los cristales de uso más corriente son el cuarzo y el rubidio.



Fricción	Presión	Calor	Luz	Acción química	Magnetismo
					

## Calor (termoelectricidad)


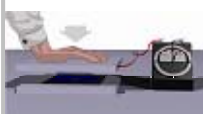

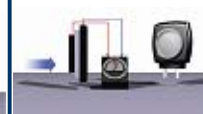


Se produce al calentar una unión de 2 metales disímiles.



## EJEMPLO

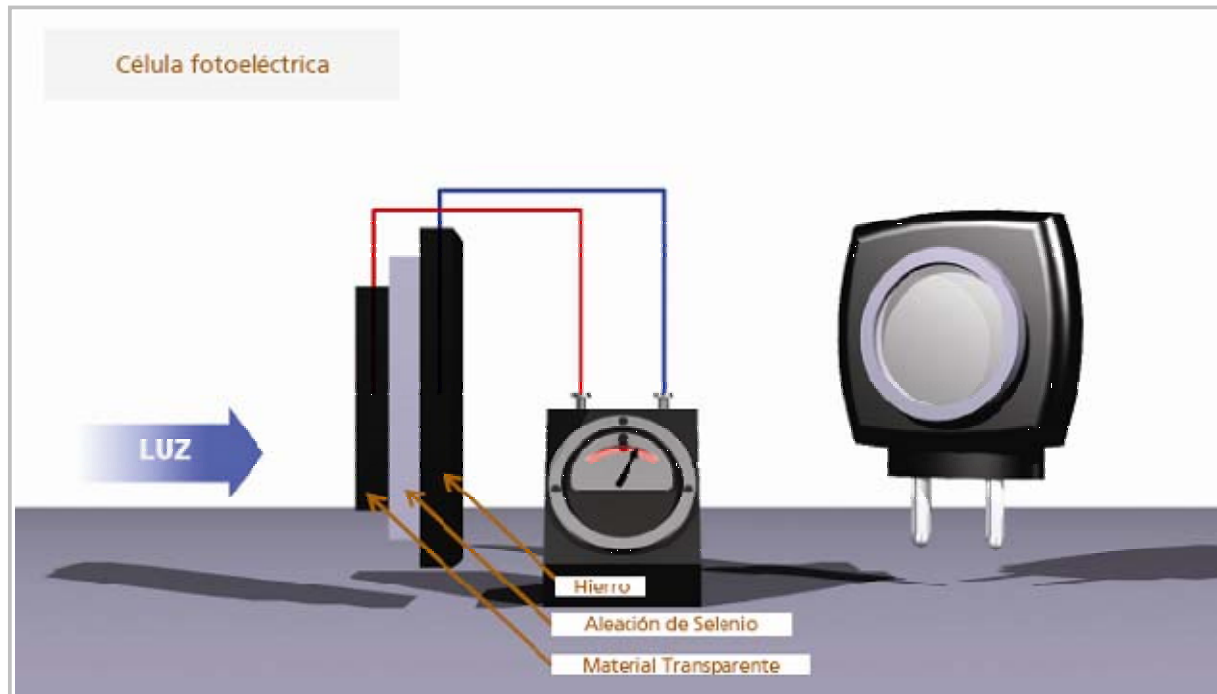
Las termocuplas se utilizan como medidas de seguridad, por ejemplo estufas o calefones. Cuando reciben calor provocan electricidad, y cuando dejan de recibir, hacen cerrar el circuito para evitar pérdidas de gas.



Fricción	Presión	Calor	Luz	Acción química	Magnetismo
					

## Luz (fotoelectricidad)

Se produce por la incidencia de luz en sustancias fotosensibles (sensibles a la luz).



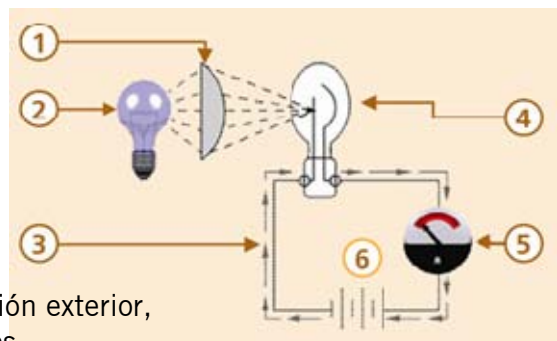
## ATENCIÓN

La célula fotoeléctrica depende de una batería o de alguna otra fuente de electricidad en su función de determinar variaciones de luz.


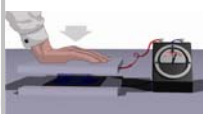

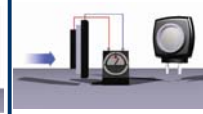


## EJEMPLO

Célula fotoeléctrica. Al incidir la luz en el material.

- 1) Lente
- 2) Fuente luminosa
- 3) Movimiento de electrones
- 4) Célula fotoeléctrica
- 5) Instrumento
- 6) Batería de pilas



Aplicaciones: encendidos automáticos de iluminación exterior, barrera de cierre de puerta de ascensores y portones.

Fricción	Presión	Calor	Luz	Acción química	Magnetismo
					



## Acción química

Se produce por una reacción química.

En las pilas primarias pueden emplearse casi todos los metales, ácidos y sales.

Muchos tipos de pilas primarias se usan en laboratorios y con fines especiales, pero la que habrá utilizado Ud. y que utilizará con mayor frecuencia es la pila seca. Utilizará pilas secas de distintos tamaños, formas y pesos, desde la pila de la linterna tipo lápiz hasta la pila extra grande de las linternas de emergencia. Cualquiera sea su tamaño, siempre encontrará que el material empleado y el funcionamiento de toda pila son los mismos.

Si pudiese mirar en el interior de una pila seca, encontraría que consiste en un recipiente de cinc que hace las veces de placa negativa, una varilla de carbón suspendida en el centro del recipiente como placa positiva, y una solución de cloruro de amonio en pasta como electrolito. En el fondo del recipiente de cinc vería un círculo de carbón alquitranado para impedir que la varilla de cinc toque el recipiente. En la parte superior el recipiente contendrá capas de aserrín, arena y resina. Estas capas sirven para mantener a la varilla de carbón en su lugar e impedir la filtración del electrolito. Cuando la pila seca suministra electricidad, el recipiente de cinc y el electrolito se van gastando gradualmente. Una vez desaparecidos el cinc útil y el electrolito, la pila ya no puede dar más carga y debe cambiarse por otra. Las pilas de este tipo son herméticas y se pueden almacenar por cierto tiempo sin que se deterioren. Cuando se conectan varias de estas pilas, se las llama batería seca. Como no se puede utilizar pilas secas para suministrar grandes cantidades de corriente, usted las encontrará solamente donde se les da un uso infrecuente o de emergencia.



Fricción	Presión	Calor	Luz	Acción química	Magnetismo

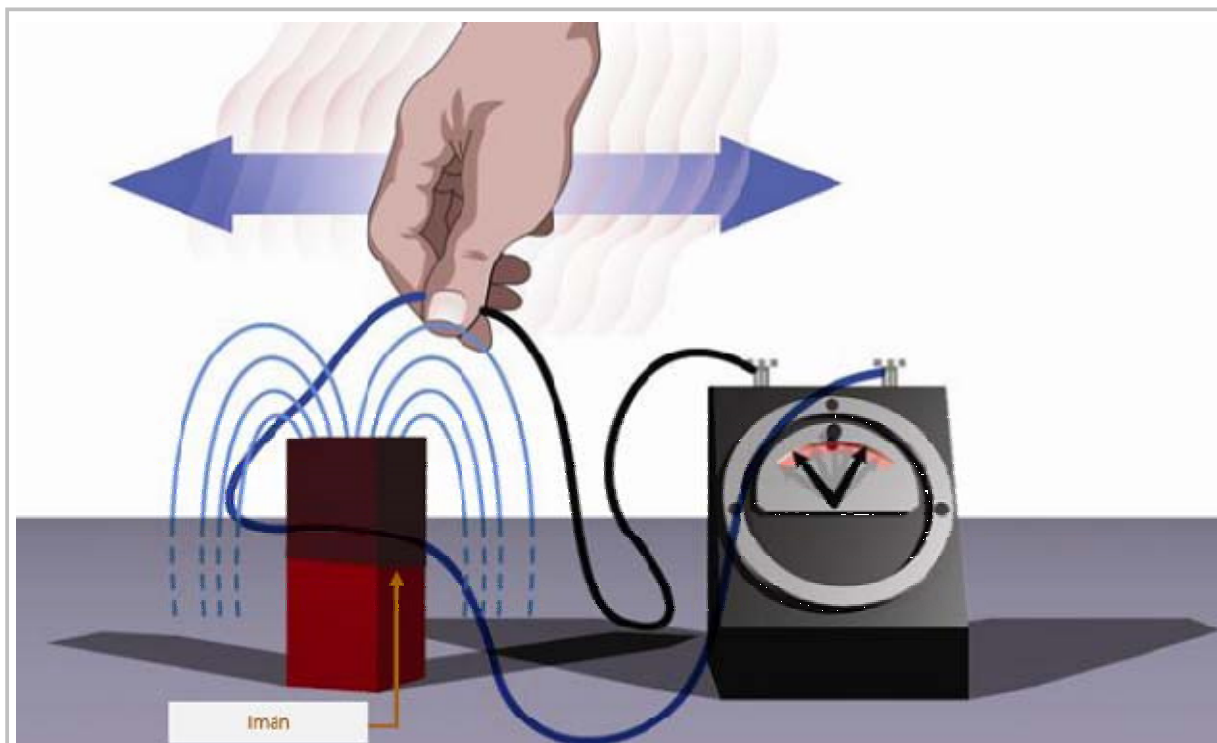
## Magnetismo


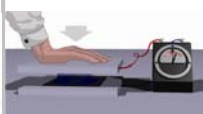

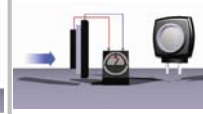


El magnetismo se produce en un conductor cuando éste se mueve a través de un campo magnético o un campo magnético se mueve a través del conductor, de tal manera que el conductor corte las líneas de campo magnético.

El método más común para producir la electricidad que se utiliza como corriente eléctrica es el que emplea el magnetismo. La fuente de electricidad tiene que ser capaz de mantener una carga grande debido a que la misma se emplea para suministrar corriente eléctrica. Si bien el frotamiento, la presión, el calor y la luz son fuentes de electricidad, su uso se limita a aplicaciones menores.

Toda la corriente eléctrica que se utiliza, excepto para equipos de emergencia y portátiles, tiene su origen en una dinamo o alternador instalado en una planta eléctrica. No importa como sea accionada, sea por fuerza hidráulica, una turbina de vapor o un motor de combustión interna; la corriente eléctrica que produce es el resultado de la acción de los alambres conductores y los imanes que están dentro de ella.

Cuando los alambres se desplazan junto a un imán o el imán se desplaza junto a los alambres, se produce electricidad en éstos debido al magnetismo existente en el material magnético.



Fricción	Presión	Calor	Luz	Acción química	Magnetismo
					

**ACTIVIDAD 2.**

A partir de todo lo visto por favor resuelva la siguiente actividad.



Una con flechas determinando el tipo de electricidad de acuerdo a su origen.

Presionar un material cristal de cuarzo	➤	Acción química
Una persona camina sobre una alfombra de nylon	➤	Termoelectricidad
Combinar dos componentes	➤	Piezoelectricidad
Acercar un imán a una bobina	➤	Magnetismo
Electricidad generada por un panel solar	➤	Fricción
Calentar una termocupla	➤	Fotoelectricidad

**¡Felicitaciones!**

Usted ha finalizado el capítulo 1.

A continuación se desarrollará el capítulo Electricidad y Magnetismo.



# Electricidad y Magnetismo

## TEMAS DEL CAPÍTULO 2

---

2.1 ¿Qué es el magnetismo?	19
2.2 Generación de Electricidad	20
2.3 Campos Electromagnéticos	22
2.4 Ley de Oersted-Ampere	23
2.5 Ley de Inducción de Faraday	28

El magnetismo es el método más común para producir la electricidad que se utiliza como corriente eléctrica.



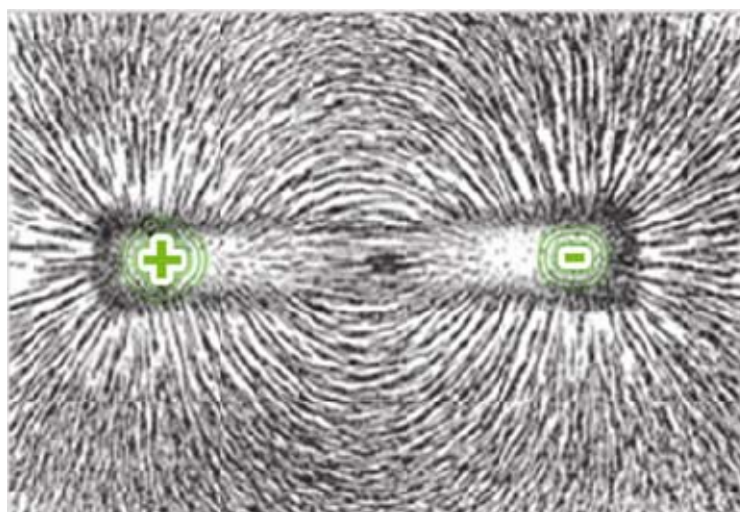
## 2.1 ¿Qué es el magnetismo?

Se explica el fenómeno por el que los materiales ejercen fuerzas de atracción o repulsión a otros materiales.

### Magnetismo

En tiempos antiguos los griegos descubrieron cierta clase de piedra, cerca de la ciudad de Magnesia en Asia Menor, que tenía la propiedad de atraer y recoger trozos de hierro. La piedra que descubrieron era en realidad un tipo de material llamado “magnetita”, cuya propiedad de atracción se denominó “magnetismo”. Las rocas que contienen este poder de atracción se denominan imanes naturales.

Los imanes naturales tuvieron poco uso hasta que se descubrió que, si se los dejaba girar libremente, se orientaban siempre hacia el Norte. Los chinos los sujetaban de un cordel y los llamaron “piedras guías” y los marinos los hacían flotar en un cubo con agua. Al acercar un imán natural a un trozo de hierro, se descubrió que éste adquiría magnetismo luego de estar en contacto. Los imanes artificiales también pueden hacerse mediante electricidad.



Líneas del campo magnético

### ATENCIÓN

Los mejores imanes son los de aleaciones de acero que contienen cobalto y níquel por lo que se los considera imanes fuertes.



## 2.2

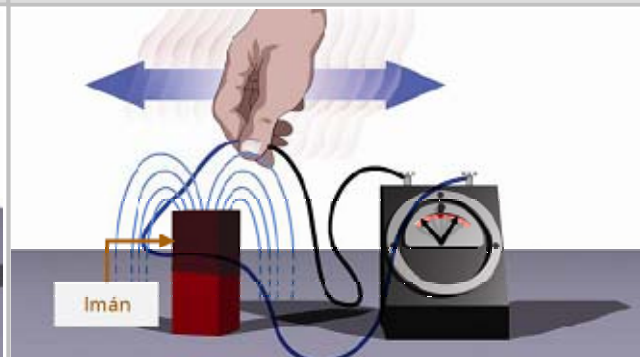
## Generación de Electricidad

Los principios de generación de electricidad, son los mismos que se aplican en gran escala para alimentar a las ciudades y grandes industrias.

**1** Moviendo un imán junto a un conductor



**2** Moviendo un conductor hacia adelante y hacia atrás junto a un imán



**1** Moviendo un imán junto a un conductor

Uno de los métodos por los cuales el magnetismo produce electricidad, es mediante el movimiento de un imán frente a un conductor estacionario. Si se conecta un instrumento de medición muy sensible en los extremos de un conductor fijo y se hace pasar entonces un imán cerca del conductor, la aguja del instrumento se desviará. Esta desviación indica que se ha producido electricidad en el conductor. Repitiendo el movimiento y observando atentamente el instrumento, verá que la aguja sólo se desplaza cuando el imán pasa cerca del conductor.

Colocando el imán cerca del conductor y dejándolo en reposo, no observará ninguna desviación en el instrumento. Sin embargo, si se cambia de posición del imán, la aguja indicadora se desvía. Esto muestra que el imán y el conductor no son capaces de producir electricidad por sí solos. Para que la aguja se desvíe es necesario que el imán se mueva junto al conductor.

El movimiento es necesario porque el campo magnético que rodea al imán solo produce corriente eléctrica en el conductor cuando el campo magnético se desplaza transversalmente al conductor. Cuando el imán y su campo están estacionarios, el campo no se desplaza a través del conductor y no producirá movimiento de electrones.

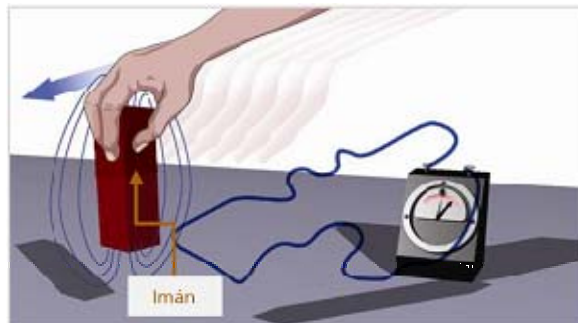


## 2

## Moviendo un conductor hacia adelante y hacia atrás junto a un imán

Hemos visto que al mover un imán cerca de un conductor, la electricidad sólo se producía mientras el imán y su campo se movían junto al conductor. Si se mueve el conductor junto a un imán en reposo, también se observará una desviación en la aguja del instrumento. Esta desviación sólo se producirá mientras el conductor se esté moviendo a través del campo magnético.

Para emplear el magnetismo con el fin de producir electricidad, usted puede mover un campo magnético a través de un conductor o mover éste a través de un campo magnético.



Sin embargo, para obtener una fuente continua de electricidad tendrá que mantener un movimiento permanente en el conductor o en el campo magnético.

Para que el movimiento sea permanente habrá que desplazar continuamente hacia delante y hacia atrás al conductor o al campo magnético. Una manera más práctica es hacer que el conductor viaje en forma circular a través del campo magnético.

Este método de producir electricidad, donde el conductor viaja circularmente junto a los imanes constituye el principio de la dínamo eléctrica y es la fuente de la mayor parte de la electricidad que se usa como corriente eléctrica.

## ACTIVIDAD 3.



Usted debe generar electricidad. Tiene un imán, un conductor y un amperímetro. ¿En qué situaciones el amperímetro marcará el paso de corriente?

1

Hay un imán en reposo y el conductor lo rodea en toda su extensión.

Sí No 

2

El conductor está dispuesto de manera que forma un aro suspendido. El imán se mueve hacia adelante y atrás atravesando el aro.

Sí No 

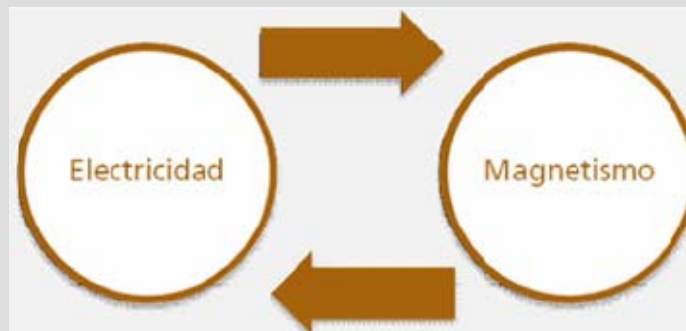
3

El imán y el conductor se mueven juntos en la misma dirección con la misma velocidad.

Sí No

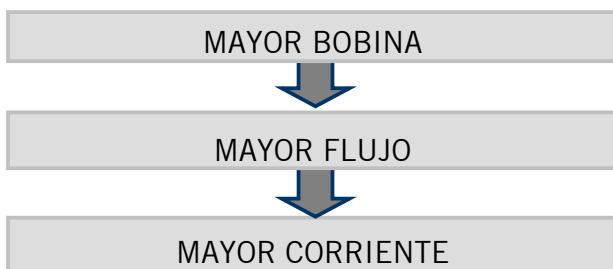
## 2.3 Campos Electromagnéticos

Así como el magnetismo produce electricidad, con electricidad se puede producir un campo magnético.



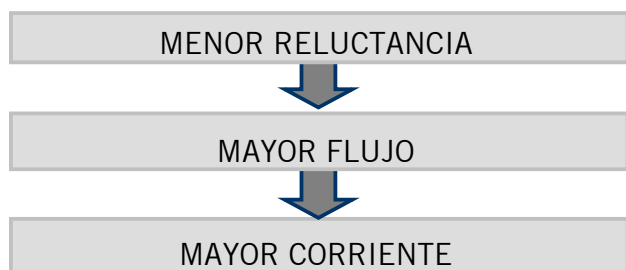
El campo electromagnético es un campo magnético producido por el paso de corriente en un conductor. Siempre que hay flujo de corriente, existe un campo magnético en torno al conductor, y la dirección de este campo depende del sentido de la corriente eléctrica. El sentido del campo magnético es contrario al de las agujas del reloj.

Si se desea aumentar la potencia del campo magnético de la espira, puede arrollar el alambre varias veces, formando una bobina. Entonces los campos individuales de cada vuelta estarán en serie, formando un fuerte campo magnético dentro y fuera de la bobina. En los espacios comprendidos entre las espiras, las líneas de fuerza están en oposición y se anulan las unas a las otras. La bobina actúa como una barra imantada poderosa, cuyo polo norte es el extremo desde el cual salen las líneas de fuerza.



Agregando más vueltas a una bobina transportadora de corriente se aumenta el número de líneas de fuerza, haciendo que actúe como imán más fuerte. El aumento de la corriente también refuerza el campo magnético, de manera que los electroimanes potentes tienen bobinas de muchas vueltas y transportan toda la corriente que permite el alambre.

Para comparar bobinas que tengan el mismo núcleo o núcleos similares se utiliza una unidad que se denomina amper-vuelta. Esta unidad es el producto de la intensidad de corriente en amperes por el número de vueltas de alambre.



Para aumentar todavía más la densidad de flujo, se inserta en la bobina un núcleo de hierro. La densidad de flujo aumenta considerablemente porque el núcleo de hierro ofrece mucha menos reluctancia (oposición) a las líneas de fuerza que el aire.

# 2.4 Ley de Oersted-Ampere

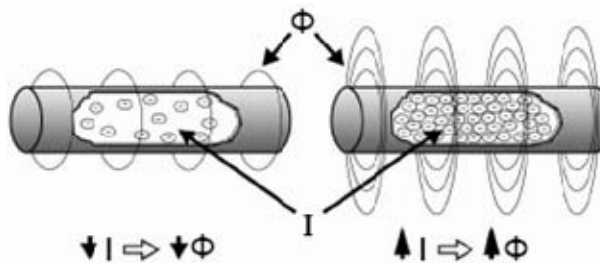
Establece la relación entre la corriente eléctrica y la generación de un campo magnético.

La ley de Oersted-Ampere establece que un conductor que lleva una corriente eléctrica produce un campo magnético alrededor de él, como se muestra en la figura. De esta forma se relaciona una cualidad eléctrica (corriente) con una magnética (campo magnético).



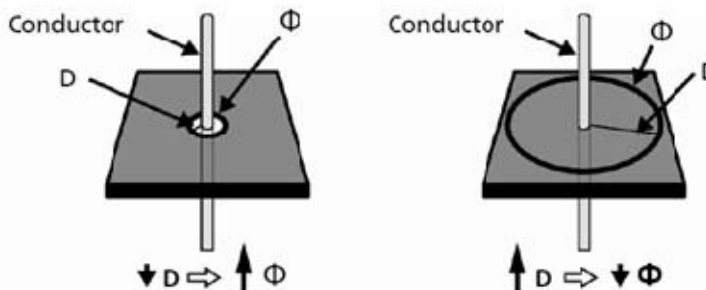
Conductor que lleva una corriente eléctrica y genera un campo magnético.

La intensidad o fuerza del campo magnético ( $\Phi$ ) varía en forma directamente proporcional con la magnitud de la corriente. Esto es, a mayor corriente eléctrica ( $I$ ), mayor intensidad del campo magnético ( $\Phi$ ).



Relación corriente-intensidad de flujo magnético

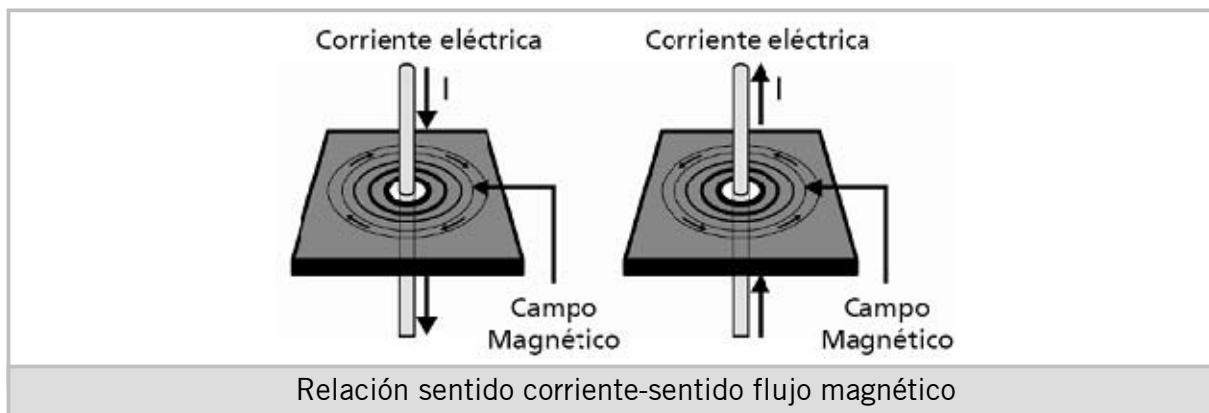
Además, la intensidad del campo magnético varía inversamente con la distancia ( $D$ ), como indica la figura debajo. Esto significa que a mayor distancia del conductor al campo magnético, la intensidad del campo es menor.



Relación distancia-intensidad de flujo magnético

## Polaridad

El sentido del campo magnético depende del sentido de la corriente ( $I$ ). Si se invierte el sentido de la corriente se invierte la polaridad del campo, como muestra la figura.



## Sentido del Campo Magnético

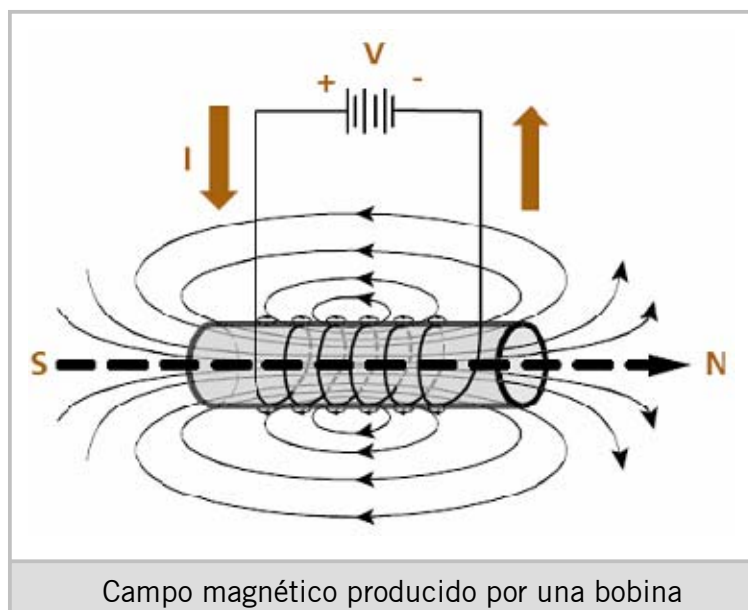
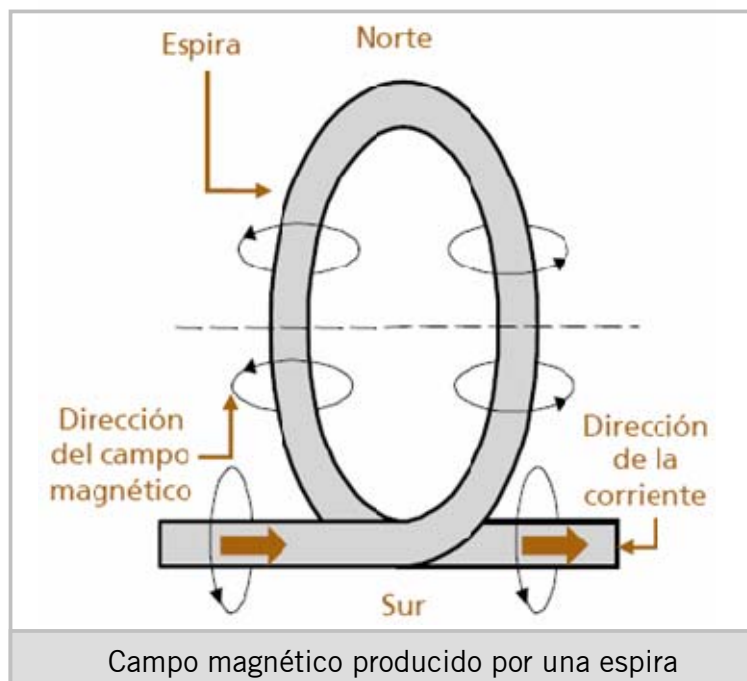
La “Regla de la Mano Derecha” permite determinar el sentido del campo magnético. Ésta establece que al colocar el dedo pulgar en la dirección de la corriente eléctrica, el sentido en que se enrollan los demás dedos indicará el sentido del campo magnético.



## Campo Magnético en una Espira y en una Bobina

Los conductores forman bobinas al agruparlos en forma de espiras. Así, un caso de particular interés es el campo magnético que se produce al circular corriente a través de una espira.

Primeramente, partamos de una espira como la que se muestra en la figura de la izquierda. Si se le aplica una corriente que circule del extremo inferior al superior, se producirá un campo magnético cuyo sentido estará definido por la regla de la mano derecha. Así, en la espira se producirá un campo magnético con un polo norte (N) y uno sur (S).



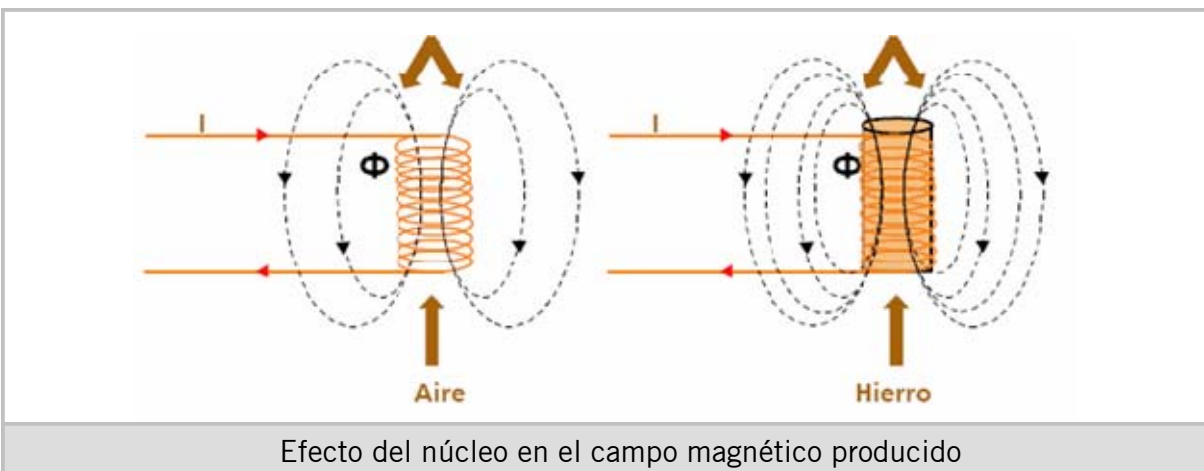
Una bobina está formada por el agrupamiento de varias espiras. Así, el campo magnético de una bobina será igual a la suma de los campos magnéticos que produce cada una de las espiras. Al estar todas las espiras conectadas en serie, a través de cada una de ellas estará fluyendo la misma corriente, por lo tanto, la intensidad del campo que produce la bobina será la suma del campo magnético producido por cada espira.

## Reluctancia Magnética

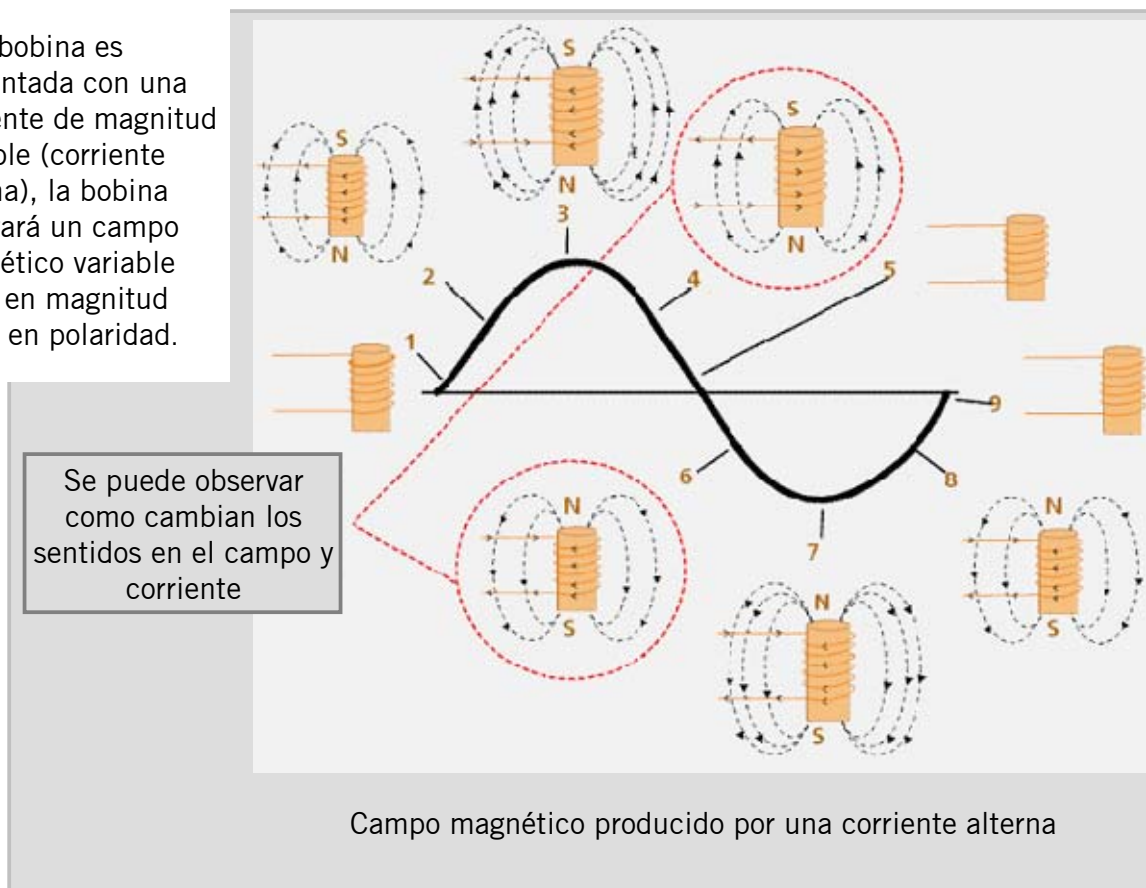
La oposición al flujo magnético que presenta un material, se denomina reluctancia. Mientras menor sea la reluctancia que presente el material, mayor será el flujo magnético que se genere.

En la figura siguiente se muestra la comparación del campo magnético producido por una bobina con núcleo de aire y el campo magnético producido por una bobina de núcleo de hierro (considere que ambas tienen el mismo número de espiras y circula la misma cantidad de corriente).

En el caso del núcleo de hierro se tiene una mayor intensidad de campo magnético debido a que el hierro presenta una menor oposición a las líneas de flujo magnético que el aire.



Si la bobina es alimentada con una corriente de magnitud variable (corriente alterna), la bobina generará un campo magnético variable tanto en magnitud como en polaridad.





**ACTIVIDAD 4.**

Por favor conteste las siguientes preguntas:

**1**

¿Qué establece la ley de Oersted-Ampere?

**2**

La “Regla de la Mano Derecha” permite determinar el sentido de la corriente eléctrica. ¿Está de acuerdo con este enunciado? ¿Porqué?

**3**

¿A qué llamamos reluctancia magnética?

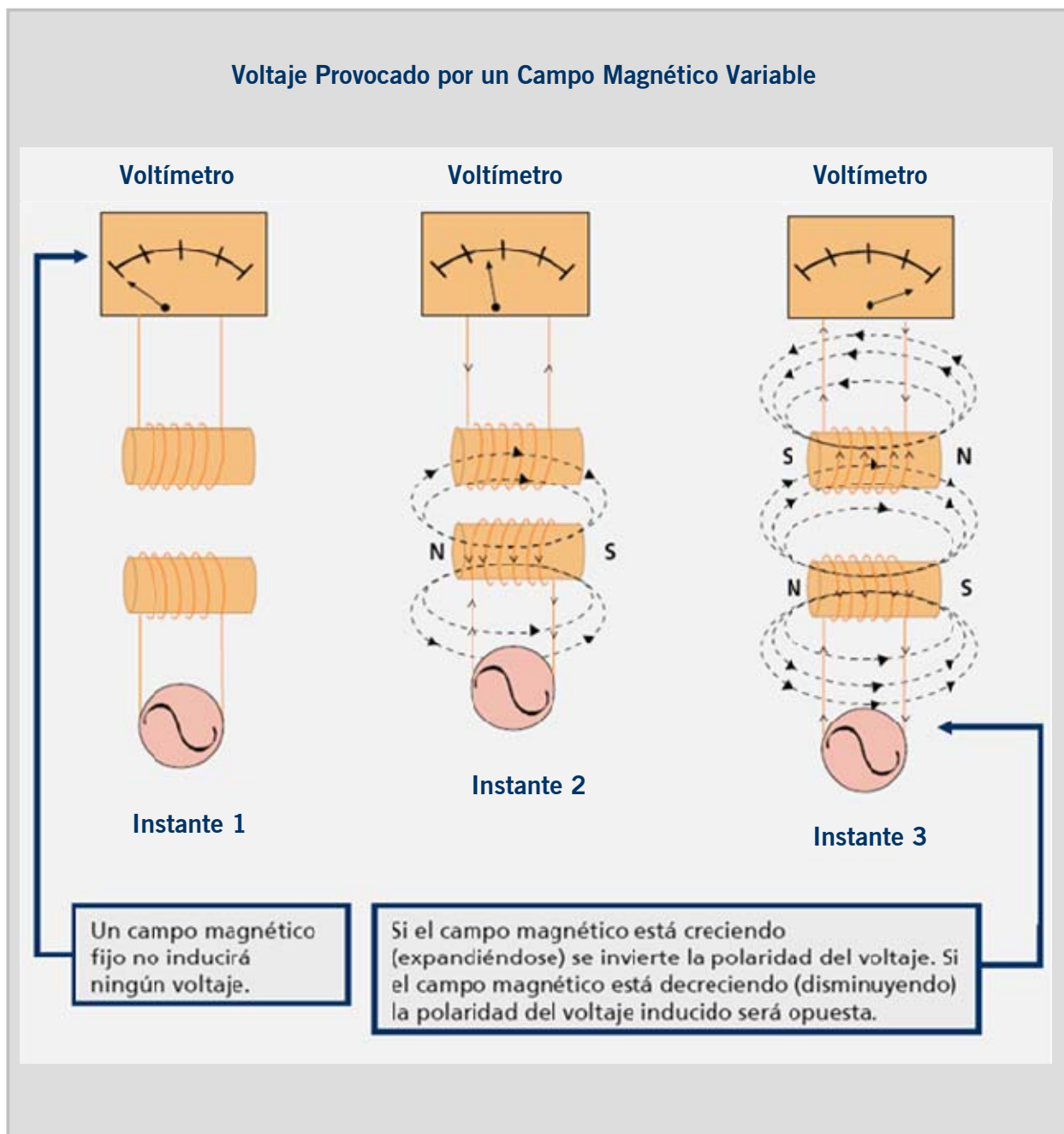
## 2.5

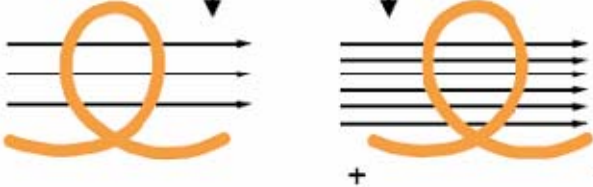
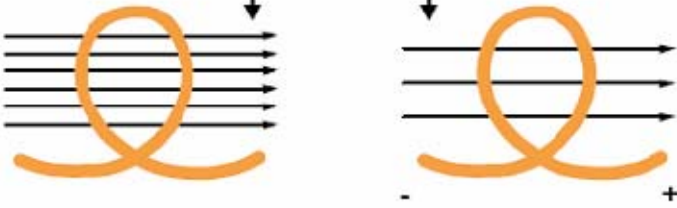
## Ley de Inducción de Faraday

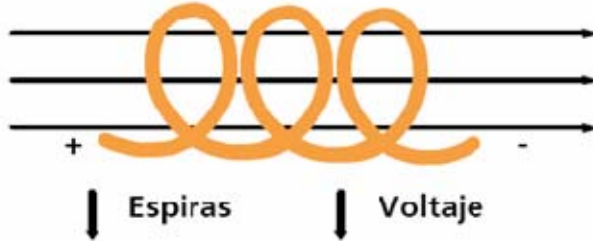
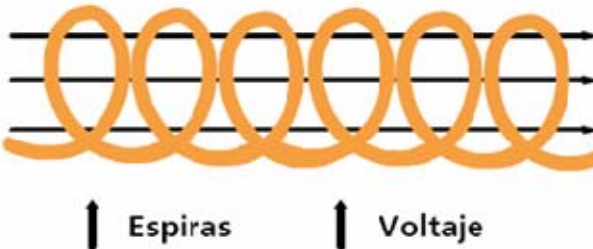
Principios físicos muy utilizados que permiten entender los fenómenos relacionados con la electricidad y la operación de las máquinas eléctricas.

La ley de la inducción electromagnética de Faraday dice que si se tiene un conductor en un campo magnético variable, éste produce un voltaje.

El voltaje provocado, no dependerá de la magnitud del campo magnético, sino de la razón con que cambia. Así, una rápida variación de flujo magnético producirá un voltaje inducido alto.



<p><b>Campo magnético creciendo</b></p>  <p><b>Campo magnético decreciendo</b></p> 	<p>También se inducirá un voltaje si en lugar de un conductor se tiene una espira en el campo magnético variable.</p>
	<p>Ante variaciones del campo magnético, se inducirá un voltaje.</p>

	<p>Si se tienen varias espiras conectadas en serie (una bobina) dentro de un campo magnético variable, el voltaje inducido en la bobina será la suma de los voltajes inducidos en cada espira. Así, a mayor número de espiras, el voltaje inducido será mayor.</p>
	<p>A mayor cantidad de espiras, mayor voltaje</p>

**ACTIVIDAD 5.**

Se han repasado los conceptos básicos de electricidad y magnetismo.



Por favor indique si las siguientes afirmaciones son verdades o falsas.

1 Existen imanes naturales con cargas positivas y otros con cargas negativas. Verdadero

Falso

2 Usted tiene un imán en reposo y un conductor de electricidad. Si mueve el conductor cerca del imán, se genera electricidad. Verdadero

Falso

3 Si bien a partir de un campo magnético se puede generar electricidad, no es posible crear un campo magnético a partir de la electricidad. Verdadero

Falso

4 Si se desea aumentar la intensidad de un campo magnético, se recomienda trabajar con un núcleo de aire. Verdadero

Falso

5 Si la corriente eléctrica es mayor, mayor será la intensidad del campo magnético. Verdadero

Falso

6 En una espira ubicada verticalmente, si el sentido del campo magnético es contrario a las agujas del reloj, entonces la dirección de la corriente es de abajo hacia arriba. Verdadero

Falso

7 Si hay un conductor en un campo magnético variable, se produce un voltaje cuyo valor no dependerá de la magnitud del campo magnético. Verdadero

Falso

**¡Felicitaciones!**

Usted ha finalizado el capítulo 2.

A continuación se desarrollará el capítulo Circuitos Eléctricos.



# Circuitos Eléctricos

## TEMAS DEL CAPÍTULO 3

---

3.1 Voltaje (Diferencia de Potencial)	32
3.2 Corriente (Densidad de Corriente)	37

Los instrumentos de medición del voltaje y la corriente son Herramientas básicas para quién trabaja con aparatos eléctricos y electrónicos.

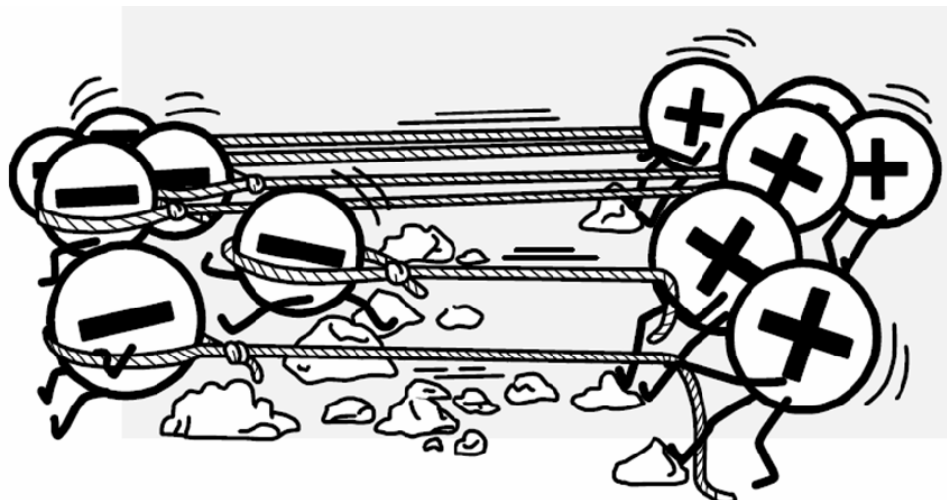


## 3.1 Voltaje (Diferencia de Potencial)

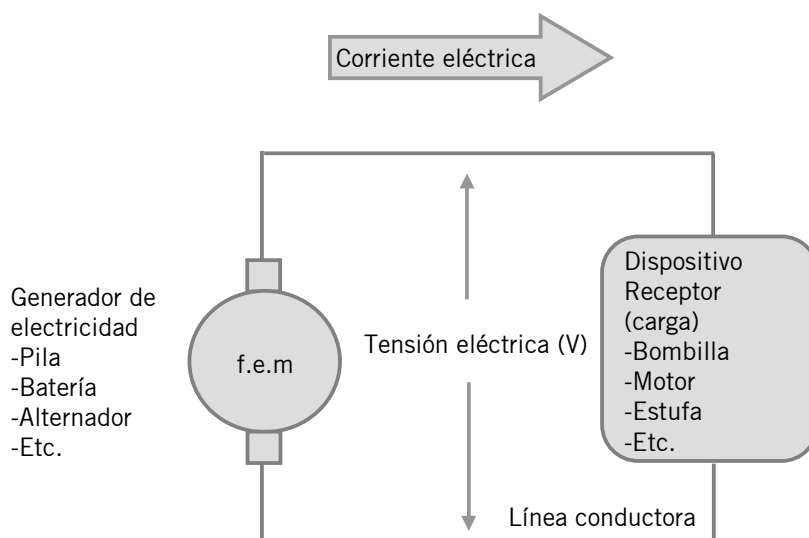
Para que exista una corriente eléctrica se requiere de algo que fuerce a que los electrones circulen ordenadamente; una fuerza de origen eléctrica, denominada fuerza electromotriz (f.e.m), cuya unidad es el volt (V). Esta fuerza es la que proporcionan los generadores de electricidad como las pilas, baterías, alternadores, etc. En los generadores de electricidad, como consecuencia de algún tipo de proceso, se produce en su interior lo que se llama una f.e.m la cual se puede definir de la siguiente manera:

### Fuerza electromotriz

Es la fuerza que obliga a los electrones a moverse (dentro del generador), y que tiene por efecto producir una tensión eléctrica.



La tensión eléctrica, que se expresa en volts, es la fuerza que hace que los electrones se muevan ordenadamente en una cierta dirección a través de las líneas conductoras (circuito), o sea, lo que hace que aparezca una corriente eléctrica. Este principio se ilustra en la figura





Un generador de electricidad suministra una tensión eléctrica (volts) que hace que circule una corriente eléctrica a través del receptor (carga) para desarrollar un cierto trabajo (luz, calor, fuerza mecánica, etc.). Las líneas conductoras son el medio de transporte de la energía eléctrica, del generador a la carga.

Mientras más carga tenga el material, mayor será su potencial para producir un flujo de electrones.

+ TENSIÓN  $\Rightarrow$  +

FLUJO DE ELECTRONES

Visto de una forma más técnica, aparecen otros términos relacionados que se denominan potencial eléctrico y diferencia de potencial.

### Potencial eléctrico

Se define por potencial eléctrico en un punto al trabajo necesario para trasladar la unidad de carga eléctrica positiva desde el infinito hasta dicho punto. Es un trabajo por unidad de carga, que se mide en volts (V).

La unidad volt resulta ser pues el trabajo de un Joule (J) sobre la carga de un Coulomb (C);

#### EJEMPLO

Se tiene el potencial de un volt si se realiza el trabajo de un Joule para trasladar la carga de un Coulomb:  $1 \text{ V} = 1 \text{ J} / 1 \text{ C}$ .



### Diferencia de potencial

Se define por diferencia de potencial entre dos puntos al trabajo necesario para que la unidad de carga se traslade de un punto a otro. La diferencia de potencial también se mide en volts.

#### EJEMPLO

Se tiene un volt si realiza el trabajo de un Joule para que la carga de un Coulomb se mueva de un punto a otro.

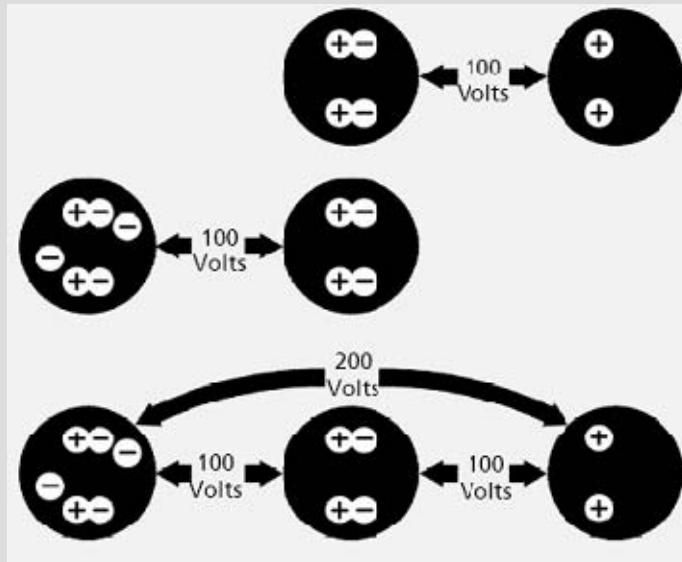


En resumen, los términos de fuerza electromotriz, tensión, potencial y diferencia de potencial se expresan mediante la unidad volt, y a menudo son denominados como voltaje cuyo símbolo es la letra V o E, aunque también se representa como una U. Por ejemplo, respecto a una pila de 9 V se puede decir que la pila proporciona una tensión de 9 V, que entre sus terminales [positivo (+) y negativo (-)] aparece la diferencia de potencial de 9 V, o simplemente que genera un voltaje de 9 V.

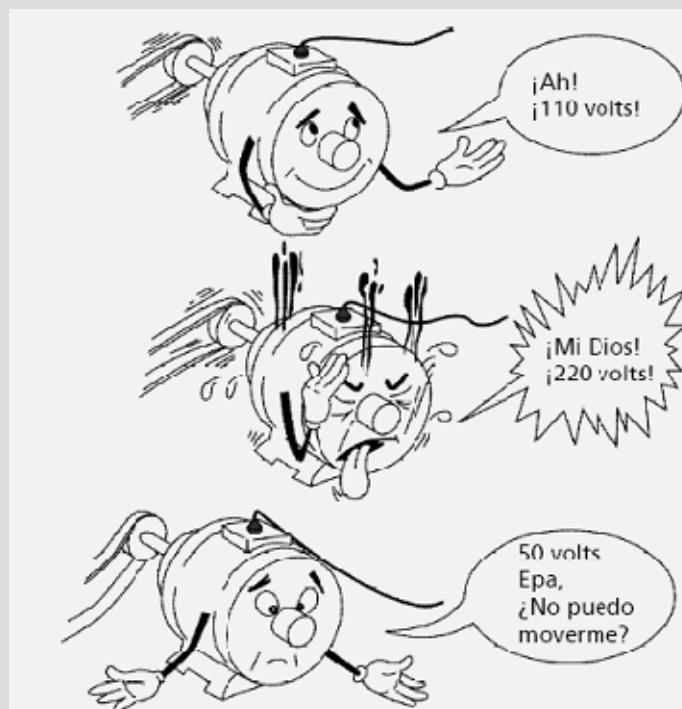
PREFIJO	SÍMBOLO	DECIMAL
1 kilovolt	1 kV	1000 V
1 milivolt	1 mV	$(1/1000)=$ 0.001 V
1 microvolt	1 $\mu$ V	$(1/1,000,000)=$ 0.000001 V

Prefijos más usados cuando se trata con múltiplos y submúltiplos del voltaje

Voltaje es diferencia de potencial



Utilice el voltaje adecuado



### EJEMPLO

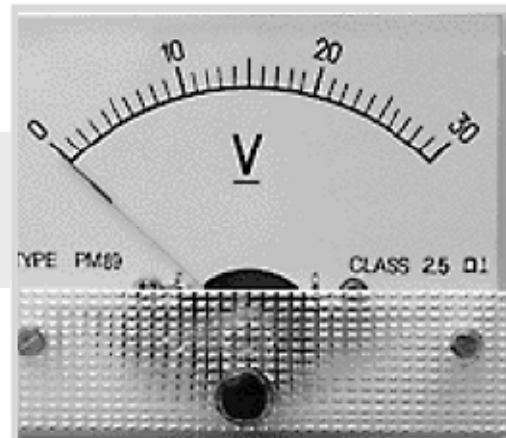


Clavo grande requiere martillo grande. Mayor flujo de corriente exige mas voltaje.



## Medición del Voltaje

El instrumento para medir la diferencia de potencial entre dos puntos de un circuito eléctrico se denomina Voltímetro.



### Principio de funcionamiento

Como hemos visto, el flujo de corriente siempre se produce cuando la mayor parte del movimiento de electrones se realiza en una dirección. Además, este movimiento se hace desde una carga (-) a una carga positiva (+), y sólo se produce cuando existe diferencia de carga. Para crear la carga es necesario mover a los electrones, ya sea para causar un exceso o una falta de los mismos en el lugar donde debe existir la carga.

Las cargas se pueden obtener con cualquiera de las fuentes de electricidad que se han visto anteriormente. Esas fuentes suministran la energía necesaria para realizar el trabajo que significa mover los electrones para formar una carga. No importa la clase de energía empleada para crear la carga, dicha energía se convierte en energía eléctrica una vez producida la carga. La cantidad de energía eléctrica que posee la carga es idéntica a la cantidad de energía que la fuente tuvo que desarrollar para crear dicha carga.

Cuando la corriente circula, la energía eléctrica de las cargas se utiliza para mover electrones desde cargas menos positivas a cargas más positivas. Esta energía eléctrica se denomina fuerza electromotriz (f.e.m) y es la fuerza motriz que da lugar al flujo de corriente.

Toda carga eléctrica, sea positiva o negativa, representa una reserva de energía. Esta reserva de energía es energía potencial mientras no se la utilice. La energía potencial de una carga es igual a la cantidad de trabajo que se ha realizado para crear la carga; la unidad que se emplea para medir este trabajo es el volt. La fuerza electromotriz de una carga es igual al potencial de la carga y se expresa en volts.

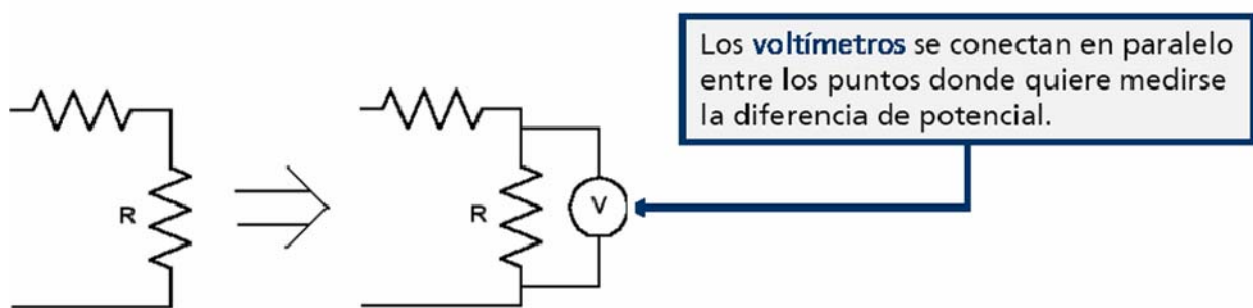
Cuando existen dos cargas diferentes, la fuerza electromotriz entre las cargas es igual a la diferencia de potencial entre ambas cargas y se expresa en volts. La diferencia de potencial entre dos cargas es la fuerza electromotriz que actúa entre ambas, a lo cual comúnmente se denomina voltaje.

### ¿Cómo se mide el voltaje?

Las magnitudes básicas a medir en un circuito son la intensidad de corriente y el voltaje. La medida de la intensidad de corriente eléctrica se efectúa con aparatos denominados amperímetros.

La medida de diferencias de potencial o voltajes se efectúa con voltímetros.

Si quiere medirse el voltaje en los extremos de una resistencia, se ha de intercalar un voltímetro como se muestra en la figura



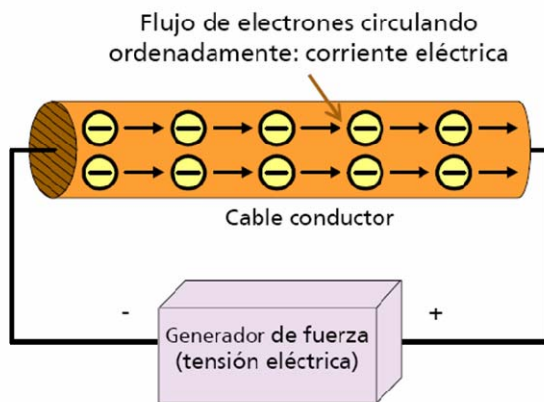
### ATENCIÓN

Para que un amperímetro no altere el circuito en que se intercala ha de tener una resistencia interna muy baja, idealmente cero. Al contrario, para que un voltímetro no perturbe la medida debe tener una resistencia interna muy elevada, idealmente infinita. En ocasiones, cuando se dispone sólo de un voltímetro como aparato de medida, para medir corrientes puede intercalarse una pequeña resistencia ( $r$ ) en la rama correspondiente y medir el voltaje ( $V$ ) que cae en ella. La corriente resultante es:  $I = V/r$ .

## 3.2 Corriente (Densidad de Corriente)

La corriente se puede definir como un flujo ordenado de electrones, es decir, los electrones en movimiento constituyen una corriente eléctrica, los cuales, al aplicarles un voltaje como por ejemplo de una batería, es posible forzar a los electrones fuera de su trayectoria circular y ocasionar que pasen de un átomo a otro.

La corriente que pasa por un alambre tiene una dirección y una magnitud. El símbolo de la corriente eléctrica es la letra  $I$  y la unidad de corriente es el amper ( $A$ ). El amper corresponde a una carga que se mueve con una rapidez de  $1\text{ C/s}$  ( un Coulomb por segundo ) esto quiere decir que un amper se define como el flujo de  $6.28 \times 10^{18}$  electrones que pasan por un punto fijo de un conductor en un segundo, esta cantidad de  $6.28 \times 10^{18}$  electrones es el equivalente a un Coulomb.



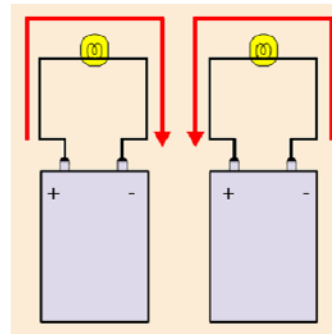
Hay 2 maneras de representar la dirección de la corriente eléctrica:

**Sentido real** – físicamente, el sentido de la corriente eléctrica va de negativo (-) a positivo (+); o sea, el flujo de electrones parte del polo negativo del generador y se dirige, a través de las líneas de conducción, hacia el polo positivo del generador.

**Sentido convencional** - va al revés del sentido real; o sea, de positivo (+) a negativo (-). Esto es así porque en los principios del descubrimiento de la electricidad, se creía que éste era el sentido real de la corriente. Posteriores descubrimientos demostraron que los electrones (cargas negativas) son realmente los que se mueven y su tendencia es ir hacia cargas de distinto signo (positivas).

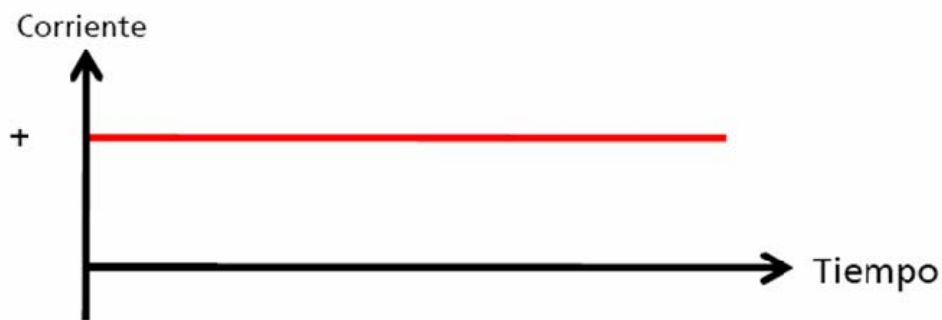
### PARA PENSAR...

De acuerdo a lo visto, ¿en cuál de los circuitos la flecha roja indica el sentido real de la corriente y en cuál el sentido convencional?



## ATENCIÓN

En la práctica, por lo general, el sentido de la corriente que se considera es el convencional (de + a -) aunque, en realidad, no tiene mayor importancia la dirección que se elija, siempre y cuando se tenga presente para solucionar cualquier problema particular.

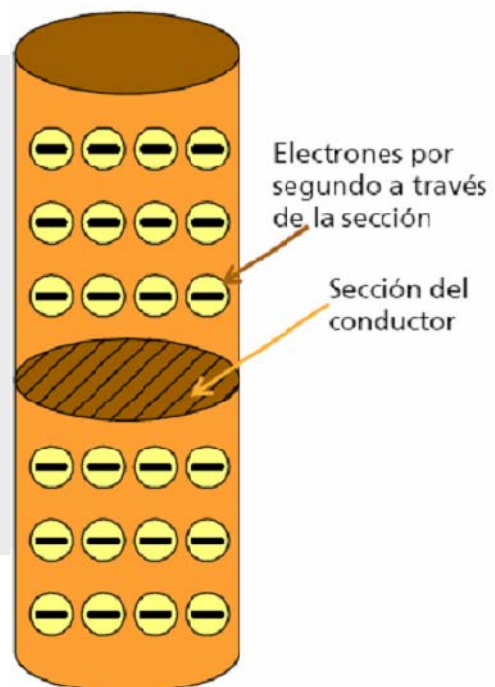


### Intensidad de la corriente

No sólo es importante saber si circula corriente y en qué sentido lo hace, sino también qué tan intenso es el movimiento de los electrones.

Imaginemos un conductor cortado según una sección y contemos los electrones que salen por segundo de esa sección. Llamaremos intensidad de la corriente a la cantidad de electrones por segundo que pasan por una sección del conductor y se mide en amperes.

Sentido del flujo de electrones



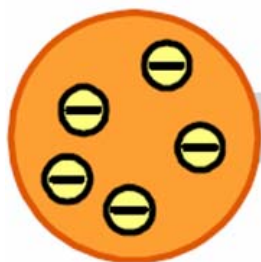
PREFIJO	SÍMBOLO	DECIMAL
1 kiloamper	1 kA	1000 A
1 miliamper	1 mA	(1/1000)= 0.001 A
1 microamper	1 $\mu$ A	(1/1,000,000)= 0.000001 A

Prefijos más usados cuando se trata con múltiplos y submúltiplos de la intensidad de corriente

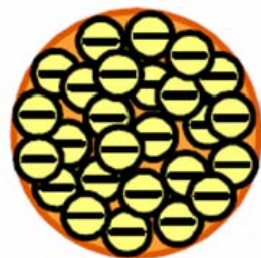


## Densidad de la Corriente

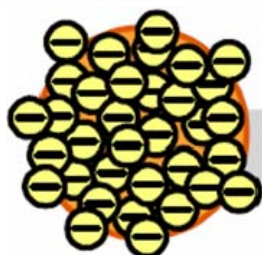
La densidad de corriente se define como la corriente máxima admisible por cada unidad de sección de un conductor. Para entender mejor esta definición, imaginemos la sección de un conductor eléctrico atravesada por la circulación de la corriente eléctrica en donde se presentan diferentes casos:



Los electrones se desplazan en libertad por el conductor. La sección es excesiva para la corriente, ésta es "poco densa" con respecto a la sección del conductor.



Los electrones ocupan toda el área de la sección del conductor. Esto quiere decir que la sección alcanza exactamente para la circulación de electrones. A este valor de corriente, que puede circular indefinidamente, se denomina intensidad máxima admisible para la sección considerada.



Los electrones necesitan una sección mayor que la del conductor, para que todos puedan circular indefinidamente. Esto quiere decir que la sección del conductor es insuficiente para la corriente, lo cual implica que el conductor no soporta ese valor de corriente indefinidamente por lo que en poco tiempo se funde.

### ¿Cómo se mide la corriente eléctrica?

El caudal o intensidad de corriente está dado por el número de electrones que pasa por un material en un período de tiempo dado.

Siendo el Coulomb la medida que indica la cantidad de electrones, contando la cantidad de Coulombs que pasan en un período de tiempo dado se mide el caudal o intensidad de la corriente. La unidad de intensidad de corriente es el amper. La intensidad o caudal es de un amper cuando un Coulomb de electrones pasa por el material en un segundo, de dos amperes cuando pasan dos Coulombs por segundo, etc.

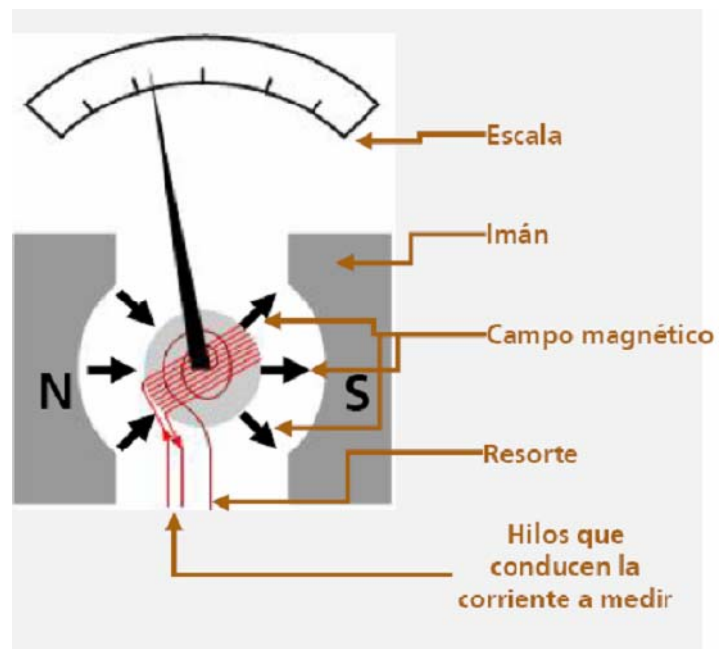
El amperímetro es el instrumento que se encarga de medir la cantidad de Coulombs que pasan por segundo (amperes).



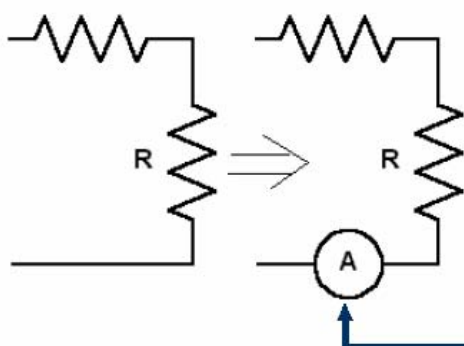
### Principio de Funcionamiento del Amperímetro

Para comprobarlo, puede suspender una barra imantada de un eje rígido entre los polos de imán en herradura. Si permite que la barra imantada gire sobre sí misma libremente, encontrará que lo hace hasta acercar su polo norte todo lo posible al polo sur del imán en herradura. Si hace girar la barra a una posición distinta, observará que trata de volver a la posición en que los polos opuestos están lo más cerca posible. Cuanto más trate de desviar a la barra imantada de esta posición, mayor será la fuerza que notará. La fuerza máxima aparece cuando los polos iguales estén lo más cerca posible.

Ahora, se coloca un resorte espiral de manera tal que no haya tensión en el resorte cuando los polos norte de los imanes están lo más cerca posible. Con los imanes en esa posición, la barra imantada normalmente giraría con libertad hasta una posición que aproximase todo lo posible su polo norte al polo sur de imán en herradura. Con el resorte sólo girará en parte hasta una posición en que la fuerza de giro magnética sea contrarrestada por la fuerza del resorte. Si reemplaza la barra imantada por otra más fuerte, la fuerza de repulsión entre polos sería mayor y la barra imantada avanzaría más en el sentido contrario a la fuerza del resorte. Si se retira la barra imantada y la reemplaza por una bobina de alambre, tendrá un galvanómetro. Siempre que pase corriente por ella, la bobina hará las veces de imán.



Agregándole una aguja y una escala, se tiene un instrumento de medida de corriente continua de bobina móvil conocido como tipo D'Arsonval.



Los **amperímetros** se intercalan en serie con los elementos incluidos en la rama donde se quiere medir la corriente que pasa.

**ACTIVIDAD 6.**

Se ha presentado los principios de funcionamiento de los aparatos de medición de corriente y voltaje.



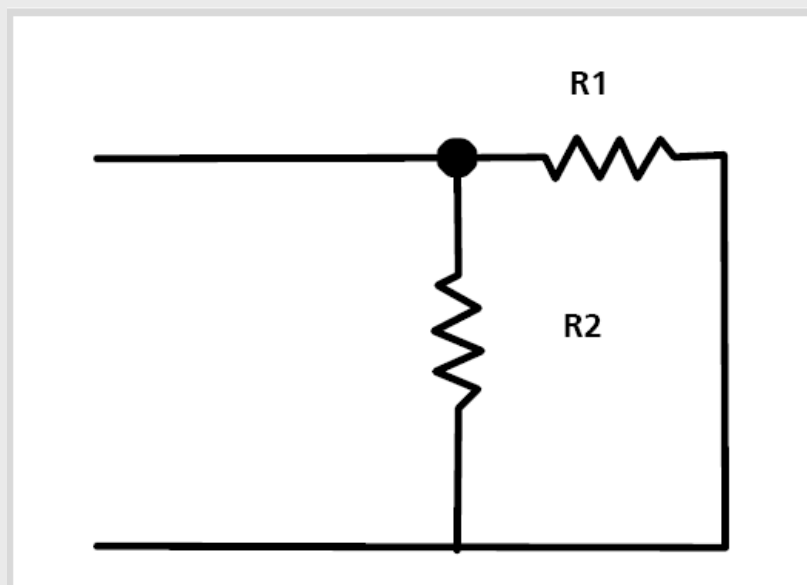
Dado el siguiente circuito indique donde se debe colocar el amperímetro y el voltímetro para hacer las mediciones indicadas.

**1**

Medir el voltaje en la resistencia R1 y en la R2.

**2**

Medir corriente que circula por la resistencia R1.

**¡Felicitaciones!**

Usted ha finalizado el capítulo 3.

A continuación se desarrollará el capítulo Control de Flujo de Corriente.



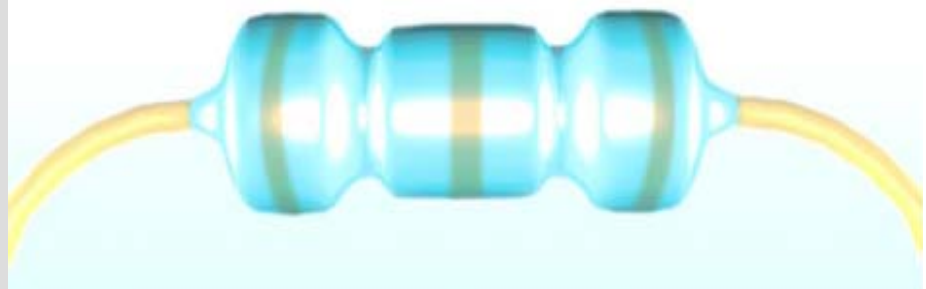
# Control del Flujo de Corriente

## TEMAS DEL CAPÍTULO 4

---

4.1 Resistencias	43
4.2 Ley de Ohm	49
4.3 Ley de Circuitos en Serie y en Paralelo	51
4.4 Inductancia	53
4.5 Capacitancia	55
4.6 Potencia eléctrica – Ley de Joule	57

El comportamiento del flujo de corriente está regido por la Ley de Ohm y sus derivaciones, que son la base del estudio de la electricidad.

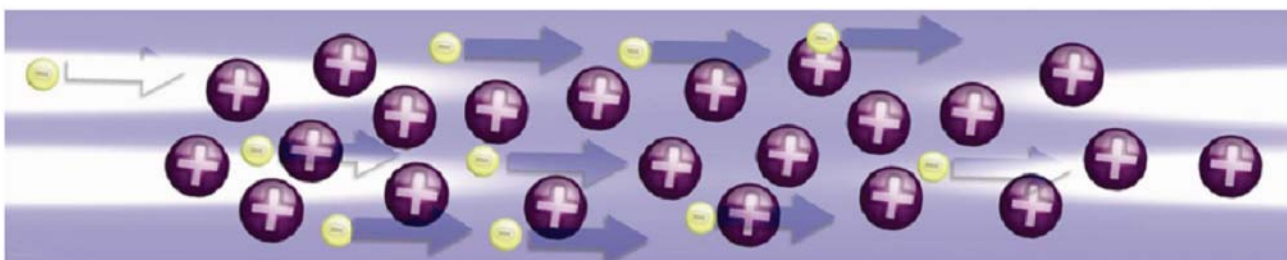


## 4.1 Resistencias

### Resistencias

Todo material ofrece cierta oposición al flujo de corriente, oposición que puede ser grande o pequeña.

Esta oposición se le denomina resistencia.



### EJEMPLO



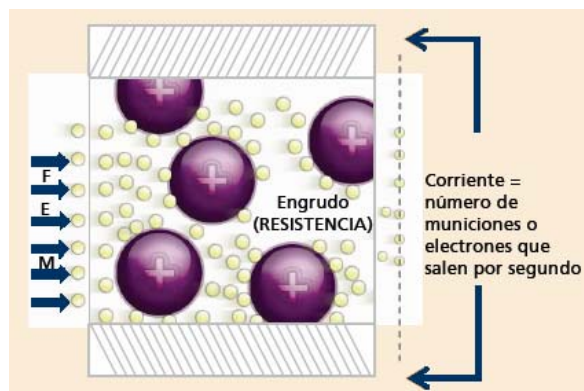
Hagamos una analogía para entender mejor a las resistencias.

Supongamos que hay un tubo con varias pelotas de golf sujetadas fuertemente en sus sitios mediante alambres y cada una de ellas representa a un átomo con sus electrones.

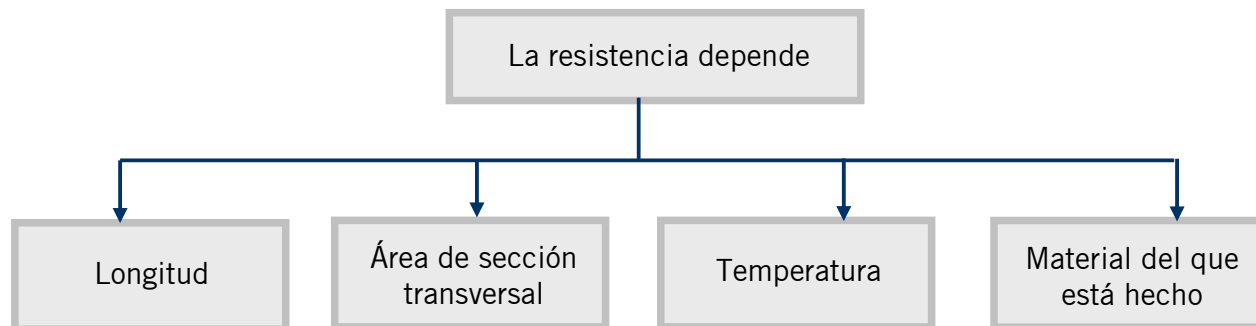
El espacio entre las pelotas de golf se rellena con pequeñas municiones metálicas. Cada una de esas municiones representa un electrón. Cuando se quitan municiones de un extremo y se introducen por el otro, y comienza a producirse un flujo o circulación de las mismas dentro del tubo.

Imaginemos que cada pelota de golf estuviese recubierta por engrudo. Este engrudo no se desprendería de la pelota de golf, sino que solamente retendrá las municiones a ella. La fuerza del engrudo depende del tipo de material. Asimismo en el caso de metales, si el material es cobre (conductor), el “engrudo” será muy liviano y los electrones libres no podrán ser retenidos con fuerza.

Sin embargo, si el material es vidrio (aislante), el “engrudo” será sumamente poderoso: retendrá a los electrones libres y no los dejará salir. Se necesita un empuje (voltaje), esto provocaría la salida de miles de millones de municiones por segundo.



La resistencia de un material sería comparable a la fuerza del engrudo que acabamos de describir.



## Longitud

### LONGITUD

Si comparamos dos conductores de igual material y sección pero de diferente longitud cada uno, el de mayor longitud tiene mayor oposición al movimiento de los electrones debido a que éstos tienen un mayor camino que recorrer.

Por lo que concluimos que: cuanto mayor sea la longitud del conductor, mayor es la resistencia.



### SECCIÓN

Al comparar dos conductores de igual material y longitud pero de diferente sección, notamos que en el de mayor sección existe un mayor número de electrones, por lo que circula una corriente más intensa.

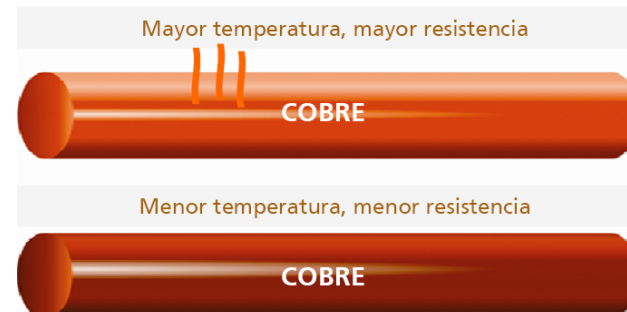
Concluimos que: la resistencia es menor, cuanto mayor sea la sección del conductor.



### TEMPERATURA

Los cambios de temperatura influyen en los materiales, tanto es así, que la resistencia de los metales puros aumenta con la temperatura.

Por lo que concluimos que: entre mayor sea la temperatura de un material, mayor es la resistencia de este.





## MATERIAL

Una propiedad de los materiales es la conductancia y está definida como la facilidad con que un material deja fluir la corriente.

A mayor conductancia mayor cantidad de corriente permitirá fluir. Como el conductor más comúnmente utilizado es el cobre, todos los metales tienen una clasificación de conductancia, que indica la eficacia con que conduce la corriente en comparación con el cobre.

A esta conductancia se le llama conductancia relativa o coeficiente de conductividad.

Se concluye que: cuanto mayor sea el coeficiente de conductividad que tiene el conductor, menor es la resistencia al paso de la corriente.



La conductancia es la inversa de la resistencia y se mide en S ( Siemens ).

En la tabla siguiente se muestra la conductancia relativa de algunos materiales.

CONDUCTANCIA RELATIVA (RESPECTO DEL COBRE)			
Metal	Conductancia relativa	Metal	Conductancia relativa
Plata	1.0800	Fierro	0.1490
Cobre	1.0000	Níquel	0.1290
Oro	0.7250	Estaño	0.1210
Aluminio	0.6250	Acero	0.1160
Tungsteno	0.3120	Plomo	0.0810
Zinc	0.2750	Mercurio	0.0180
Latón	0.2770	Nicrómel	0.0166
Platino	0.1720	Carbono	0.0004

Otra propiedad de los materiales es la resistividad o la resistencia específica.

La resistividad es la resistencia que ofrece un conductor de 1 m de longitud y 1 mm<sup>2</sup> de sección a una temperatura de 20°.

A cada tipo de material le corresponde un coeficiente de resistividad, es decir, indica el grado de resistencia que opone ese material al paso de la corriente. Se representa por  $\rho$  y se mide en [ $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ].

Se concluye que: cuanto mayor sea el coeficiente de resistividad que tiene el conductor, mayor es la resistencia al paso de la corriente.

Menor coeficiente de resistividad, menor resistencia

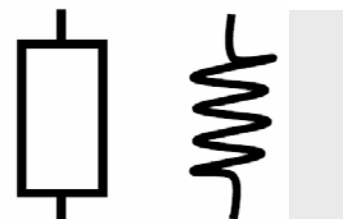
Mayor coeficiente de resistividad, mayor resistencia



COEFICIENTE DE RESISTIVIDAD			
Metal	Coef. Resistividad	Metal	Conductancia relativa
Plata	0.016	Platino	0.1
Cobre	0.018	Hierro	0.106
Oro	0.022	Estaño	0.11
Aluminio	0.028	Plomo	0.208
Zinc	0.06	Carbono	66.667
Latón	0.07		

### Representación

La resistencia se representa con la letra R, la unidad para la medición de la resistencia es el ohm ( $\Omega$ ). La resistencia se representa dentro de un circuito tal y como lo muestra la figura:

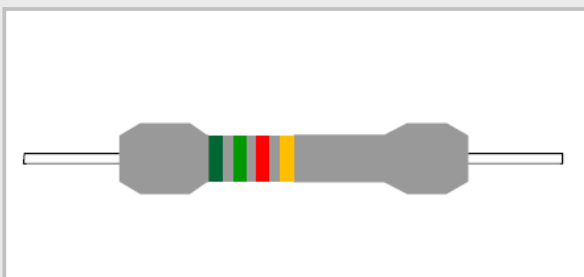


Algunos prefijos que son utilizados para manejar valores de resistencia.

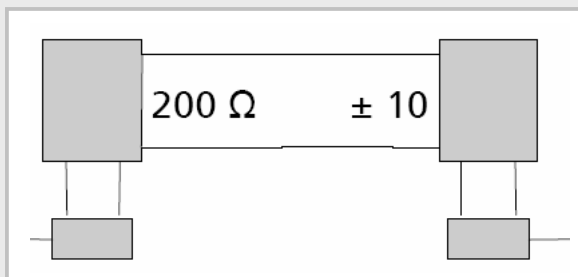
Múltiplos de la Resistencia		
PREFIJO	SÍMBOLO	DECIMAL
1 kilohm	1 k $\Omega$	1000 $\Omega$
1 megaohm	1 M $\Omega$	1'000,000 $\Omega$

Los dispositivos que se usan para aumentar la resistencia en un circuito eléctrico son los resistores.

Son fabricados con materiales que ofrecen una alta resistencia al paso de la corriente eléctrica, los más comunes son el Nicromo, el Constantán y la Manganina.



Con código de colores



Con el valor impreso

## Código de Colores

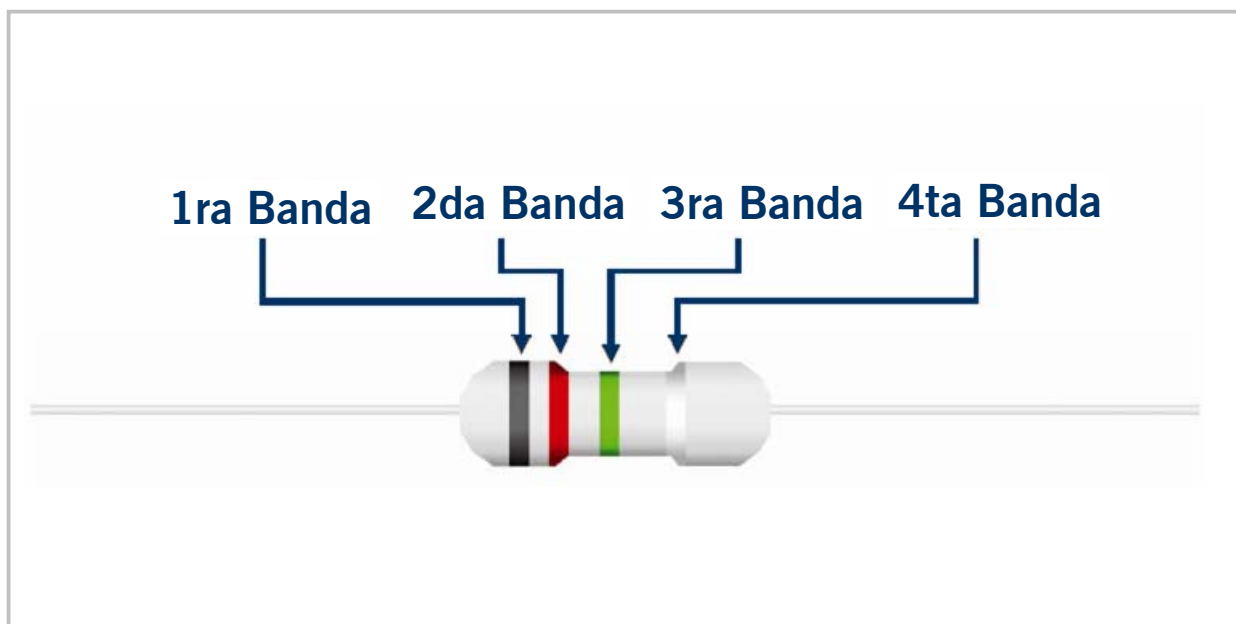
Existe un método estándar para saber el valor óhmico de los resistores. A este método se le conoce como código de colores.

Este código está compuesto por bandas de colores divididas en dos grupos:

El primer grupo consiste de tres o cuatro de estas bandas, de las cuales las primeras dos o tres indican el valor nominal del resistor y la última es un multiplicador para obtener la escala.

El segundo grupo está compuesto por una sola banda y es la tolerancia expresada como un porcentaje, dicha tolerancia proporciona el campo de valores dentro del cual se encuentra el valor correcto de la resistencia, o sea, el rango o margen de error dentro del cual se encuentra el valor real de la misma. En la tabla siguiente se muestra este código junto con los valores que representan los colores.

VALOR NOMINAL			MULTIPLICADOR			TOLERANCIA		
	Negro	0		Plateado	$10^{-2}$		Plateado	10 %
	Marrón	1		Dorado	$10^{-1}$		Dorado	5 %
	Rojo	2		Negro	$10^0$		Marrón	1 %
	Naranja	3		Marrón	$10^1$			
	Amarillo	4		Rojo	$10^2$			
	Verde	5		Naranja	$10^3$			
	Azul	6		Amarillo	$10^4$			
	Violeta	7		Verde	$10^5$			
	Gris	8		Azul	$10^6$			
	Blanco	9						

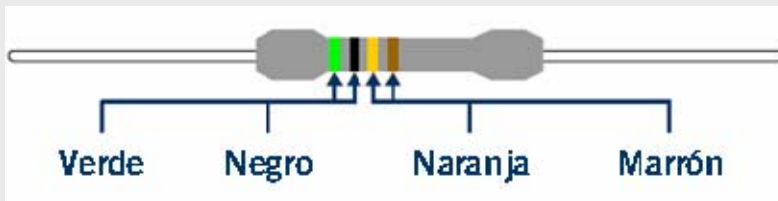


**ACTIVIDAD 7.**

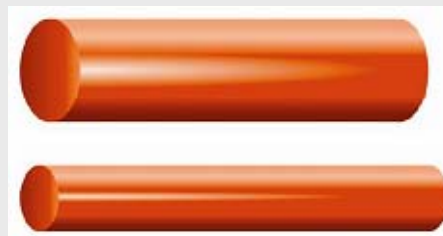
Conteste las siguientes preguntas poniendo en práctica sus conocimientos acerca de las resistencias.

**1**

Dado el siguiente resistor, cuyo código de colores sea verde y negro (5 y 0 = 50), naranja (50 x 1000), marrón (tolerancia). Indicar la resistencia y su tolerancia.

**2**

Dados dos conductores de igual material y longitud, que están a la misma temperatura, pero tienen distinta sección, ¿cuál opone mayor resistencia?

**3**

El carbono, ¿es un buen conductor de la electricidad?

Sí No

## 4.2 Ley de Ohm

La generación de una corriente eléctrica está ligada a dos condiciones:

A la existencia de una fuerza propulsora, la fuerza que hemos denominado fuerza electromotriz (f.e.m).

A la existencia de un circuito conductor, cerrado, que une los dos polos de la fuente de voltaje.

La intensidad de la corriente depende tanto de la magnitud de la f.e.m (V), como de la resistencia del circuito (R). Esa dependencia fue precisada por el físico George Simon Ohm, quien formuló la ley más importante de la electrotecnia, llamada por eso, ley de Ohm.

La ley de Ohm establece que, en un circuito eléctrico, el valor de la corriente es directamente proporcional al voltaje aplicado e inversamente proporcional a la resistencia del circuito.

En otras palabras, esta ley nos dice:

- A más voltaje, más corriente; a menos voltaje, menos corriente.
- A más resistencia, menos corriente; a menos resistencia, más corriente.

La ley de Ohm permite conocer el voltaje en un elemento del circuito conociendo su resistencia y la corriente que fluye a través de él y las relaciona de la siguiente manera:

$$V / I = R$$

**V = Voltaje (V)**  
**R = Resistencia ( $\Omega$ ).**  
**I = Corriente (A).**

### EJEMPLO

Si queremos determinar el valor de la fuente de voltaje de la siguiente figura que hará circular una corriente de 0.4 A. a través de la resistencia R1, cuyo valor es de 25  $\Omega$ , se aplica directamente la ecuación de la ley de Ohm.

$$V = I \times R$$

$$V = 0.4 \text{ A} \times 25 \Omega = 10 \text{ V}$$

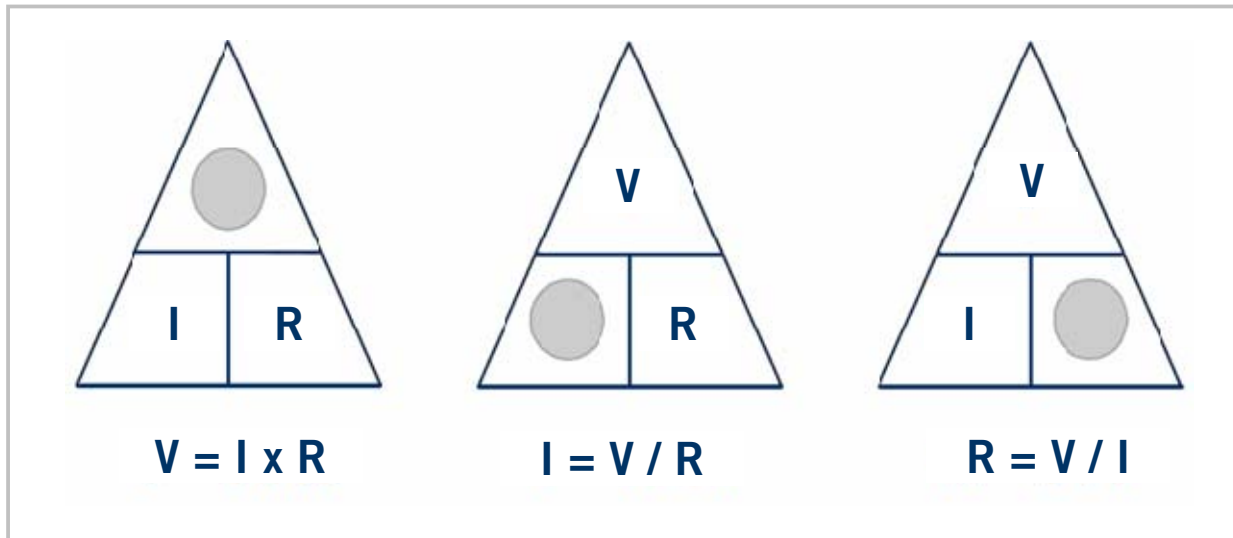
Esta ecuación también se puede expresar como:  $I = V / R$  ó  $R = V / I$

Fuente de voltaje



Existe una manera sencilla de saber cuál es la fórmula que se debe utilizar en un momento dado: usando un triángulo de Ohm donde se colocan la corriente, el voltaje y la resistencia.

Para utilizar el triángulo, se cubre el valor que se desea calcular y las letras restantes hacen la fórmula.



#### ACTIVIDAD 8.



Aplicando la Ley de Ohm, resuelva el siguiente ejercicio.

Se tiene una fuente de voltaje de 24 volts corriente directa (24 V DC) conectada a los terminales de una resistencia.

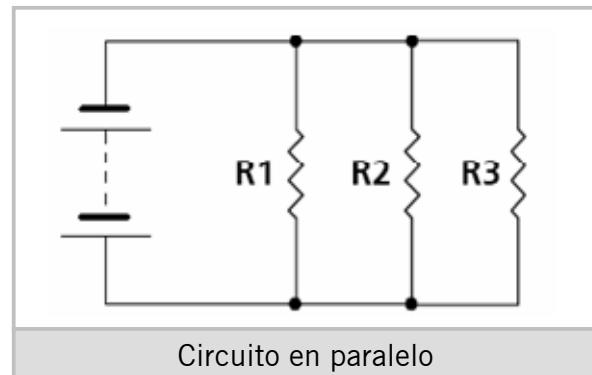
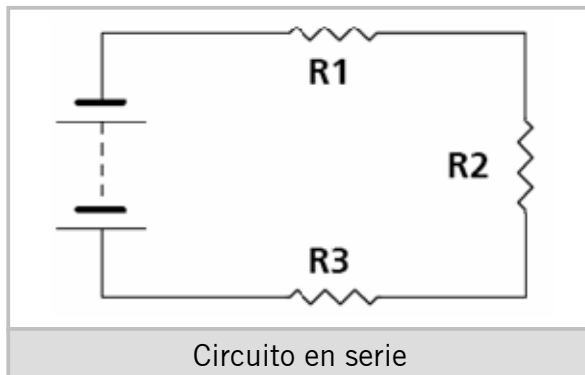
Mediante un amperímetro conectado en serie en el circuito se mide la corriente y se obtiene una lectura de 2 amperios.

¿Cuál es la resistencia que existe en el circuito?



## 4.3 Circuitos en Serie y en Paralelo

Las resistencias en un circuito eléctrico pueden estar dispuestas en serie o en paralelo:



### Circuitos de Corriente Continua en Serie

Cuando se tienen N resistencias conectadas en serie la resistencia total del circuito es igual a la suma de todas las resistencias. Esto es:

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_N$$

### EJEMPLO



Por ejemplo, si tenemos una batería de 24V DC a cuyos terminales se conectan en los siguientes componentes en serie:

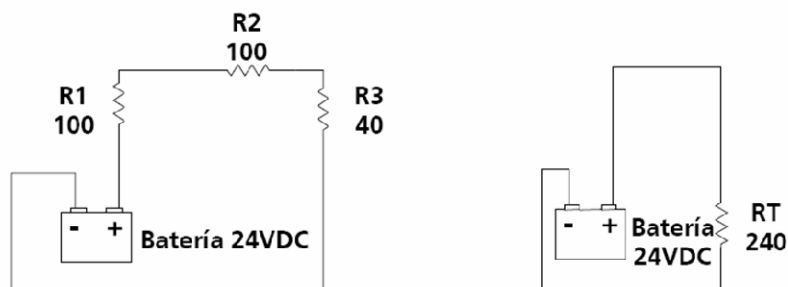
- una resistencia R1 de 100  $\Omega$ ,
- una resistencia R2 de 100  $\Omega$ ,
- y una tercera resistencia R3 de 40  $\Omega$ .

¿Cuál es la resistencia total o equivalente que se le presenta a la batería?

Tenemos que  $R_T = R_1 + R_2 + R_3$ , por lo que reemplazando los valores tenemos:

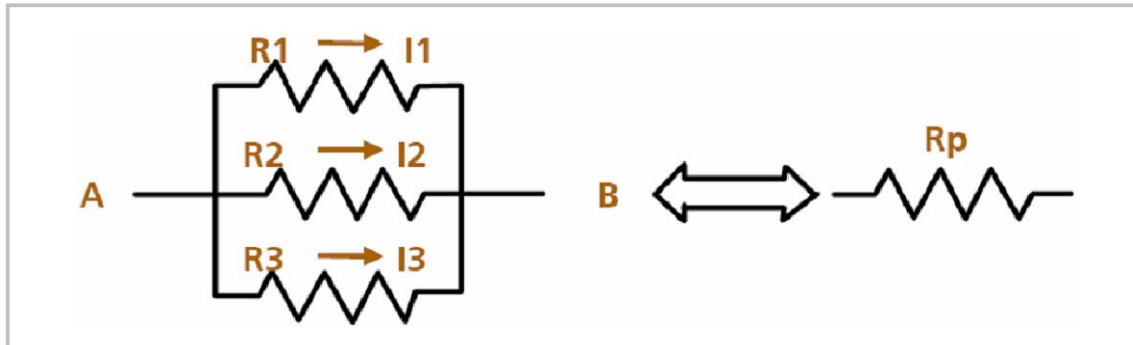
$$R_T = 100 \Omega + 100 \Omega + 40 \Omega = 240 \Omega$$

Esto quiere decir que la resistencia total o equivalente que la batería "ve" en sus terminales es de 240  $\Omega$ .



## Circuitos de Corriente Continua en Paralelo

Se dice que varios elementos están en paralelo cuando la caída de potencial entre todos ellos es la misma. Esto ocurre cuando sus terminales están unidas entre sí como se indica en el esquema siguiente:



- Ahora la diferencia de potencial entre cualquiera de las resistencias es  $V$ , la existente entre los puntos A y B.
- La corriente por cada una de las resistencias es  $V/R_i$  ( $i=1,2,3$ ).
- La corriente total que va de A a B será  $I_1 + I_2 + I_3$ .
- La resistencia total de  $N$  número de resistencias en paralelo está dada por la siguiente ecuación:

$$R_T = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \dots + \frac{1}{R_N}}$$

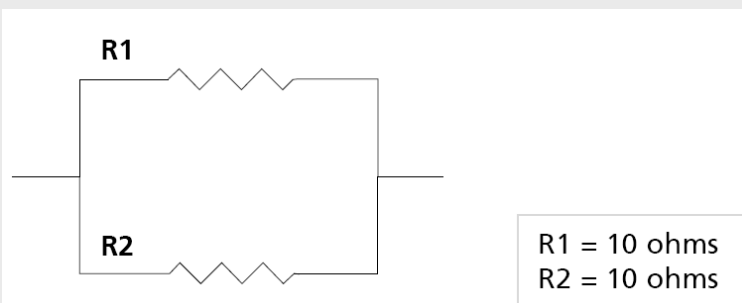
Al haber tres caminos alternativos para el paso de la corriente, la facilidad de paso (conductancia) ha aumentado: la facilidad total es la suma de las facilidades. La conductancia  $1/R_p$  ha de ser la suma de las conductancias de las resistencias componentes de la asociación:

$$1/R_p = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3$$

## ACTIVIDAD 9.



Dado el siguiente circuito, calcular la resistencia total



## 4.4 Inductancia



Así como la resistencia se opone ante el flujo de corriente, la inductancia ( $L$ ) se opone al cambio del flujo de corriente. El dispositivo que cumple eficazmente esta función es el inductor, que físicamente es una bobina que tiene numerosos espiras de alambre de cobre, de un diámetro muy fino y con un forro o aislante, arrollados en un tubo de baquelita.

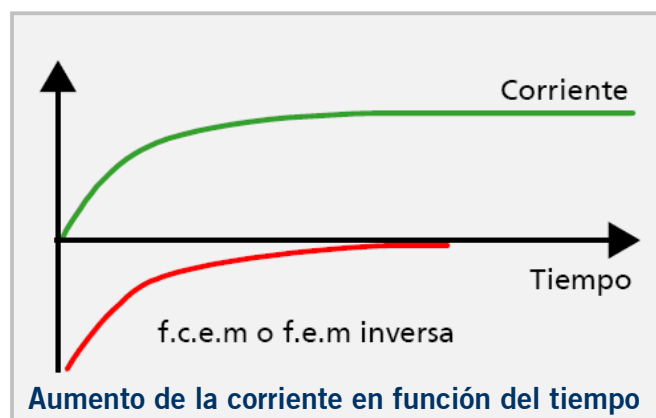
Cuando un flujo de electrones circula a lo largo de un conductor, empieza a expandirse un campo magnético desde el eje del conductor. Las líneas de fuerza del campo magnético se mueven hacia afuera, a través del material conductor, continuando después por el aire, induciendo un voltaje en el propio conductor. Este voltaje inducido tiene siempre una dirección opuesta al de la circulación de la corriente. Debido a dicha dirección opuesta, a este voltaje se le llama fuerza contraelectromotriz (f.c.e) o f.e.m inversa.

La inductancia se expresa en henrios (H) pero como es una unidad de medición grande, es más común usar sus submúltiplos milihenrios (mH,  $1 \times 10^{-3} \text{ H} = .001 \text{ H}$ ) y microhenrios ( $\mu\text{H}$ ,  $1 \times 10^{-6} \text{ H} = .000001 \text{ H}$ ).

El efecto de la f.c.e que se crea en el conductor es el de oponerse al valor máximo de la corriente, aunque esta es una condición temporal.

Cuando la corriente que pasa por el conductor alcanza finalmente un valor permanente, las líneas de fuerza dejan de expandirse o moverse y ya no se produce f. c. e. m.

En el instante en que la corriente empieza a circular, las líneas de fuerza se expanden con la máxima velocidad y se produce el valor máximo de la f.c.e. En dicho instante, la f.c.e.m tiene un valor justo inferior al voltaje aplicado.



De acuerdo con la gráfica de la figura anterior, cuando la corriente empieza a circular, su valor es pequeño. Sin embargo, a medida que las líneas de fuerza se mueven hacia afuera, disminuye progresivamente el número de líneas que cortan al conductor cada segundo, por lo que también disminuye progresivamente la f.c.e.m. Después de cierto tiempo, las líneas de fuerza alcanzan su mayor expansión, deja de producirse la f.c.e.m. y la única f.e.m. en el circuito es la de la fuente de voltaje. Entonces puede circular por el alambre la corriente máxima pues la inductancia ya no reacciona contra la fuente de voltaje.

Existen dos tipos de inductores:

#### Inductores fijos

A los inductores fijos no se les puede variar su valor, una vez que se han fabricado su valor permanece constante. Estos inductores pueden tener un núcleo de aire o de hierro. La manera de representar simbólicamente estos inductores es:



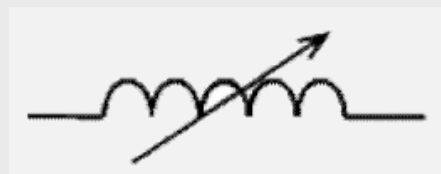
**Inductor con núcleo de hierro**



**Inductor con núcleo de aire**

#### Inductores variables

A los inductores variables se les puede variar el valor de la inductancia en cierta escala. Están fabricados de manera que el núcleo se pueda mover dentro del devanado. De esta manera, la posición del núcleo determina el valor de la inductancia. La manera de representar simbólicamente estos inductores es:



#### EJEMPLO



En el caso de las bobinas, el valor de la inductancia se determina por el número de vueltas, el espaciado entre las vueltas, el diámetro de la bobina, el material del núcleo, el número y tipo de embobinado y la forma de la bobina.

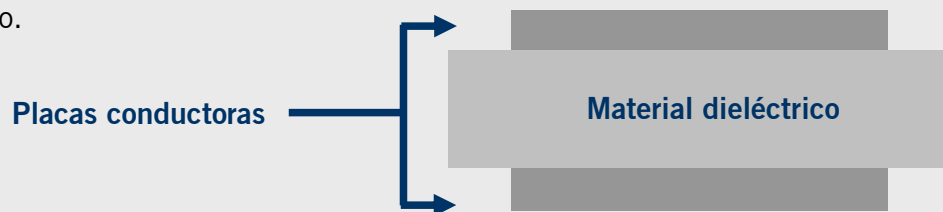
## 4.5 Capacitancia



Así como la inductancia se opone ante cualquier cambio en la corriente, la capacitancia ( $C$ ) se opone ante cualquier cambio en el voltaje.

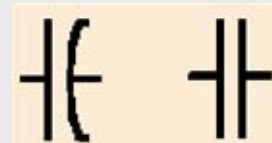
El dispositivo que introduce la capacitancia a los circuitos es el capacitor. Este dispositivo almacena energía en un campo electrostático y la libera posteriormente.

Un capacitor está formado por 2 placas conductoras paralelas entre sí, separadas por una capa delgada de material aislante. A este material no conductor se le conoce como dieléctrico.



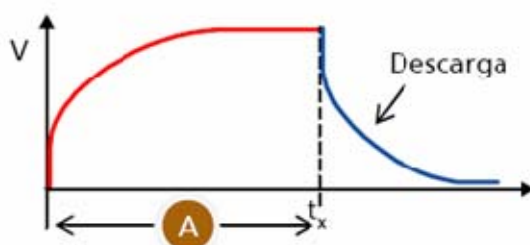
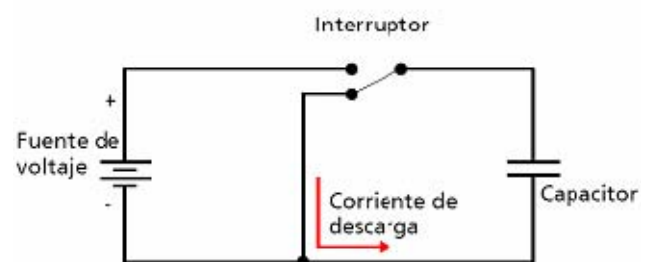
La unidad para expresar la capacitancia es el faradio (F) pero los capacitores comúnmente se clasifican en  $\mu\text{F}=1 \times 10^{-6}$  (microfaradios) o  $\text{pF}=1 \times 10^{-12}$  (picofaradios).

El capacitor se representa mediante los siguientes símbolos:



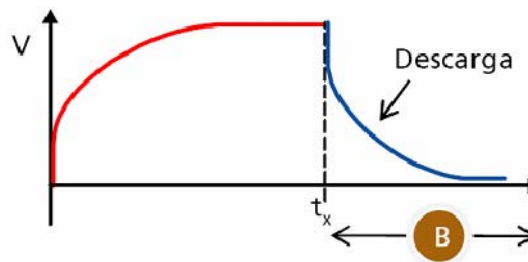
### Funcionamiento de un Capacitor

En el instante en que se cierra el interruptor, el terminal negativo de la batería empieza a impulsar electrones a la placa superior del capacitor, así como también se extraen electrones de la placa inferior del capacitor al extremo positivo de la batería. A medida que se establece una diferencia de electrones entre las 2 placas, aparecen líneas de fuerza electrostáticas entre ellas.



A. En el momento de cerrar el interruptor no existe en el capacitor f.e.m inversa y la amplitud de la corriente viene determinada únicamente por la resistencia del circuito. Con el tiempo, entran más electrones al capacitor y se produce en él una f.e.m inversa cada vez mayor, haciendo que la corriente en el circuito vaya decreciendo. Una vez que la f.e.m inversa iguala a la de la fuente, la corriente dejará de A circular completamente.

B. Por otra parte, el capacitor no puede descargarse a través de la fuente, ya que la polaridad del voltaje de la fuente es tal que se opone al voltaje del capacitor. Debido a lo anterior, el capacitor debe contar con una trayectoria de descarga, como se muestra en la figura (corriente de descarga).



En el instante  $t_x$  se mueve el interruptor de manera que la fuente quede desconectada del capacitor para empezar el proceso de descarga.

**ACTIVIDAD 10.**

De acuerdo a lo visto anteriormente complete la siguiente actividad.



Marque con una X qué característica corresponde a un inductor o a un capacitor.

	Inductor	Capacitor
Se opone al cambio del flujo de corriente		
Se opone al cambio de voltaje		
Está formado por placas conductoras y material dieléctrico		
Pueden ser fijos o variables		
Se expresan en H (Henrios)		
Se expresa en F (Faradios)		



## 4.6 Potencia Eléctrica – Ley de Joule

Es probable que, por experiencia propia, usted ya sepa que la mayor parte de los equipos eléctricos indican su voltaje y potencia, en volts y watts. Las lámparas eléctricas de 220 volts, también indican sus watts y suelen identificarse más en watts que en volts.

¿Qué significa esta indicación en watts para los equipos eléctricos?

Los watts de las lámparas eléctricas y otros equipos indican la velocidad con que la energía eléctrica se convierte en otra forma de energía, como calor o luz. Cuanto mayor sea la rapidez con que la lámpara convierte energía eléctrica en luz, mayor será su luminosidad. De este modo, una lámpara de 100 watts suministra más luz que una de 75 watts.

Del mismo modo, los watts de motores, resistencias y otros dispositivos eléctricos indican la velocidad con que éstos transforman energía eléctrica en alguna otra forma de energía. Si se excede la cantidad de watts normales, el equipo o dispositivo se recalienta o se deteriora.



### Ley de Joule

Establece que todo conductor recorrido por una corriente se calienta, lo cual produce el llamado "efecto calórico" de la corriente eléctrica.

En la aplicación práctica de este efecto, son particularmente importantes las relaciones entre las magnitudes eléctricas corriente (I), voltaje (U) y resistencia (R) con la cantidad Q de calor desarrollado.

La cantidad de calor se mide en calorías. Una caloría (cal) es la cantidad necesaria para llevar a 1°C la temperatura de 1g de agua.

Joule encontró, como consecuencia de sus experiencias, que una corriente de 1 Amp desarrolla 0.239 cal en una resistencia de 1 W. Este número, determinado por la experiencia, se llama equivalente termoelectrónico.

El calor desarrollado en un segundo es 0.239 U.I.cal y en un tiempo de t segundos:

$$Q = 0.239 \text{ U.I.t calorías}$$

De acuerdo a la ley de Ohm,  $U = I R$ . Sustituyendo esta relación, se obtiene la ley de Joule en su segunda forma:

$$Q = 0.239 I^2 \times R \times t \text{ calorías}$$

Expresión que determina el calor generado en una resistencia  $R$ , por una corriente de  $I$  amperes, en un tiempo  $t$ .

### EJEMPLO



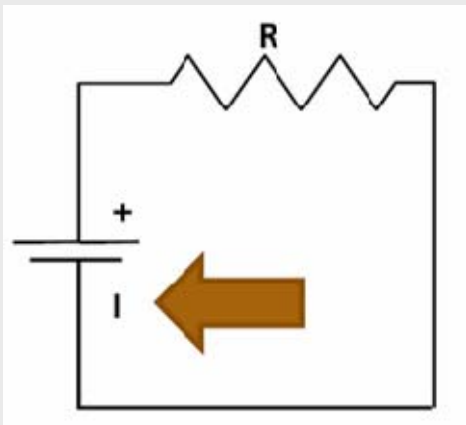
La mayor difusión de la electricidad se debe precisamente a sus efectos caloríficos. Apenas es concebible la idea de una vivienda sin corriente eléctrica, la cual se utiliza no sólo para el alumbrado en las noches, sino también para cocción de alimentos y calefacción de viviendas. También en la industria encuentran esos efectos caloríficos una continua aplicación: por ejemplo, en los hornos para templar, fundir u obtener los metales de difícil fusión, en las calderas de vapor eléctricas, etc.

### ACTIVIDAD 11.

Dado el siguiente circuito, calcular la potencia o calor desarrollado.



El circuito de un horno eléctrico industrial está compuesto por una fuente de tensión f.e.m  $V$  y una resistencia  $R$ . Si la tensión disminuye un 10%, ¿cuál será la variación de la potencia entregada en el horno ( $Q$ )?



### ¡Felicitaciones!

Usted ha finalizado el capítulo 4.

A continuación se desarrollará el capítulo Análisis de Circuitos: Leyes de Kirchhoff.



# Análisis de Circuitos: Leyes de Kirchhoff

## TEMAS DEL CAPÍTULO 5

---

### 5.1 Enunciados

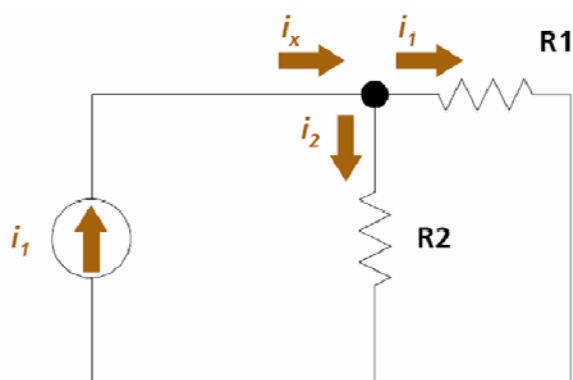
60

Las leyes de Kirchhoff se utilizan para el análisis y la resolución de circuitos eléctricos.



## 5.1 Enunciados

### LEY DE NUDOS



$$i_x = i_1 + i_2$$

$$\sum_{n=1}^k i_n = 0$$

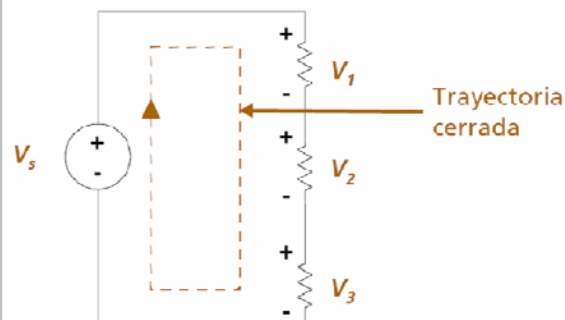
Proviene de la conservación de la carga y dice, esencialmente, que la suma de las corrientes que llegan a un nudo es cero; es decir, que el total de corriente que entra a un nudo, es igual al total de la corriente que sale del nudo.

Esta ley ha de aplicarse a tantos nudos existan en nuestro circuito, menos uno.

### LEY DE MALLAS

Establece que la suma de caídas de potencial a lo largo de una malla debe coincidir con la suma de fuerzas electromotrices (de los elementos activos) a lo largo de la misma. Si no hubiera elementos activos, la suma de potenciales a lo largo de un recorrido cerrado es cero, lo cual está ligado al carácter conservativo del campo eléctrico. Para su aplicación es preciso previamente asignar un sentido de recorrido a las mallas y dar algún convenio de signos:

- Una f.e.m se tomará como positiva si en nuestro recorrido salimos por el polo positivo.
  - Una caída de potencial se tomará como positiva si en nuestro recorrido vamos a favor de la corriente cuando pasamos por el elemento.
- En el circuito de la figura, las caídas de potencial son todas en resistencias óhmicas; si es  $I$  la intensidad que atraviesa a una resistencia  $R$ , la caída de potencial es  $IR$ .



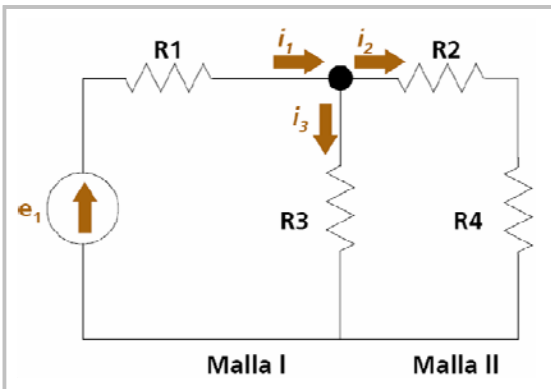
$$V_s = V_1 + V_2 + V_3$$

$$\sum_{n=1}^k V_n = 0$$

Utilizando las mallas I y II, tendremos las siguientes ecuaciones:

$$e_1 = I_1 R_1 + I_3 R_3$$

$$-e_2 = I_2 R_2 + I_2 R_4 - I_3 R_3 = I_2 (R_2 + R_4) - I_3 R_3$$



Conocidos los valores de los elementos que constituyen nuestro circuito, las tres ecuaciones anteriormente expuestas configuran un sistema lineal del que se pueden despejar los valores de  $I_1$ ,  $I_2$  e  $I_3$ . Obsérvese que en el circuito anterior  $R_2$  y  $R_4$  se asocian como si fueran una sola resistencia de valor  $(R_2 + R_4)$ . Este es un ejemplo de cómo se asocian resistencias en serie, que son las que están en una misma rama sin importar su ubicación.

### Asociación de elementos en Serie y en Paralelo

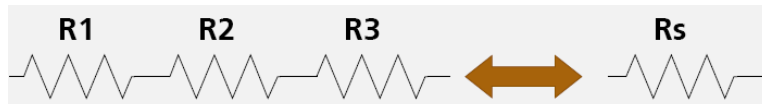
Previo a analizar un circuito conviene proceder a su simplificación cuando se encuentran asociaciones de elementos en serie o en paralelo.



#### SERIE

Se dice que varios elementos están en serie cuando están todos en la misma rama y, por tanto, atravesados por la misma corriente. Si los elementos en serie son resistencias, pueden sustituirse, independiente de su ubicación y número, por una sola resistencia suma de todas las componentes. En esencia lo que se está diciendo es que la dificultad total al paso de la corriente eléctrica es la suma de las dificultades que individualmente presentan los elementos componentes:

$$R_s = R_1 + R_2 + R_3$$

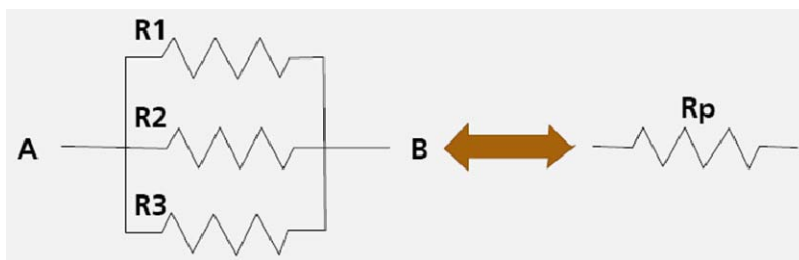


Esta regla particularizada para el caso de resistencias sirve también para asociaciones de f.e.m (baterías).



## PARALELO

Se dice que varios elementos están en paralelo cuando la caída de potencial entre todos ellos es la misma. Esto ocurre cuando sus terminales están unidas entre sí como se indica en el esquema siguiente:



Ahora la diferencia de potencial entre cualquiera de las resistencias es  $V$ , la existente entre los puntos A y B.

La corriente por cada una de ellas es  $V/R_i$  ( $i=1,2,3$ ) y la corriente total que va de A a B (que es la que atravesaría  $R_p$  cuando se le aplica el mismo potencial) será  $I_1 + I_2 + I_3$ . Al haber tres caminos alternativos para el paso de la corriente, la facilidad de paso es mayor.

## ATENCIÓN



Las baterías no suelen asociarse en paralelo debido a su pequeña resistencia interna. Si se asociaran tendrían que tener la misma f.e.m que sería la que se presentaría al exterior. Pero cualquier diferencia daría lugar a que una de las baterías se descargaría en la otra.

**ACTIVIDAD 12.**

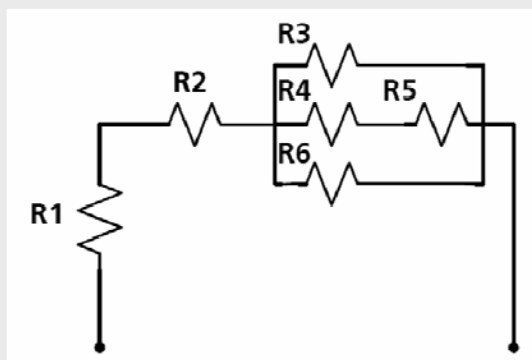
A partir de todo lo desarrollado le proponemos la siguiente actividad.



Calcule lo que se pide para el siguiente circuito.

**1**

Calcule la resistencia total del siguiente circuito, donde  $R1...R6 = 100 \Omega$ .

**¡Felicitaciones!**

Usted ha finalizado el capítulo 5.

A continuación se desarrollará el capítulo Corriente Alterna.





# Corriente Alterna

## TEMAS DEL CAPÍTULO 6

---

6.1 ¿Qué es la Corriente Alterna?	65
6.2 Instrumentos para medir Corriente Alterna	69
6.3 Resistencia de los Circuitos de Corriente Alterna	71
6.4 Inductancia de los Circuitos de Corriente Alterna	74
6.5 Capacitancia o Reactancia Capacitiva de los Circuitos de Corriente Alterna	80

La corriente alterna es la forma usada para el suministro de electricidad en la industria y en los hogares.

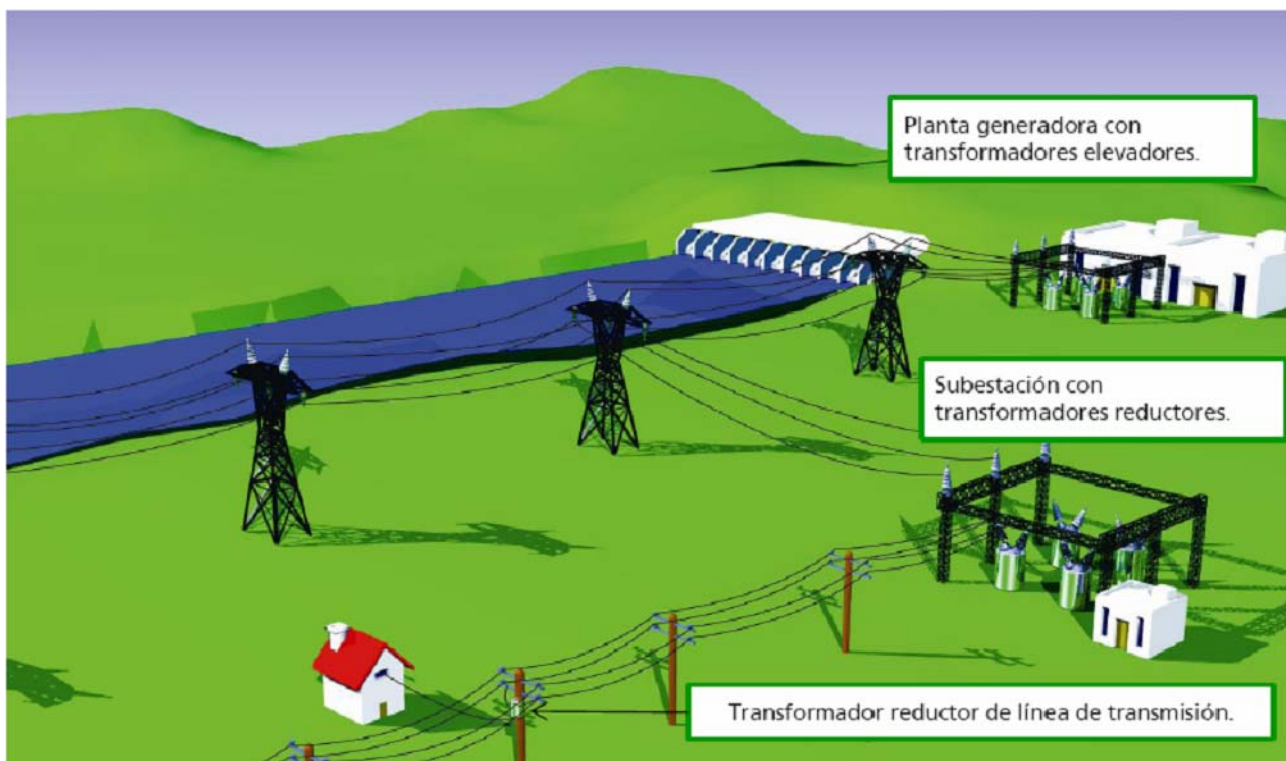
Se caracteriza porque su magnitud y dirección varían cíclicamente.



## 6.1 ¿Qué es la Corriente Alterna?

En la mayoría de las líneas de electricidad se transporta corriente alterna.

Muy poca corriente continua se utiliza para iluminación eléctrica y como fuerza motriz. Existen muy buenas razones para elegir la corriente alterna en la transmisión de fuerza motriz. Una de ellas, es que la tensión de corriente alterna puede elevarse o disminuirse con facilidad y con pérdidas despreciables de potencia mediante el transformador, mientras que las tensiones de corriente continua no se pueden modificar sin una pérdida considerable de potencia. Este factor reviste gran importancia en la transmisión de la energía eléctrica ya que grandes cantidades de fuerza motriz deben transportarse a voltajes muy altos.

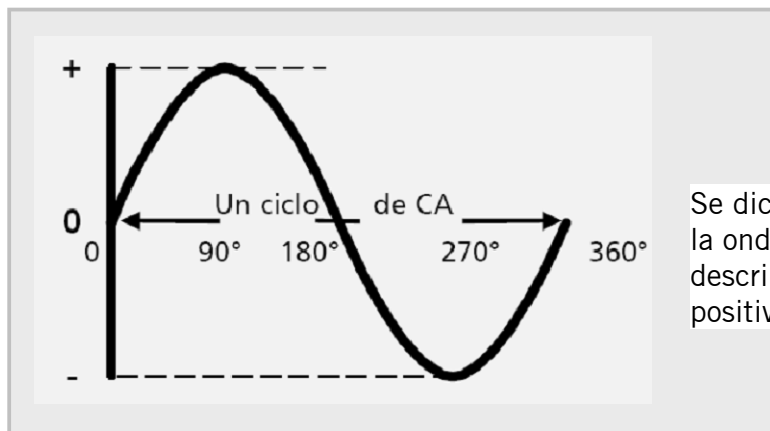


En la planta electromotriz, el voltaje es elevado por los transformadores a tensiones muy altas, que se envían a las líneas de transmisión. Luego en el otro extremo de la línea, otros transformadores se encargan de reducir la tensión a valores aprovechables para iluminación y fuerza motriz común.



Los distintos equipos eléctricos exigen tensiones diferentes para el funcionamiento correcto, tensiones que pueden obtenerse con facilidad mediante el transformador y una línea transmisora de corriente alterna. Para obtener esas tensiones en corriente continua se requeriría un circuito complejo y poco rendidor.

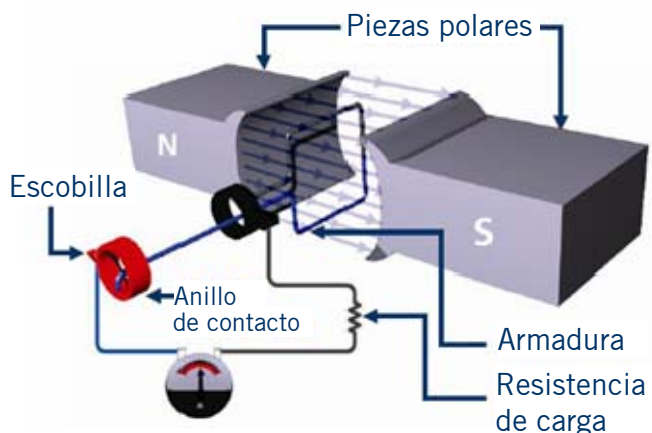
Ciclos de Corriente Alterna



Se dice que completa un ciclo cuando la onda de tensión o intensidad de CA describe un juego completo de valores positivos y negativos.

Generador elemental de Corriente Alterna

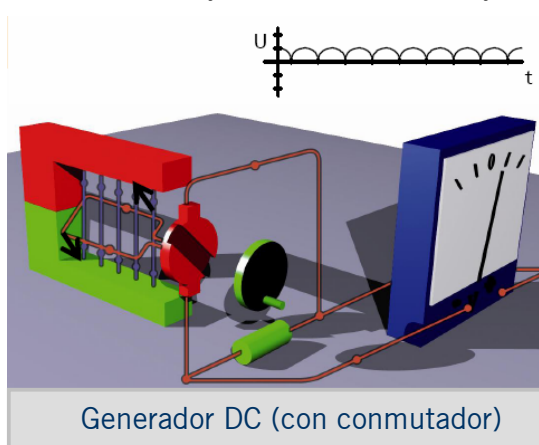
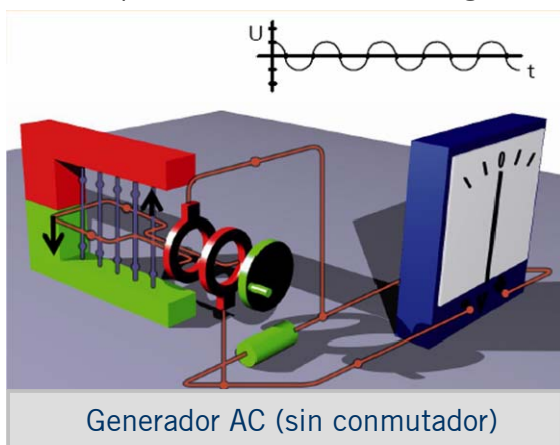
Un generador elemental consiste en una espira de alambre colocado de manera que se la pueda hacer girar dentro de un campo magnético estacionario, para que éste produzca una corriente inducida en la espira. Para conectar la espira con un circuito externo y aprovechar la corriente inducida se utilizan contactos deslizantes.



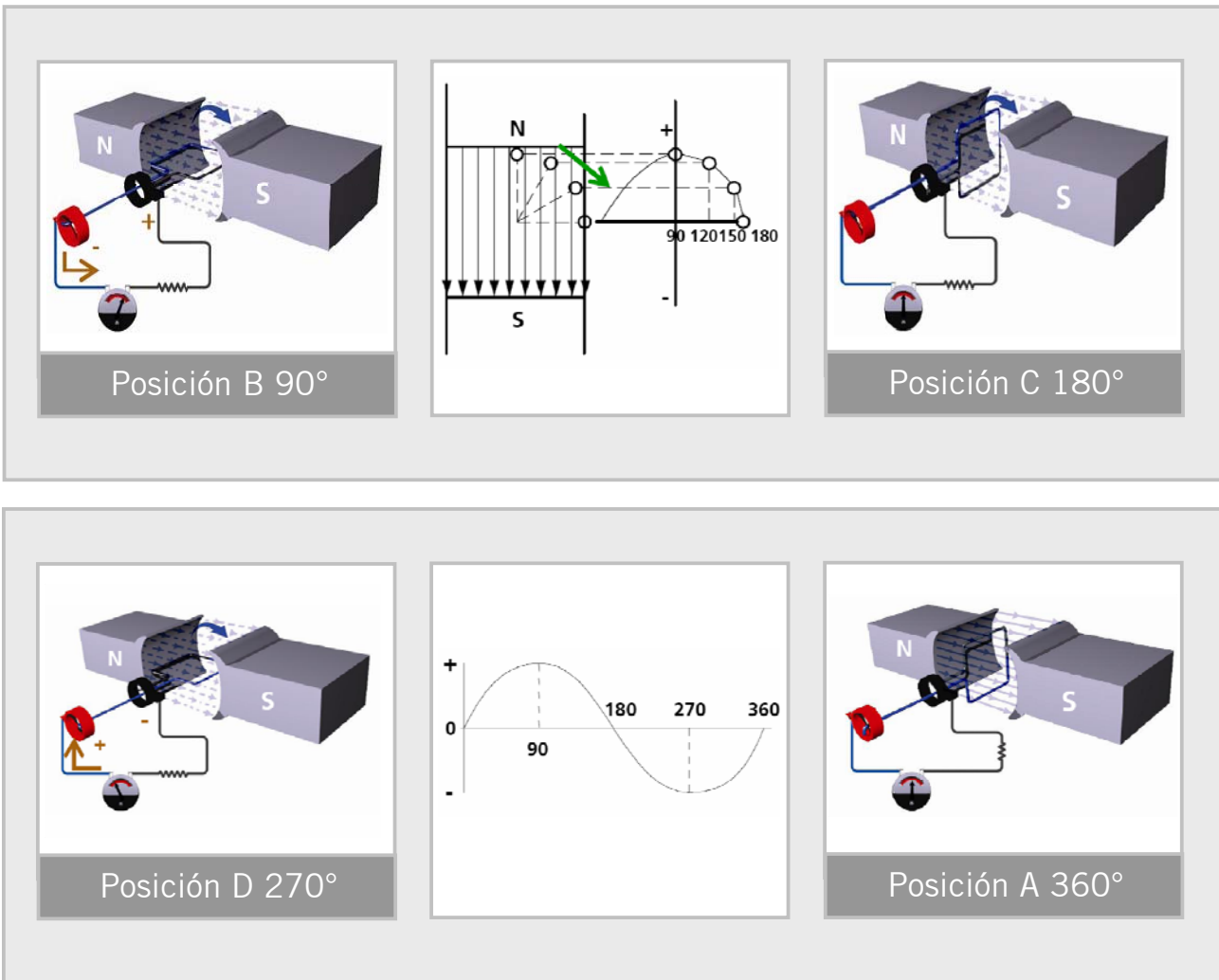
EJEMPLO



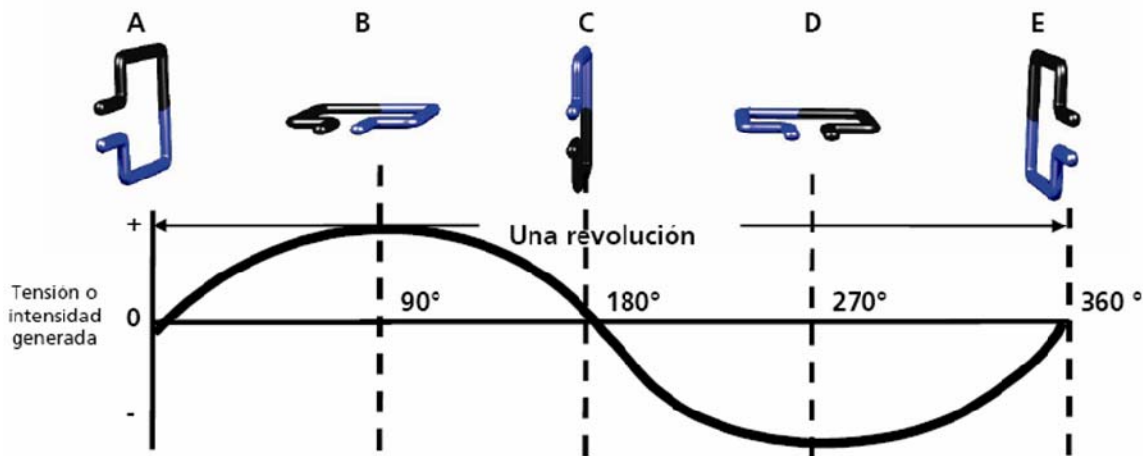
Este gráfico muestra las partes más importantes de un generador elemental de corriente alterna y continua. En lugar de un armazón con un núcleo de hierro y muchos bobinados, hay una única espira conductora cuadrada girando alrededor de un eje, el cual no se dibuja.



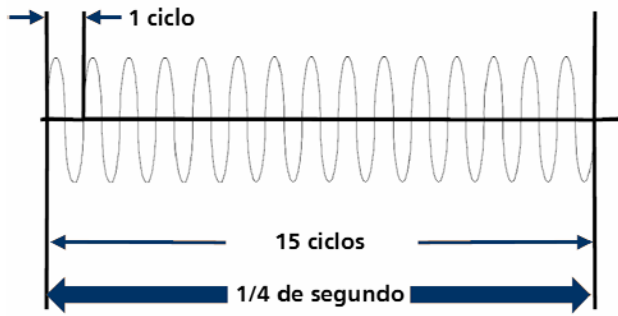
Las líneas de campo magnético aparecen en azul, dirigiéndose desde el polo norte (pintado en rojo) hacia el polo sur (pintado en verde). Las flechas en rojo representan el sentido convencional de la corriente inducida.



La tensión del generador se denomina “tensión alterna”, puesto que alterna periódicamente entre positivo y negativo. El flujo de corriente, puesto que varía a medida que varía la tensión, también tiene que ser alterno. En cuanto a la intensidad, también se le denomina intensidad alterna. La intensidad alterna siempre está asociada a un voltaje alterno, puesto que la tensión alterna siempre provocará un flujo alterno de corriente.



Frecuencia de la Corriente Alterna



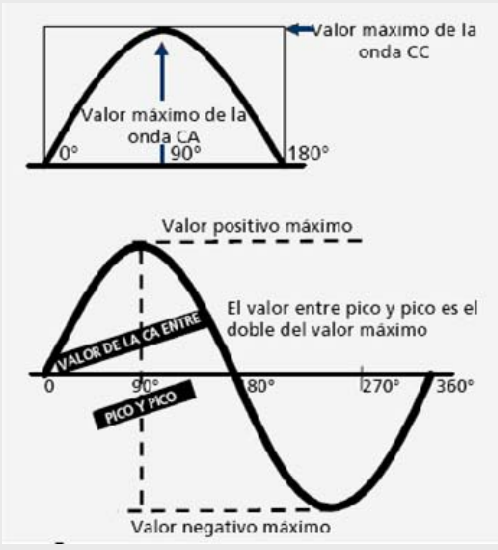
Cuando la armadura de un generador de CA gira, cuanto más veloz sea su movimiento de rotación entre los polos magnéticos, con mayor frecuencia la corriente se invertirá cada segundo. Por lo tanto se completan más ciclos por segundo, ya que cada inversión de corriente cierra medio ciclo de flujo. La cantidad de ciclos por segundo se denomina “frecuencia”.

GLOSARIO

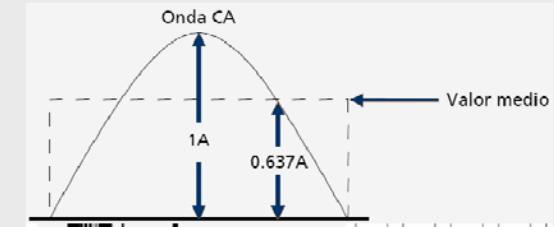


Sinusoide: función seno o la curva que la representa.

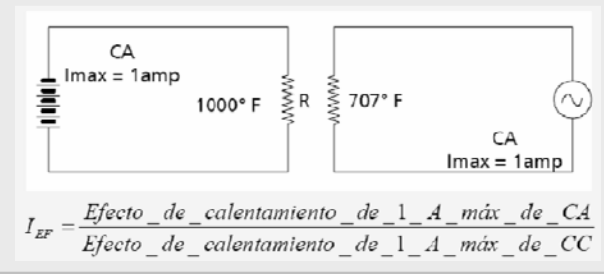
Valor máximo y pico a pico de una senoide



Valor medio de una senoide



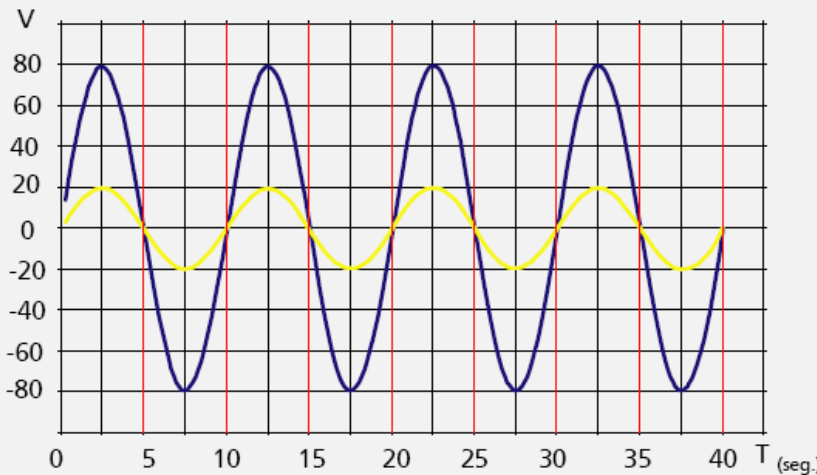
Valor eficaz de una senoide



La intensidad eficaz de una corriente alterna es la intensidad de una corriente continua que es capaz de producir el mismo efecto térmico que la corriente alterna en el mismo tiempo.

ACTIVIDAD 13.

Para la tensión y corrientes alternas graficadas en la figura, indicar los valores máximos de tensión y la frecuencia de la corriente.





## 6.2 Instrumentos para medir Corriente Alterna

Los instrumentos para corriente alterna funcionan en base a un dispositivo de bobina móvil suspendida en un campo magnético entre los polos de un imán permanente. El flujo de corriente en el sentido correcto (polaridad) hace que la bobina gire, moviendo la aguja sobre la escala. Sin embargo usted recordará que la inversión de la polaridad hace que la bobina móvil se vuelva en sentido opuesto, llevando la aguja más debajo de cero.

Si se hiciera pasar corriente alterna de 60 ciclos por un dispositivo de bobina móvil, la aguja no podría seguir la inversión de giro y se dañaría. Además cuando la aguja pudiera hacer el vaivén con rapidez, la velocidad del vaivén impediría hacer la lectura.



### Voltímetros con rectificador para Corriente Alterna

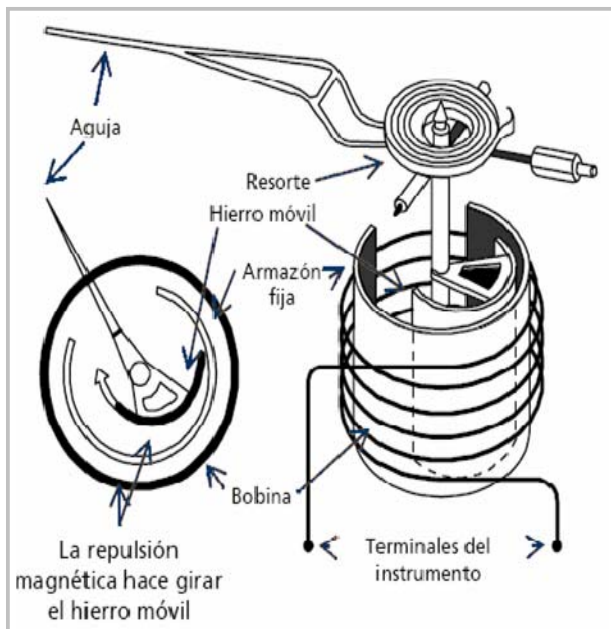
Para medir corriente alterna se puede utilizar un dispositivo móvil para corriente continua mediante el empleo de rectificadores, que sirven para convertir CA en CC. El rectificador sólo permite el flujo de corriente en un sentido, de manera que al aplicar CA, ésta sólo pasa en la mitad de cada uno de los ciclos completos.

<p>Voltaje CA</p>	<p>Voltaje CA</p>	<p>Voltaje CA</p>
<p>El circuito consiste en una resistencia multiplicadora, un rectificador y un instrumento de bobina móvil.</p>	<p>Para ofrecer una vía de retorno a las pulsaciones de medio ciclo que no se aprovechan, se coloca otro diodo en oposición y las pulsaciones circulan por esta rama y no por el instrumento.</p>	<p>Otro circuito utiliza cuatro rectificadores por lo tanto se ofrecen dos caminos para la onda de CA duplicando el valor de la corriente que pasa por el instrumento.</p>

## Instrumento de hierro móvil

Un instrumento que se puede utilizar para medir intensidad y tensión de CA es el dispositivo de hierro móvil; que funciona en base al principio de repulsión magnética entre polos iguales.

- La corriente a medir pasa por una bobina que produce un campo magnético que es directamente proporcional a la intensidad de corriente.
- Dentro de este campo hay suspendidos dos armazones de hierro, uno fijo en una posición determinada y otro móvil, en el cual está montada la aguja del instrumento.
- El campo magnético imana estos armazones de hierro con igual polaridad, cualquiera sea el sentido del flujo de la corriente en la bobina.
- Dado que los polos iguales se repelen, el armazón móvil se aleja del fijo desplazando la aguja del instrumento. Este movimiento ejerce una fuerza de rotación sobre el resorte.
- La distancia que el armazón se desplazará venciendo la fuerza del resorte, dependerá de la potencia del campo magnético, la cual depende a la vez de la corriente en la bobina.

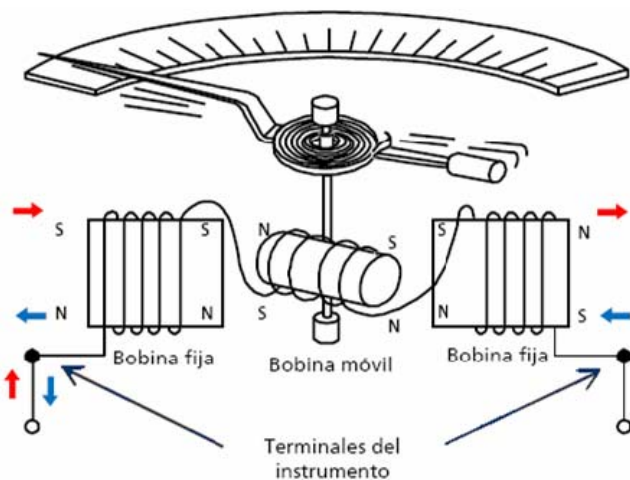


Los instrumentos de hierro móvil, pueden utilizarse como:

- Voltímetro, en cuyo caso la bobina consiste en varias vueltas de alambre delgado que produce un fuerte campo magnético con un pequeño flujo de corriente.
  - Amperímetros, en cuyo caso tienen una bobina de alambre de mayor calibre pero con menos vueltas y dependen de una corriente mayor para generar un campo fuerte.
- Estos instrumentos están calibrados para una frecuencia determinada, pero se pueden utilizar con otras. También se los puede utilizar para medir intensidad y voltaje de corriente continua

## Electrodinámicos

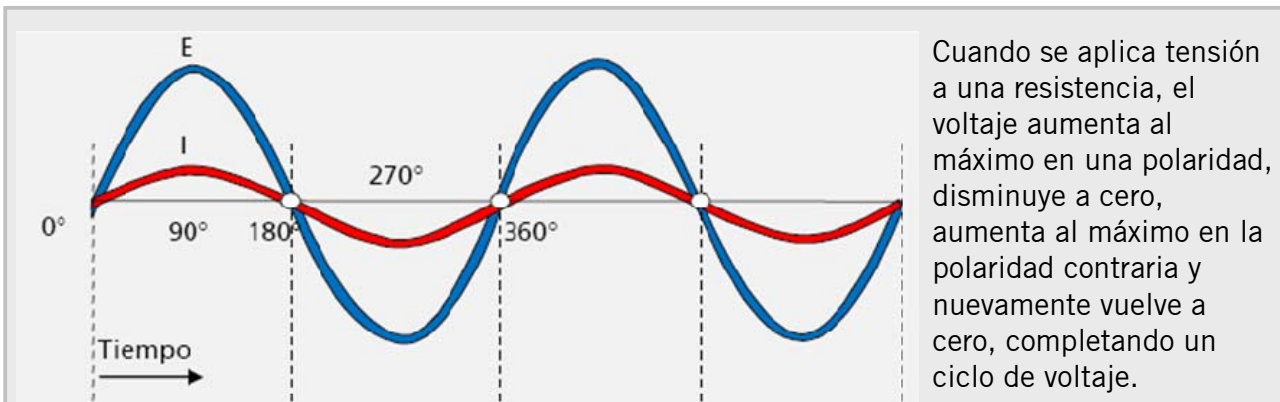
El instrumento electrodinámico está basado en el mismo principio que la bobina móvil del instrumento para corriente continua, excepto que el imán permanente es reemplazado por bobinas fijas. Consta de una bobina móvil, en la cual está montada la aguja indicadora, suspendida entre dos bobinas de campo conectadas en serie con ella; las tres bobinas están conectadas en serie con los terminales del instrumento, de manera que por las tres circula la misma corriente. Como la inversión de la corriente no invierte la fuerza de rotación, este instrumento también se puede usar en corriente continua.





## 6.3 Resistencia de los Circuitos de Corriente Alterna

Muchos circuitos de CA consisten en resistencias, solamente. Para ellos rigen las mismas normas y leyes que para los de corriente continua. Al aplicar estas mismas normas y leyes del circuito se deberá basar en los valores eficaces de tensión e intensidad de la CA.



El ciclo de corriente coincide exactamente con la tensión: cuando ésta aumenta, la intensidad aumenta también; cuando la tensión disminuye, la intensidad también disminuye y, en el momento en que el voltaje cambia de polaridad, el flujo de corriente invierte su sentido.



TENSIÓN



INTENSIDAD



TENSIÓN



INTENSIDAD

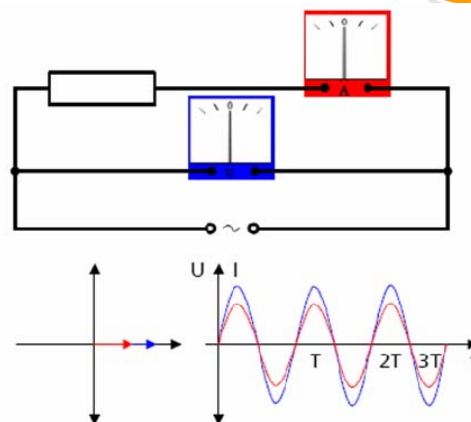
En el momento en que el voltaje cambia de polaridad, el flujo de corriente invierte su sentido.

Debido a esto se dice que las ondas de tensión y de intensidad están “en fase”.

### EJEMPLO

Este gráfico muestra un circuito sencillo que consiste en una fuente de tensión alterna, un voltímetro V (azul) y un amperímetro A (rojo).

Debajo del dibujo del circuito, a la izquierda, aparece un diagrama que permite leer el valor instantáneo de la fase de la oscilación mediante dos marcadores (azul para la tensión, rojo para la intensidad). Las proyecciones de los marcadores sobre el eje horizontal indican los valores instantáneos de U e I. A la derecha, aparece otro diagrama que ilustra la dependencia con el tiempo de la tensión e intensidad.



Potencia.

$$P = V * I$$

donde P = Potencia

V = Tensión

I = Corriente

La potencia consumida en un circuito de CA constituye el promedio de todos los valores instantáneos de potencia o de efecto de calentamiento para el ciclo completo.

Para determinar la potencia, todos los valores instantáneos de tensión e intensidad se multiplican entre sí para hallar los valores instantáneos de potencia, que entonces se esquematizan con el tiempo correspondiente formando la curva de potencia. El promedio de esta curva de potencia es la potencia real que se utiliza en el circuito.

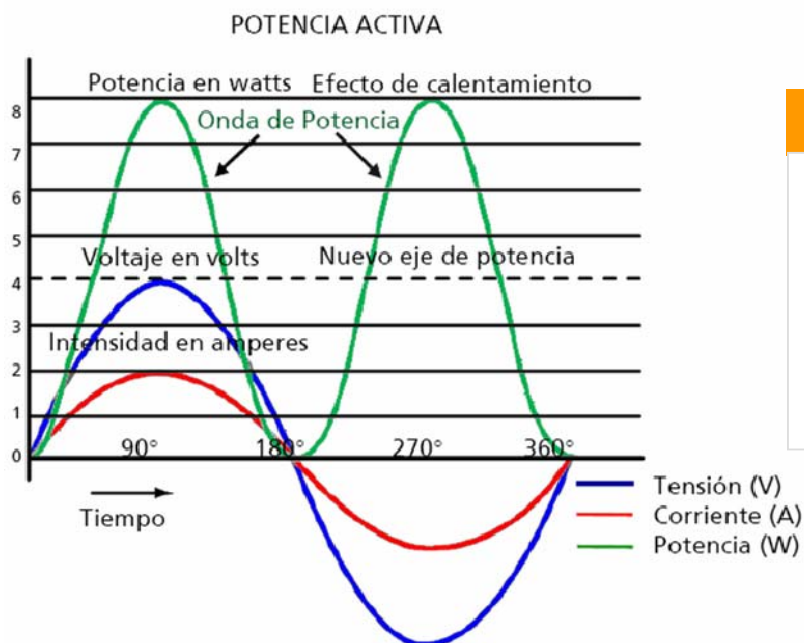
Para ondas de tensión e intensidad “en fase” todas las potencias instantáneas están por encima del eje cero y la curva correspondiente está integrada arriba de dicho eje.

Esto se debe a que si se multiplican dos valores positivos, el resultado es positivo, lo mismo que si se multiplican dos valores negativos, el resultado también es positivo; sin olvidar que cuando se multiplican dos valores menores que uno el resultado es menor que cualquiera los dos valores; tal como se ve en la curva.

### Factor de Potencia

Cuando  $I_{ef}$  y  $E_{ef}$  están en fase el producto de la potencia se denomina watts, igual que en los circuitos de CC. Cuando no están en fase, se lo denomina “volt-amperes”.

La relación entre la potencia en watts y los volt-amperes de un circuito se denomina “factor de potencia”.



### RECUERDE

En un circuito resistivo puro la potencia en watts es igual a  $I_{ef} \times E_{ef}$ , de manera que en él, el “factor de potencia” equivale a potencia en watts dividido por volt-amperes, que es igual a uno.

**ACTIVIDAD 14.**

Por favor conteste verdadero o falso según corresponda.

**1**

El voltímetro es un instrumento que se puede utilizar para medir intensidad y tensión y funciona en base al principio de repulsión magnética entre polos iguales.

Verdadero Falso **2**

La potencia consumida en un circuito de CA constituye el promedio de todos los valores instantáneos de potencia o de efecto de calentamiento para el ciclo completo.

Verdadero Falso **3**

Para determinar la potencia, todos los valores instantáneos de tensión e intensidad se suman entre sí para hallar los valores instantáneos de potencia, que entonces se esquematizan con el tiempo correspondiente formando la curva de potencia.

Verdadero Falso **4**

El instrumento electrodinámico está basado en el mismo principio que la bobina móvil del instrumento para corriente continua, excepto que el imán permanente es reemplazado por bobinas fijas.

Verdadero Falso **5**

La relación entre la potencia en watts y los volt-amperes de un circuito se denomina “factor de potencia”.

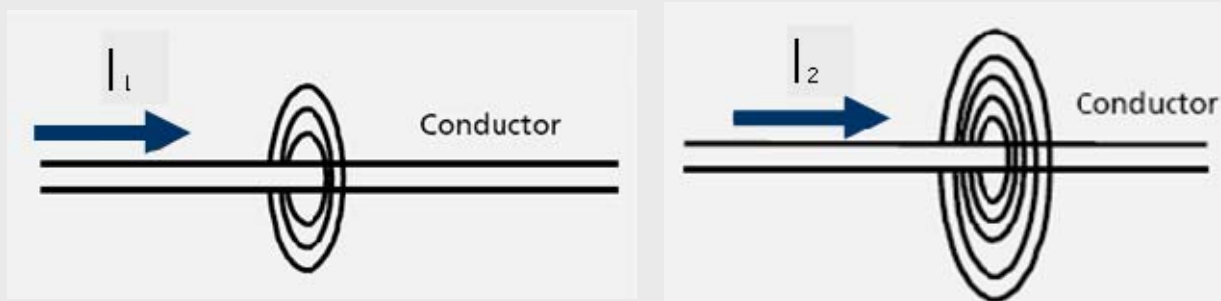
Verdadero Falso

## 6.4 Inductancia de los Circuitos de Corriente Alterna

### F.E.M de Autoinducción

La inductancia existe en un circuito porque la corriente eléctrica siempre produce un campo magnético. Las líneas de fuerza de este campo rodean al conductor que transporta la corriente, formando círculos concéntricos a su alrededor. La fuerza del campo magnético depende de la cantidad de flujo de corriente, puesto que un flujo grande produce muchas líneas de fuerza mientras que un flujo pequeño sólo produce unas pocas.

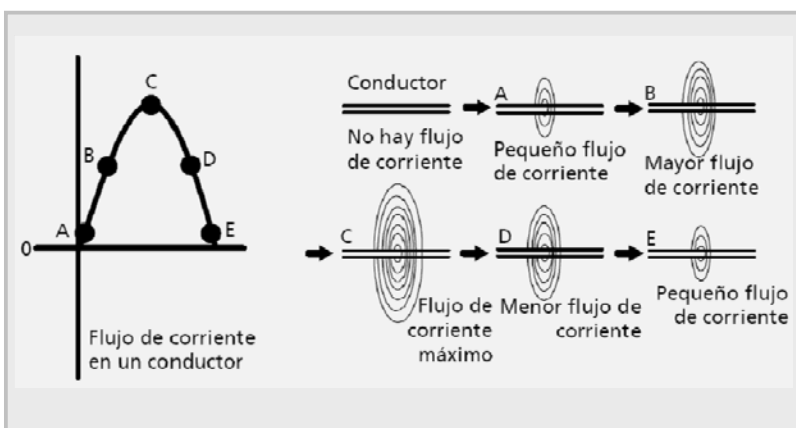
El flujo de corriente  $I$ , a través de un conductor, produce un campo magnético. Si el flujo de corriente es pequeño, el campo magnético será pequeño.  
=> La intensidad de la corriente determina la fuerza del campo magnético.



$I_2 > I_1 \Rightarrow$  el campo magnético 2 es mayor que el campo magnético 1

Cuando la intensidad de corriente del circuito aumenta o disminuye, la fuerza del campo magnético aumenta o disminuye en el mismo sentido.

Cuando la fuerza del campo aumenta, las líneas de fuerza aumentan en cantidad y se van extendiendo hacia afuera desde el centro del conductor. Del mismo modo, cuando la fuerza del campo magnético disminuye, las líneas del campo magnético se contraen hacia el centro del conductor.



Es esta expansión y contracción del campo magnético, según varía la intensidad de la corriente, la que provoca una f.e.m autoinducida cuyo efecto se conoce como “inductancia”.

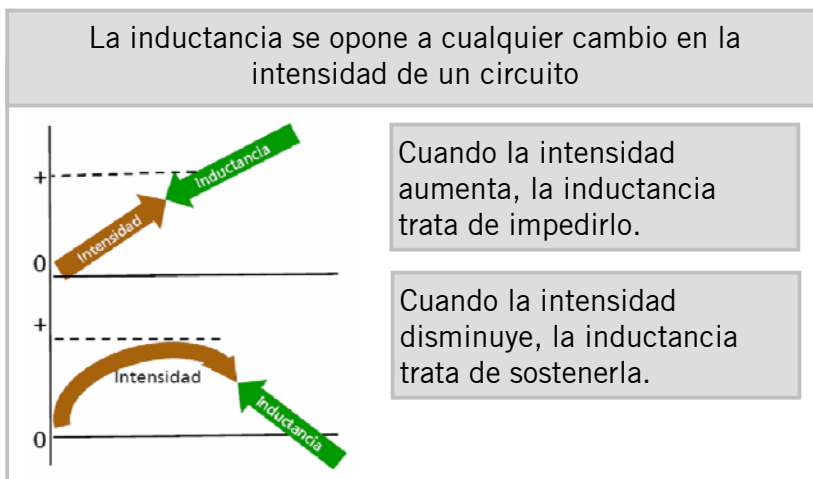
### RECUERDE

La inductancia cuyo símbolo es  se indica con la letra L



Dado que la CC tiene normalmente un valor constante, salvo cuando se inicia o se interrumpe el flujo de corriente, la inductancia sólo afecta el flujo de CC en esos momentos y, por lo general, su efecto en el funcionamiento del circuito es muy escaso.

La CA, en cambio, está variando constantemente. Por esta razón, la inductancia afecta al flujo de CA en todo momento. Aunque todos los circuitos tienen alguna inductancia, su valor depende de la forma en que está construido el circuito y de los dispositivos eléctricos que intervengan en él. En algunos circuitos la inductancia es tan pequeña que su efecto es prácticamente nulo hasta para CA.



### Factores que afectan la inductancia

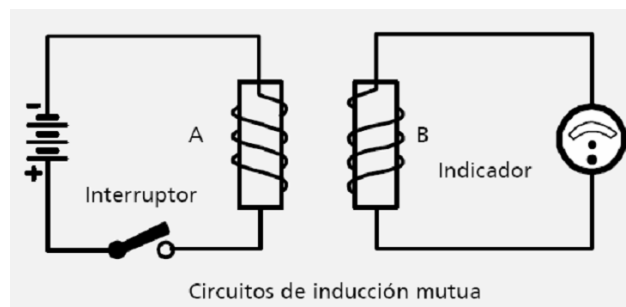
- Un núcleo de hierro inserto en el centro de una bobina hace aumentar la inductancia ya que ofrece a las líneas de campo un camino mejor que el aire.
- La inductancia también es afectada por otros factores como ser el número de espiras, la distancia entre espiras, el espacio entre espiras, el diámetro de la bobina y la sección del conductor.

### Inducción mutua

El término “inducción mutua” hace referencia al canje de energía de un circuito al otro.

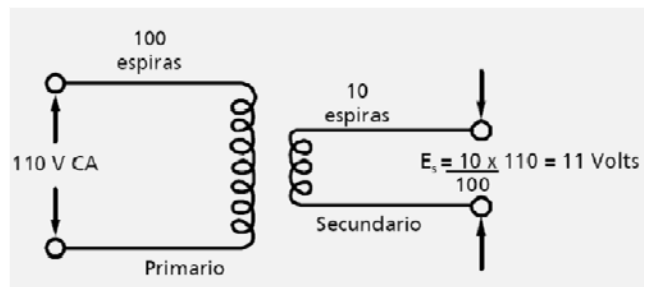
La bobina A obtiene energía de la batería cuando se cierra el circuito y se crea un campo magnético en la bobina A; entonces cuando el campo magnético de la bobina A está en expansión, atraviesa la bobina B induciendo una f.e.m en la bobina B.

El medidor del instrumento experimenta una desviación y muestra que por el circuito está pasando una corriente cuyo origen es la f.e.m inducida.



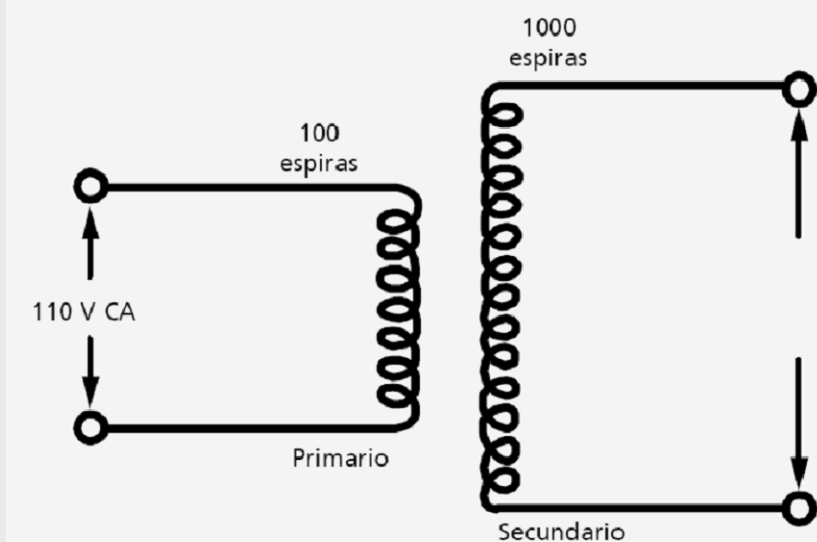
### ¿Cómo funciona un transformador?

El transformador simple consiste en dos bobinas muy cerca entre sí, pero aisladas eléctricamente una de otra. La bobina a la cual se le aplica CA se llama “primario”. Esta genera un campo magnético que atraviesa el arrollamiento de otra bobina a la cual se llama “secundario” y produce en ella una tensión. Las bobinas no están conectadas una con otra. Sin embargo, existe entre ambas un acoplamiento magnético porque en el transformador se transfiere potencia eléctrica de una bobina a la otra mediante un campo magnético alternativo.



### ACTIVIDAD 15.

De acuerdo al funcionamiento del transformador y las consideraciones anteriores, ¿cómo variará la tensión del transformador si varía el número de espiras en el secundario? Calcule la tensión de salida.



#### RECUERDE

La capacidad de los transformadores se expresa en kVA porque es independiente del factor de potencia.



#### GLOSARIO

El transformador reductor es aquel que reduce el voltaje. El transformador elevador, en cambio, lo eleva.

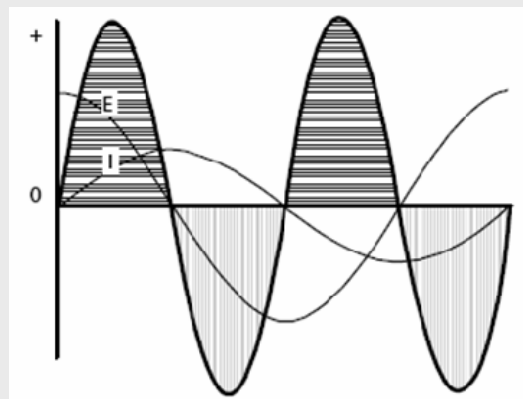
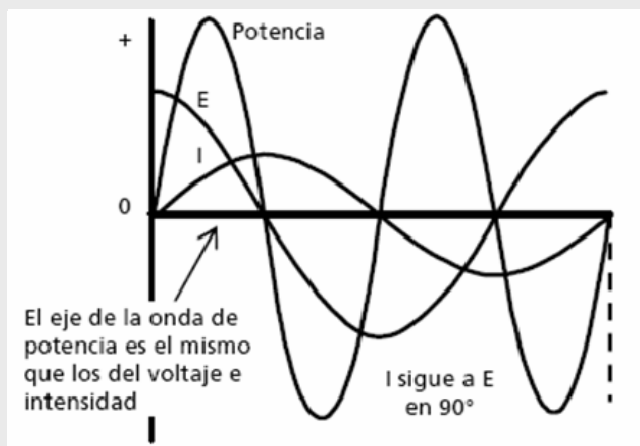


## Potencia en Circuitos Inductivos

En un circuito teórico que sólo tuviese inductancia pura, la intensidad sufre un retardo de  $90^\circ$  con respecto a la tensión. Para determinar la onda de potencia de un circuito así, se multiplican todos los valores instantáneos de tensión y corriente para formar la curva de potencia.

En este caso cuando se multiplica un número positivo y otro negativo el resultado es un número negativo; por lo tanto se halla que en este circuito hipotético de inductancia pura, la mitad de los valores son negativos. Por lo tanto para este circuito el eje de la tensión y la intensidad es también el eje de la potencia.

La frecuencia de la onda de potencia es doble que la de las ondas de intensidad y tensión.



La porción de potencia que está por encima de cero, se llama "positiva" y representa la energía aportada al circuito por la fuente de potencia; la que está por debajo de cero se llama "negativa" y representa energía que el circuito devuelve a la fuente de potencia.

En el circuito inductivo puro, la potencia suministrada al circuito da lugar a la formación de un campo. Cuando este campo se contrae, devuelve una cantidad de energía igual a la fuente de potencia.

La potencia real consumida en un circuito se determina restando la potencia negativa de la potencia positiva.

### PARA PENSAR...

Supongamos un circuito inductivo puro.  
¿Le parece razonable usar potencia de un circuito puramente inductivo para producir calor o luz?



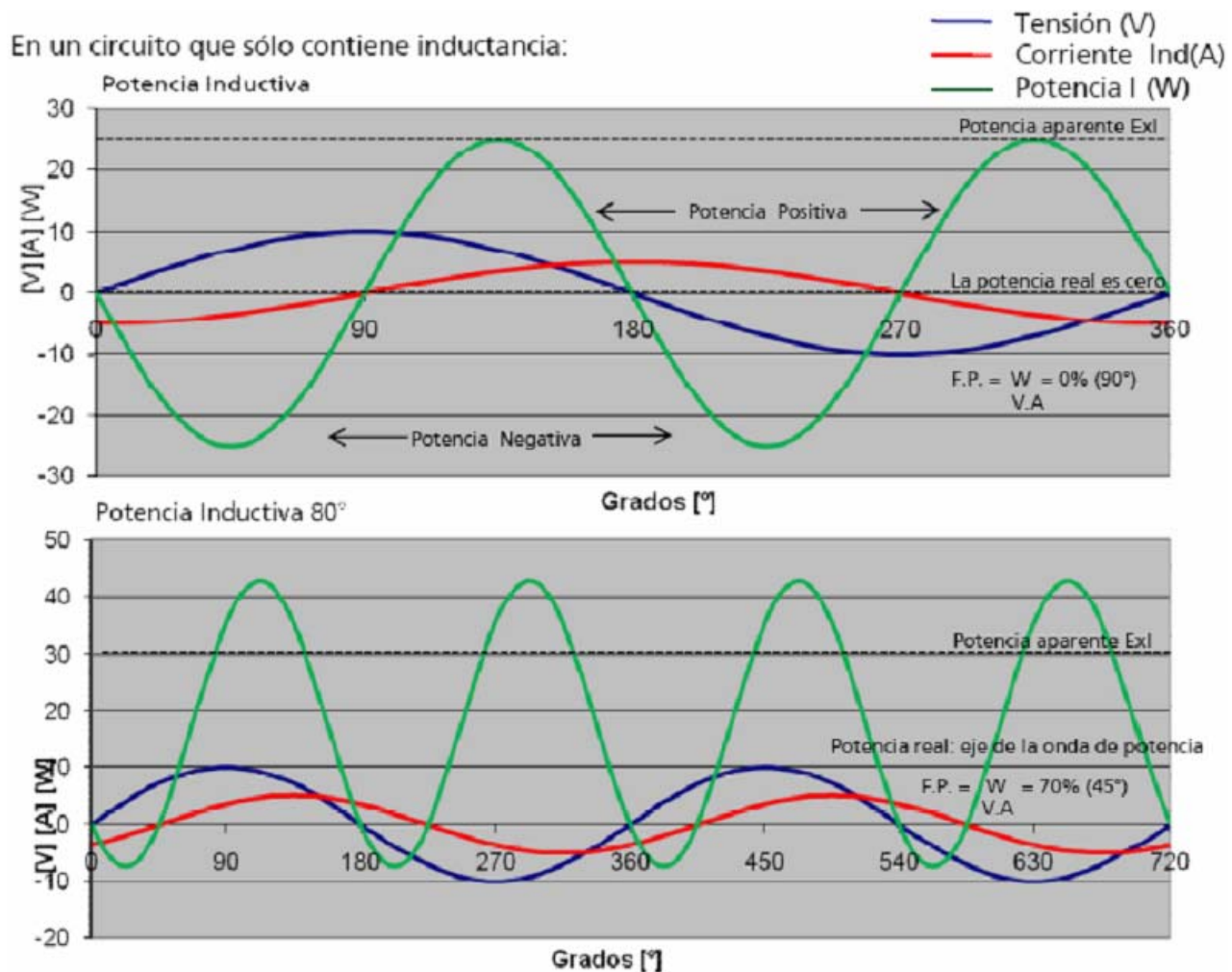


## Potencia aparente o verdadera

Todo circuito práctico contiene cierta resistencia, y, puesto que el ángulo de fase depende de la relación entre la reactancia inductiva y la resistencia, siempre es menor de 90°.

### ATENCIÓN

Para ángulos de fase menores de 90° la cantidad de potencia positiva siempre es superior a la potencia negativa, representando la diferencia entre ambas la potencia verdadera que se utiliza para superar la resistencia de un circuito.



### Factor de potencia.

En el circuito inductivo hay ángulo de fase y la potencia en watts no es igual a la potencia aparente; en consecuencia, el factor de potencia estará comprendido entre cero y 100%.

$$F.P. = \frac{\text{Potencia\_real}}{\text{Potencia\_aparente}} = \frac{\text{Watts}}{\text{Volt - Amperes}} = \frac{0}{1000} = 0..(0\%)$$

El factor de potencia sirve para determinar el porcentaje de potencia que se aprovecha en watts y el porcentaje que es devuelto a la fuente en forma de potencia devatiada.

El factor de potencia de un circuito inductivo puro es igual al cero por ciento y su ángulo de fase es de 90°.

**ACTIVIDAD 16.**

Se ha analizado el comportamiento de la corriente alterna en circuitos inductivos.



Por favor responda las siguientes preguntas:

**1**

El transformador simple consiste en dos bobinas conectadas entre sí. La bobina a la cual se le aplica CA se llama “primario”. Esta genera un campo magnético que atraviesa el arrollamiento de otra bobina a la cual se llama “secundario” y produce en ella una tensión.

¿Está de acuerdo con este enunciado?

Sí

No

Justifique su respuesta:

---

---

---

---

**2**

La potencia es siempre positiva.

¿Está de acuerdo con este enunciado?

Sí

No

Justifique su respuesta:

---

---

---

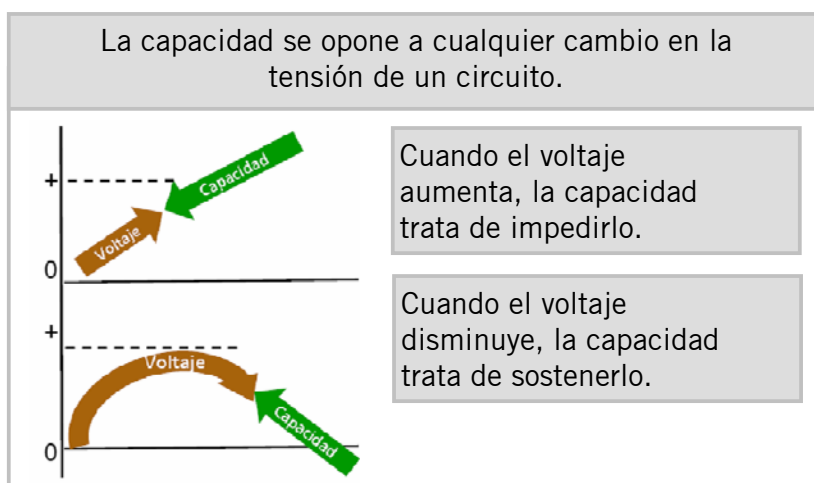
---

## 6.5 Capacitancia o Reactancia Capacitiva de los Circuitos de Corriente Alterna

La reactancia capacitiva es la oposición al flujo de corriente que ofrece la capacidad de un circuito. Cuando se utiliza una fuente de CC, sólo circula corriente para cargar o descargar al capacitor. Dado que en el circuito capacitivo de CC no hay flujo continuo, la reactancia capacitiva se considera infinita.

La CA, en cambio, varía continuamente de valor y polaridad por lo cual el capacitor siempre se está cargando y descargando, dando como resultado un flujo continuo de corriente por el circuito y un valor finito de reactancia capacitiva.

Cuando el voltaje se mantiene constante el capacitor se comporta como si no estuviera.

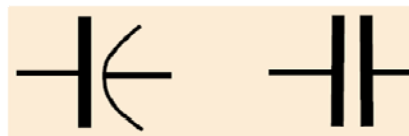


En general, la tensión de CC varía únicamente cuando se cierra o se abre un circuito, por lo tanto la capacitancia sólo afecta al circuito CC en esos momentos.

En los circuitos de CA, en cambio, el voltaje está variando continuamente, de manera que el efecto de la capacitancia es continuo en ellos. La cantidad de capacitancia presente en un circuito depende de la forma en que está construido y de los dispositivos eléctricos que intervienen en él. La capacitancia puede ser tan pequeña que su efecto sobre el voltaje del circuito sea desdeñable.

### RECUERDE

Los circuitos eléctricos que se utilizan para agregar capacitancia se denominan “condensadores” o “capacitores” y el símbolo es:



### Constante de tiempo capacitiva

Cuando se aplica tensión en los terminales de un circuito que contiene capacitancia, el voltaje en el condensador no iguala instantáneamente la tensión aplicada a los terminales.

Para que las placas del condensador adquieran carga completa se requiere cierto tiempo. La tensión entre las placas aumenta hasta igualar el voltaje aplicado, describiendo una curva similar a la curva de intensidad de corriente de un circuito inductivo.

Cuando mayor sea la resistencia del circuito, mayor será el tiempo necesario para que el condensador alcance su tensión máxima, por cuanto la resistencia del circuito se opone al flujo de corriente necesario para cargar el condensador.

El tiempo necesario para que el condensador se cargue depende del producto de la resistencia por la capacidad. Este producto  $RC$ , o sea resistencia multiplicada por capacidad, es la “constante de tiempo” de un circuito capacitivo.

La constante de tiempo  $RC$  es igual al tiempo en segundos necesario para descargar el condensador hasta que pierda el 63,2 % de su carga completa.

### ACTIVIDAD 17.



Conteste correctamente según corresponda.

- 1 Los circuitos eléctricos que se utilizan para agregar capacitancia se denominan “\_\_\_\_\_”.
- 2 La \_\_\_\_\_ capacitiva es la oposición al flujo de corriente que ofrece la capacidad de un circuito.
- 3 La \_\_\_\_\_ es igual al tiempo en segundos necesario para descargar el condensador hasta que pierda el 63,2 % de su carga completa de un circuito capacitivo.

### ¡Felicitaciones!

Usted ha finalizado el capítulo 6.

A continuación se desarrollará el capítulo Condensadores.



# Condensadores

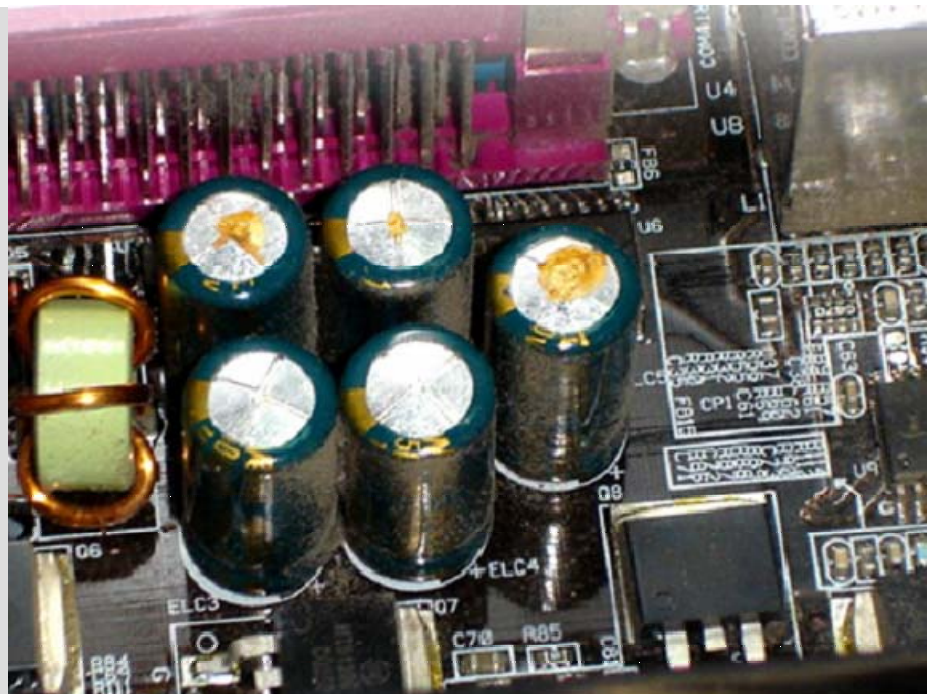
## TEMAS DEL CAPÍTULO 7

---

7.1 Características	83
7.2 Tipos de Condensadores	84
7.3 Potencia de un Circuito Capacitivo	86

Los condensadores, o capacitores, son elementos usados en los circuitos eléctricos.

Su función principal es la del almacenamiento de cargas eléctricas.



## 7.1 Características

Las corrientes de carga y descarga de un capacitor comienzan con un valor alto y van declinando a cero a medida que el condensador se carga o se descarga. En el caso del condensador en carga, las placas descargadas ofrecen poca oposición a la corriente pero a medida que aumenta, ofrecen más y más oposición.

### Factores que afectan la capacidad

1	<p>La superficie de la placa es un factor importantísimo para determinar la cantidad de capacitancia, puesto que la capacidad varía en proporción directa con la superficie de las placas. Una gran superficie de placa ofrece espacio para un exceso de electrones mayor que una superficie pequeña, por la cual la carga que puede almacenar será más grande. Del mismo modo, la gran superficie de placa tiene más electrones que ceder y, por lo tanto, retendrá una carga positiva más grande que una superficie pequeña. De este modo el aumento de la superficie de placa incrementa la capacitancia, mientras que su disminución la hace mermar.</p> <p style="text-align: center;">↑ Superficie de placa      ↑ Capacidad de carga</p>
2	<p>El efecto que tienen dos cuerpos cargados entre ellos depende de la distancia que los separa. Como la acción de la capacitancia depende de las dos placas y de la diferencia de sus cargas, la capacidad varía cuando se modifica la distancia entre las placas. La capacidad de dos placas aumenta a medida que las placas se acercan y disminuye cuando se alejan. Esto sucede porque cuánto más cerca estén, mayor será el efecto que la carga de una placa tendrá en la carga de la otra. Cuando en una de las placas de un condensador se acumula un exceso de electrones, los electrones son expulsados de la placa opuesta, provocando en ella una carga positiva. Del mismo modo, la placa con carga negativa induce carga negativa en la opuesta. Cuanto más cerca estén las placas, mayor será la fuerza existente entre ambas, fuerza que aumenta la capacitancia del circuito.</p> <p style="text-align: center;">↓ Distancia entre placas      ↑ Capacidad de carga</p>
3	<p>Utilizando las mismas placas en posición fija a cierta distancia entre ambas, la capacidad se modificará si se utilizan como dieléctricos materiales distintos. El efecto de los distintos materiales es comparable al del aire, o sea que si un condensador tiene una capacitancia dada cuando se utiliza aire como dieléctrico, otros materiales, en vez de aire, multiplicarán la capacidad en cierta medida. A esta medida se la llama "constante dieléctrica". Por ejemplo, algunos tipos de papel aceitado tienen una constante dieléctrica de 3, lo que significa que si este papel aceitado se coloca entre las placas, la capacidad será el triple que si el dieléctrico fuese aire. Materiales distintos tienen constantes dieléctricas diferentes, de manera que modifican la capacidad si se los coloca entre las placas para que hagan de dieléctricos.</p> <p style="text-align: center;">≠ Materiales dieléctricos      ≠ Capacidad de carga</p>

### GLOSARIO

Se denomina Material Dieléctrico a aquellos materiales que no son conductores de electricidad.



## 7.2 Tipos de Condensadores

En electricidad y electrónica se emplean muchos tipos de condensadores. Para elegir el tipo más adecuado para un trabajo en particular, se deberá saber cómo están contruidos y cómo funcionan.

### Condensadores de Aire

El tipo de condensador más elemental es el de aire (que puede ser fijo o variable). Está contruido con placas metálicas separadas por aire, es similar al condensador de vacío que consiste en dos placas separadas por vacío que, a su vez, hace de dieléctrico. La capacidad de estos condensadores es baja, variando entre 1 y 500mF.

### Condensadores de Mica

Los condensadores de mica consisten en delgadas hojas metálicas separadas por láminas de mica, moldeadas dentro de un recipiente plástico. Su capacidad varía entre 10mF y 0.01mF. La tensión aplicada está condicionada por el espesor del dieléctrico, que hace las veces de aislante entre ambas placas.

### Condensadores de Papel

Estos condensadores utilizan tiritas metálicas que hacen las veces de placas y que están separadas entre sí por bandas de papel encerado. Su capacidad varía entre 250mF y 1mF. Los condensadores de caja metálica consisten en condensadores de papel en cartucho encerrados en un recipiente de metal para hacerlos más resistentes al esfuerzo mecánico y la intemperie. Los condensadores de papel para circuitos de alta tensión (600 V y más) están impregnados en aceite y rellenos con este material. El recipiente es metálico hermético y se emplean varios tipos de terminal.

### Condensadores de Electrolíticos

Para capacidades superiores a 1mF se emplean condensadores electrolíticos cuya capacidad está entre 1 y 1000mF. A diferencia de los demás condensadores, el electrolítico está polarizado y, si se lo conecta mal, se rompe y hace cortocircuito. Para compensar los cambios de polaridad se utiliza un tipo especial de condensador electrolítico que sirve para CA.

### Condensadores de Cerámica

Un tipo de condensador tiene como material dieléctrico cerámica y una película de plata que hace las veces de placa tiene una capacidad entre 1 mF o 01 mF se los hace de varias formas, los más comunes son los de disco o tubulares puede aislar tensiones de hasta 2000V, son sumamente pequeños y ocupan espacios muy reducidos.

### RECUERDE

Condensadores de capacidades idénticas pueden servir para tensiones distintas. Si se aumenta el grosor del dieléctrico, las placas estarán más distantes entre sí, reduciendo su capacidad. Esto, a su vez, hará necesario aumentar la superficies de las placas para compensar la pérdida. Por lo tanto los condensadores para voltajes altos son de tamaño mayor.



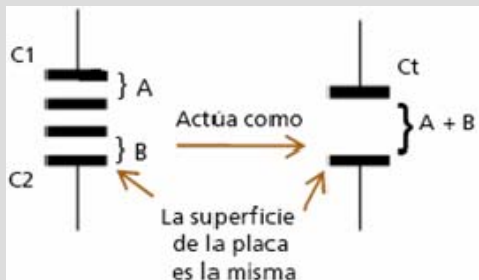


## Conexión de condensadores

Cuando se conectan condensadores en serie o en paralelo, el efecto sobre la capacidad es opuesto al de las resistencias si estuvieran conectadas de la misma manera en el circuito.

### Conexión de condensadores en serie

La conexión de las resistencias en serie aumenta la resistencia total porque prolonga el camino de resistencia por el cual debe circular la corriente, mientras que la conexión de condensadores en serie disminuye la capacidad total porque en realidad aumenta el espacio entre las placas.

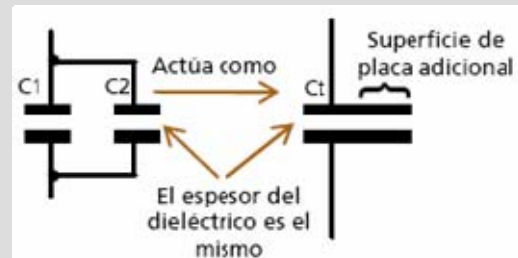


Para determinar la capacidad total de condensadores conectados en serie se aplica una fórmula similar a la que regía para las resistencias en paralelo.

$$C_t = \frac{C_1 \times C_2}{C_1 + C_2}$$

### Conexión de condensadores en paralelo

Cuando se conectan resistencias en paralelo, la resistencia total disminuye porque la superficie transversal por la cual puede circular la corriente aumenta. En los condensadores conectados en paralelo sucede a la inversa. La capacidad total aumenta porque la superficie de placa que recibe carga es mayor.



La capacidad total de condensadores en paralelo se halla sumando los valores de los distintos condensadores que están en paralelo.

$$C_t = C_1 + C_2 + C_3$$

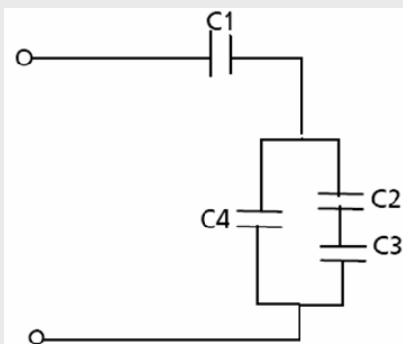
## ACTIVIDAD 18.

Por favor resuelva la siguiente actividad:



1

Para el circuito de la figura, determine la capacidad total del circuito.



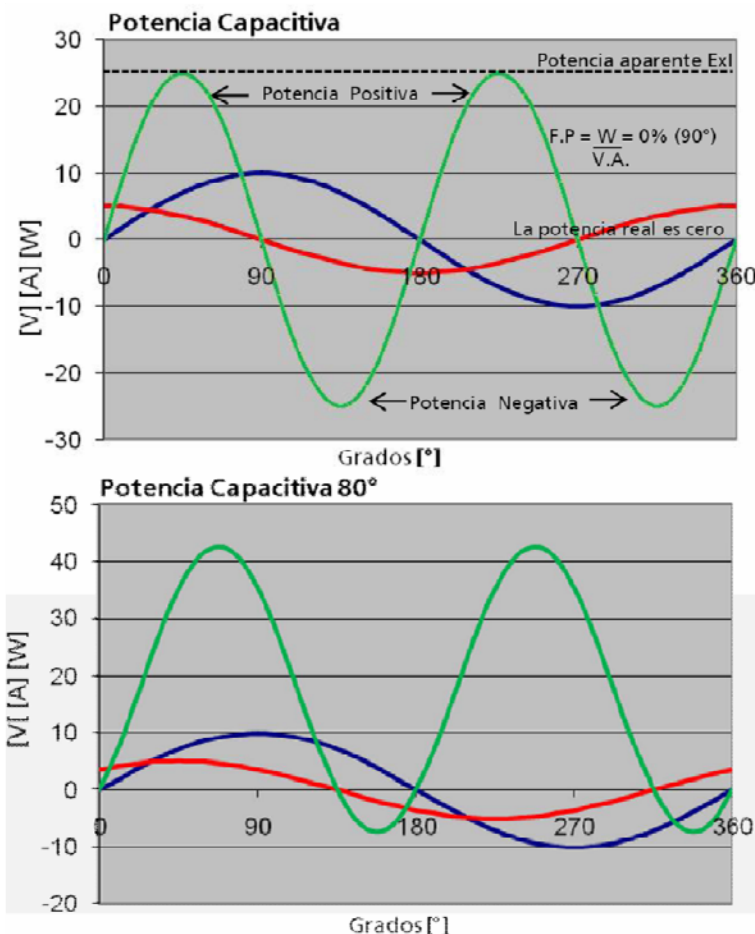
C1= 5mF  
C2= 2mF  
C3= 3mF  
C4= 4mF

$C_{total} = \dots\dots\dots$

## 7.3 Potencia de un Circuito Capacitivo

En el circuito capacitivo, como el circuito inductivo, la potencia real utilizada es menor que la potencia aparente del circuito. En el circuito capacitivo la intensidad precede a la tensión.

Nuevamente la onda de potencia se obtiene multiplicando los valores respectivos de la intensidad y la tensión para obtener los valores instantáneos de potencia. La onda de potencia de un circuito de CA consistente en capacidad pura aparece en la figura de abajo. Del mismo modo que la onda de potencia del circuito inductivo puro, su eje es el mismo que el de la tensión y la intensidad, mientras que la frecuencia es el doble que la de estas dos.



Para este circuito el ángulo de fase entre las ondas de tensión e intensidad es de  $90^\circ$ , y la potencia negativa igual a la positiva. La fórmula del factor de potencia del circuito capacitivo es igual que la del inductivo.

- Tensión (V)
- Corriente Cap (A)
- Potencia C (W)

Cuando se agregan resistencias al circuito capacitivo, el ángulo de fase disminuye y la potencia positiva se vuelve mayor que la negativa. Como la tensión y la corriente están fuera de fase, la potencia en watts no corresponde a la potencia aparente y el factor de potencia está entre cero y 100%.

**¡Felicitaciones!**

Usted ha finalizado el capítulo 7.

A continuación se desarrollará el capítulo Impedancia.



# Impedancia

## TEMAS DEL CAPÍTULO 8

---

### 8.1 Resonancia Serie - Paralelo

88

Las impedancias permiten establecer la relación entre la corriente y el voltaje en circuitos que contienen elementos resistivos, inductivos o capacitivos de manera similar al cálculo de circuitos resistivos en corriente continua.



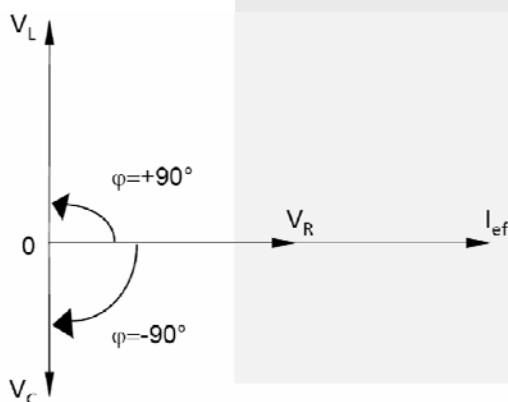
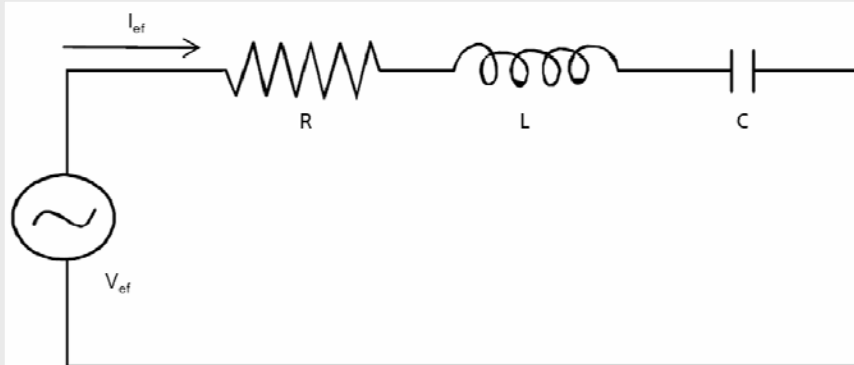
## 8.1 Resonancia Serie - Paralelo

Cuando resistencia e inductancia están en serie, la oposición total no se puede determinar sumando estos dos valores directamente. La reactancia inductiva hace que la intensidad sufra un retraso de  $90^\circ$  con respecto al voltaje, mientras que en la resistencia pura el voltaje y la intensidad están en fase. Por lo tanto, el efecto de la reactancia inductiva en combinación con el efecto de la resistencia se demuestra dibujando ambos valores en ángulo recto entre sí.

Asimismo, si el circuito se compone de un capacitor y una resistencia, la reactancia capacitiva hace que la intensidad esté  $90^\circ$  adelantada con respecto al voltaje. En este caso, ambos valores también se representan por vectores con un ángulo recto entre sí, pero la tensión se dibuja en el cuarto cuadrante.

El cálculo de la impedancia varía según los elementos Resistencia (R), Inductancia (L) y Capacitor (C) estén en serie o en paralelo.

### Circuitos R-L-C Serie



La corriente  $I_{ef}$  que circula produce tres caídas:

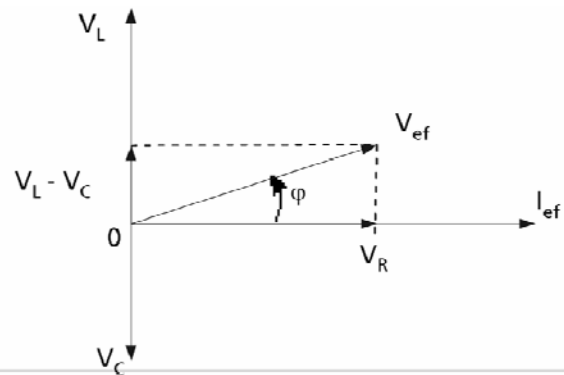
- $V_R$  en fase con  $I_{ef}$ ,
- $V_L$  adelantada  $90^\circ$  con respecto a  $I_{ef}$ ,
- $V_C$  atrasada  $90^\circ$  con respecto a  $I_{ef}$ .

La figura muestra el diagrama vectorial, con  $I_{ef}$  como referencia por ser común a los tres elementos.

1

¿Qué sucede si  $V_L > V_C$ ?

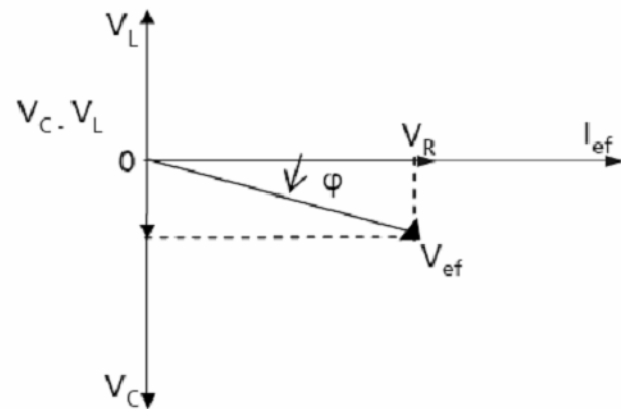
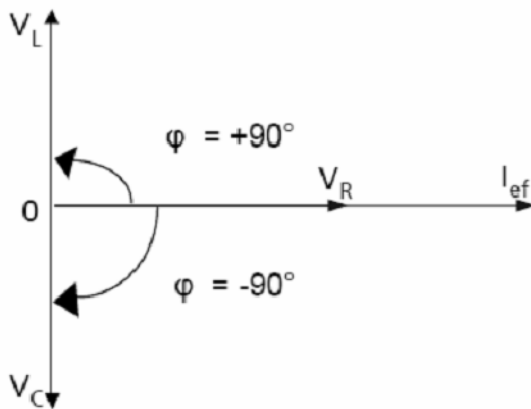
En ese caso, la reactancia inductiva es mayor que la capacitiva, como se observa al hacer la suma vectorial de las tres tensiones. Se observa que  $V_{ef}$  adelanta a la corriente  $I_{ef}$ , lo cual es lógico porque el circuito es de tipo inductivo.



2

Ahora, supongamos que  $V_C > V_L$

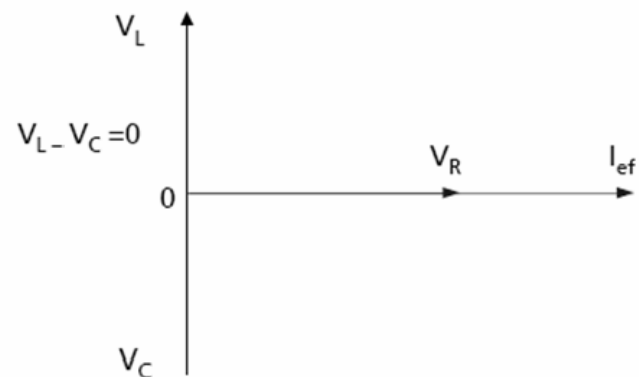
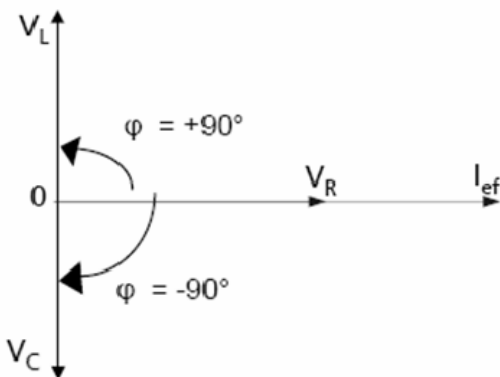
La reactancia capacitiva es mayor que la inductiva. En el diagrama de suma de tensiones se observa que la tensión atrasa a la corriente, lo cual es lógico por cuanto el circuito es capacitivo.



3

Y... ¿si  $V_C = V_L$ ?

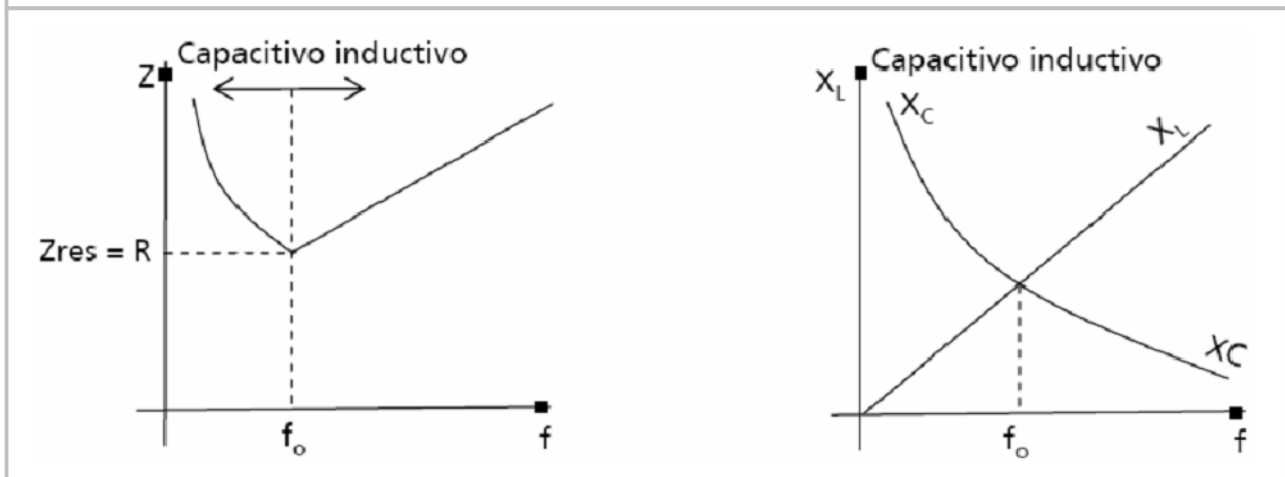
En este caso, según puede verse en el diagrama vectorial, la tensión de alimentación cae toda en la resistencia únicamente, y está en fase con la corriente. El circuito funciona como resistivo puro, a pesar de haber capacidad e inductancia.



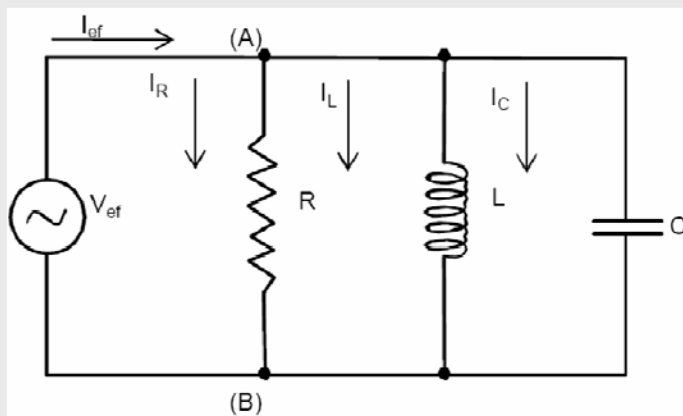
La impedancia del circuito es igual a la resistencia sola. Esto se debe a que:

$$X_L = X_C$$

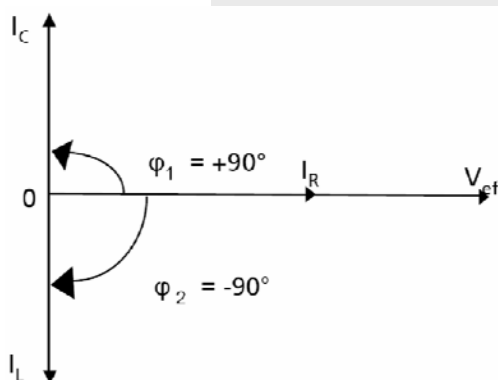
Se dice que cuando  $X_L = X_C$ , el circuito está en resonancia. Como  $X_L$  aumenta con la frecuencia y  $X_C$  disminuye con la frecuencia, existe un valor de frecuencia para el que ambos se igualan, y es la frecuencia de resonancia " $f_0$ ".



Circuitos R-L-C Paralelo



Si estamos en resonancia, o sea  $X_L = X_C$ ; el diagrama vectorial será:

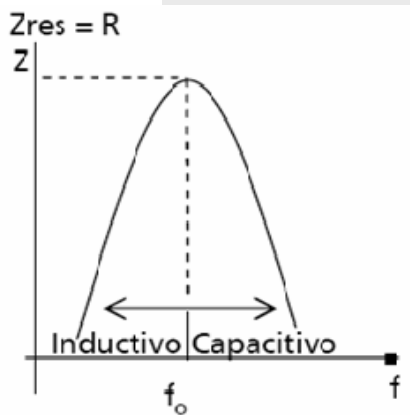


La suma será:

$$I_L - I_C = 0 \quad \phi = 0^\circ$$

The diagram shows the sum of currents. A horizontal vector  $I_R$  is shown pointing to the right. Below it, a zero vector is shown, indicating that the net current is  $I_R$ .

Se observa que la tensión y la corriente están en fase. Además, la corriente, que es igual a  $I_R$ , es la mínima posible, por lo cual resulta que: En un circuito paralelo, a la frecuencia de resonancia, la impedancia es máxima.



- Para frecuencias menores que  $f_0$ , la reactancia inductiva se hace cada vez menor y entonces  $I_L$  es cada vez mayor. El circuito tendrá carácter inductivo porque la corriente  $I_{ef}$  irá en atraso respecto de  $V_{ef}$ .
- Para frecuencias mayores que  $f_0$ , la reactancia capacitiva es cada vez menor y entonces  $I_C$  es cada vez mayor. El circuito tiene carácter capacitivo ya que la corriente  $I_{ef}$  irá en adelanto a  $V_{ef}$ .

La frecuencia de resonancia se puede calcular fácilmente, para circuitos en serie o en paralelo, teniendo en cuenta que es la frecuencia  $f_0$  a la cual se hace  $X_L = X_C$

$$X_L = X_C$$

$$f_0 \cdot f_0 = \frac{1}{2\pi \cdot C \cdot 2\pi \cdot L}$$

$$(f_0)^2 = \frac{1}{(2\pi)^2 \cdot L \cdot C}$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$$

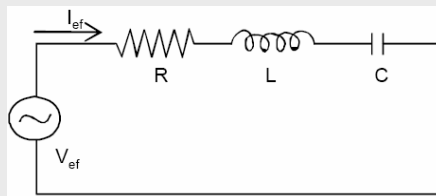
### ACTIVIDAD 19.

Para el circuito de la figura dibujar el diagrama fasorial indicado.



1

1.  $V_C > V_L$



**¡Felicitaciones!**

Usted ha finalizado el capítulo 8.

A continuación se desarrollará el capítulo Circuitos Trifásicos.





# Circuitos Trifásicos

## TEMAS DEL CAPÍTULO 9

---

9.1 Circuitos de Corriente Alterna Trifásicos	93
9.2 Potencia en los Sistemas Trifásicos	100
9.3 Secuencia de Fases	106

La principal aplicación de los circuitos trifásicos es la distribución de la energía eléctrica. Entre las ventajas, comparando con un circuito monofásico, se puede mencionar una mayor potencia, menores costos de transporte y que la potencia enviada a la carga es siempre constante.

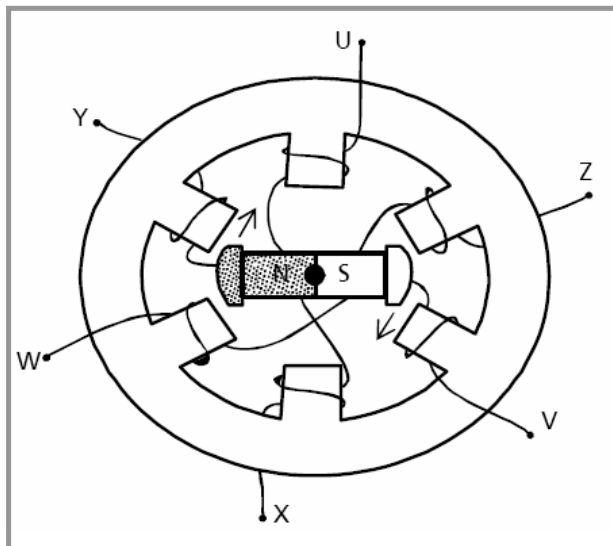


## 9.1 Circuitos de Corriente Alterna Trifásicos

Los circuitos de corriente alterna que vimos hasta ahora son monofásicos, ya que están constituidos por una sola corriente alterna. Pero la técnica ha desarrollado circuitos constituidos por varias corrientes alternadas, que se denominan polifásicos, y en particular:

Bifásicos	Constituidos por dos fases (2 corrientes)
Trifásicos	Constituidos por tres fases (3 corrientes)
Exafásicos	Constituidos por seis fases (6 corrientes)
Dodecafásicos	Constituidos por doce fases (12 corrientes)

Los generadores que producen estos sistemas de tensiones tienen tantos circuitos como números de fases. En este curso, nos ocuparemos de los circuitos trifásicos.

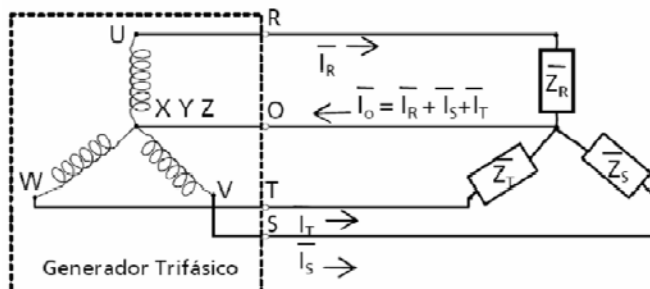
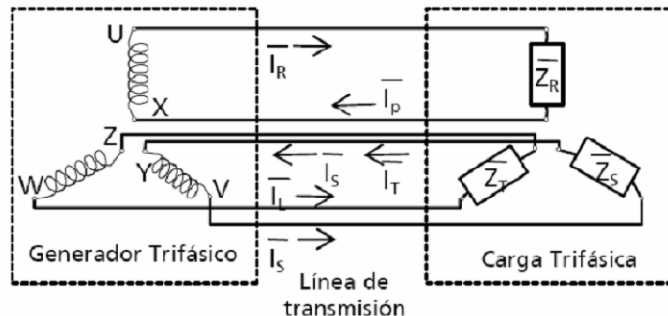


El esquema de la figura representa al generador trifásico más elemental: vemos que contiene un número triple de sistemas generadores, colocados equidistantes entre sí. Cada uno genera una f.e.m. alternada independiente de los otros y, como están distribuidos, no hay concordancia en el tiempo.

Efectivamente, lo que sucede en el circuito U X también sucede en el V Y pero  $120^\circ$  después, e igualmente en el W Z pero  $240^\circ$  más tarde. Por eso se dice que las f.e.m. (o las tensiones) de un sistema trifásico están todas desfasadas  $120^\circ$  entre sí.

En la figura se han representado las tres fases del generador, alimentando tres circuitos independientes, con sus respectivas cargas.

La fase de terminales U X mediante dos conductores alimenta la carga de impedancia  $Z_R$ , produciendo la corriente  $I_R$  lo mismo ocurre con las otras dos fases, observándose así que cada fase puede funcionar como un circuito independiente con sus dos conductores. Sin embargo, esto significa instalar 6 conductores en total, razón por la cual la técnica ha buscado una simplificación.



En la figura se observa cómo se han agrupado los tres conductores centrales en uno solo que transportará la corriente suma, lo que es perfectamente factible y no ocasiona inconvenientes.

Las tres fases del generador están unidas formando lo que se llama "polo neutro" y que generalmente se une "a tierra" que se emplea por razones de seguridad.

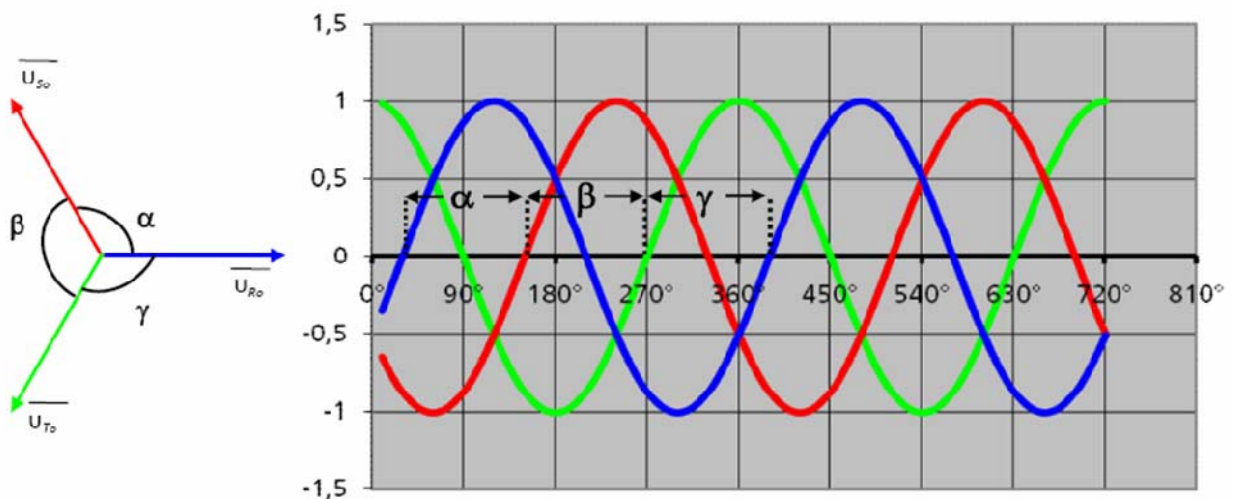
Los terminales del generador son entonces 4 y de allí parte la red tetrafilar que constará entonces de 4 conductores, tres de los cuales se llaman vivos y el cuarto neutro. Las letras empleadas para señalar la red trifásica, R S T O son normalizadas y adoptadas casi universalmente. El neutro transporta la suma de las tres corrientes de los polos vivos, y contrariamente a lo que pueda pensarse en principio su valor es generalmente más pequeño que la de los conductores, razón por la cual se construye de sección algo menor que los otros tres.

## RECUERDE

Un sistema trifásico es simplemente un conjunto de tres sistemas monofásicos.



Representación cartesiana de las tensiones de fase.



Vectores representativos de las tensiones de fase.

— Fase R  
— Fase S  
— Fase T

Se llama sistema simétrico en fase al que cumple:  $\alpha = \beta = \gamma = 120^\circ$

Se llama sistema simétrico en magnitud al que cumple:  $I_{U_{R0}} = I_{U_{S0}} = I_{U_{T0}}$

A un sistema propio y regular se lo llama perfecto: Propio + regular = Perfecto = Equilibrado

## ATENCIÓN

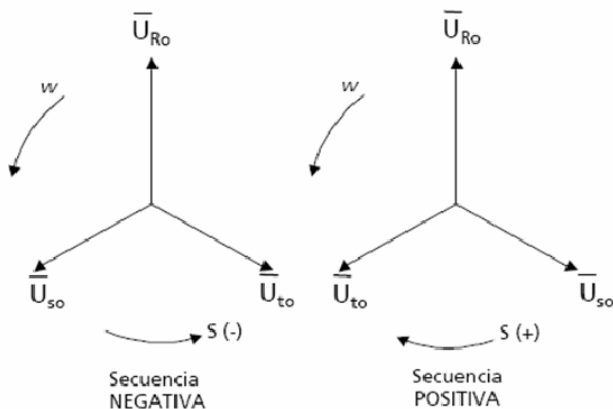


Todos los sistemas trifásicos de tensiones que producen las máquinas generadoras son perfectos, y por lo tanto equilibrados. Las corrientes que de ellos deriven pueden o no cumplir esta condición, según las características de los receptores conectados a ellos. La asimetría o desequilibrio de tensiones es, en la mayor parte de los casos, un defecto o un accidente de la red.

### Secuencia de Fases

Cuando se conectan condensadores en serie o en paralelo, el efecto sobre la capacidad es opuesto al de las resistencias si estuvieran conectadas de la misma manera en el circuito.

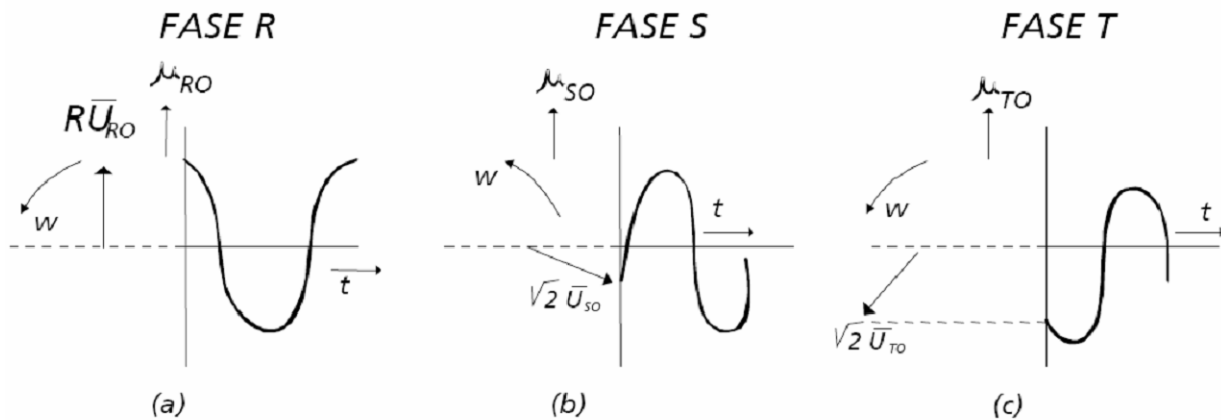
Los diagramas vectoriales admiten un sentido de giro antihorario de los vectores armónicos. Es menester ponerse de acuerdo con respecto al orden de sucesión de las fases, lo que se llama secuencia.



### Tensiones en un Sistema Trifásico

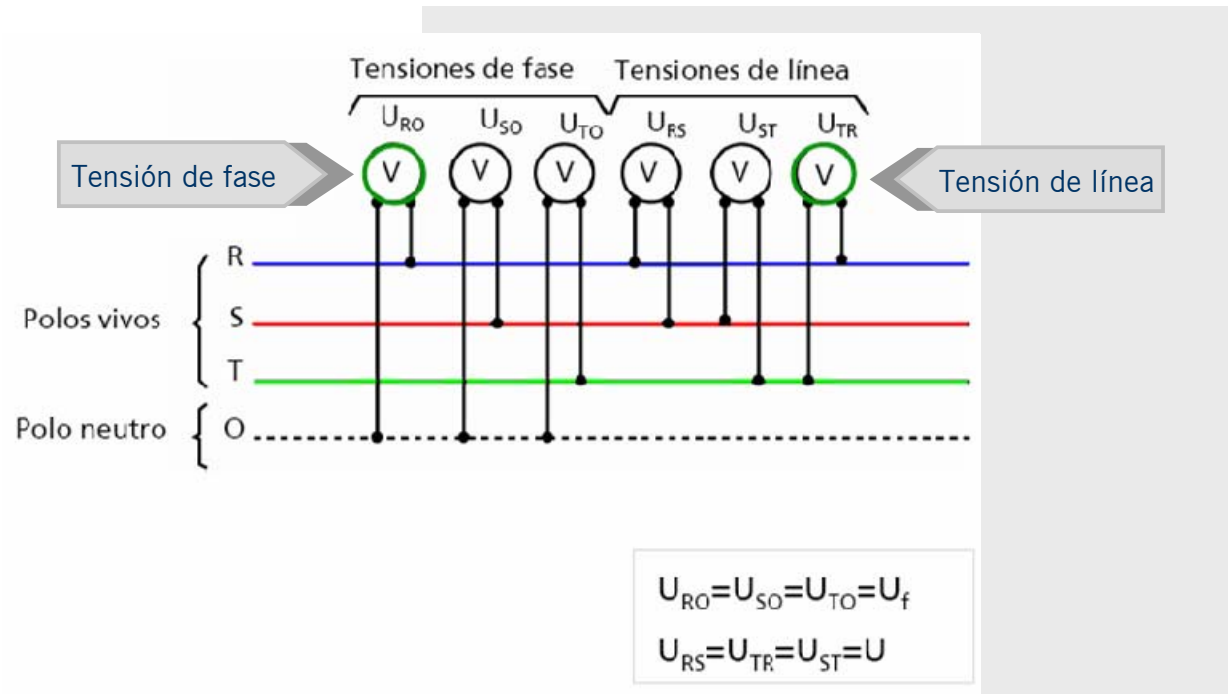
Hemos dicho que una red trifásica tiene tres polos R S T y, en la mayor parte de los casos, un neutro señalado como O.

La fase U X se ilustra en la figura (a), la V Y en la (b) y la WZ en la (c). Los vectores representativos están 120° desplazados entre sí a consecuencia de la ubicación de las bobinas en la máquina generadora.



Como las bobinas en la máquina generadora son absolutamente iguales y se encuentran igualmente desplazadas entre sí; los módulos de las tensiones son iguales y los ángulos también: se trata de un sistema simétrico de tensiones.

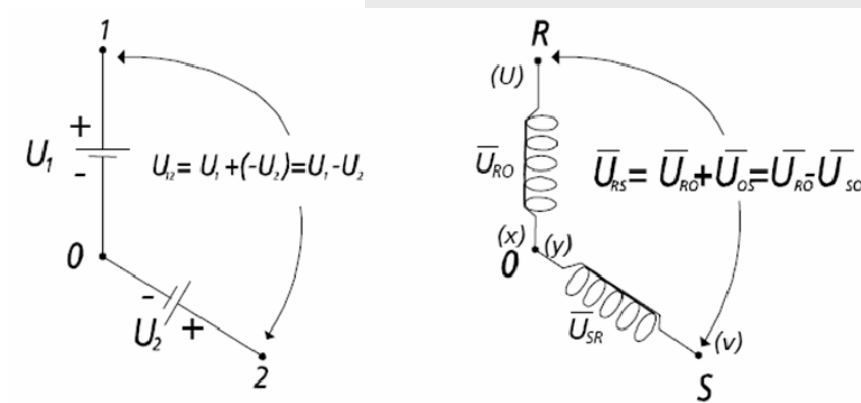
Tomemos ahora una red trifásica y conectémosle seis voltímetros:



A las tensiones existentes entre uno cualquiera de los vivos y el neutro las llamaremos tensiones de fase o tensiones simples, y a las que existen entre los vivos, tensiones de línea o tensiones compuestas.

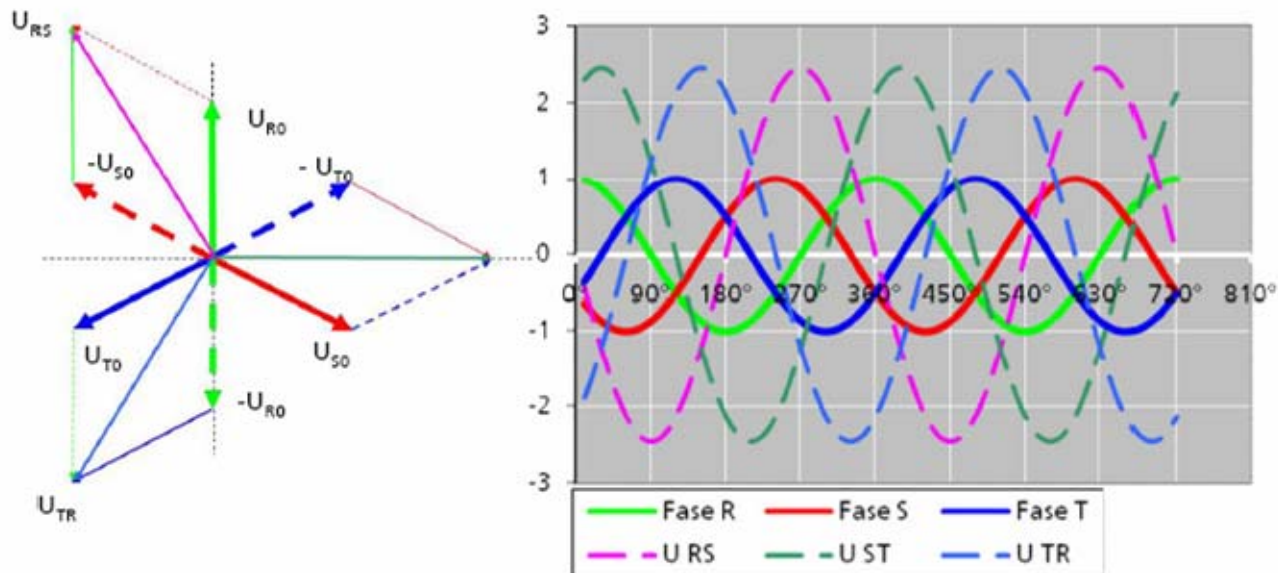
*Es de suma utilidad encontrar la relación existente entre ambos valores.*

Analicemos el siguiente ejemplo: dos pilas conectadas en oposición, de tal manera que la tensión entre terminales es la diferencia de los parciales:



La fase de terminales U X genera la tensión  $U_{RO}$  y la de los terminales V Y la tensión  $U_{SO}$  estando ambas fases en oposición, porque el principio de una está conectado al final de la otra.

En la figura reunimos las tres tensiones de fase y las tres de línea en un diagrama vectorial común, en donde aparecen los valores máximos de todas las tensiones que son los valores eficaces multiplicados por  $\sqrt{2}$  Entre los terminales R S T aparecen tensiones tal que:



Entre R y S	$\overline{U_{RS}} = \overline{U_{RO}} + \overline{U_{OS}} = \overline{U_{RO}} - \overline{U_{SO}}$
Entre T y R	$\overline{U_{TR}} = \overline{U_{TO}} + \overline{U_{OR}} = \overline{U_{TO}} - \overline{U_{RO}}$
Entre S y T	$\overline{U_{ST}} = \overline{U_{SO}} + \overline{U_{OT}} = \overline{U_{SO}} + \overline{U_{TO}}$



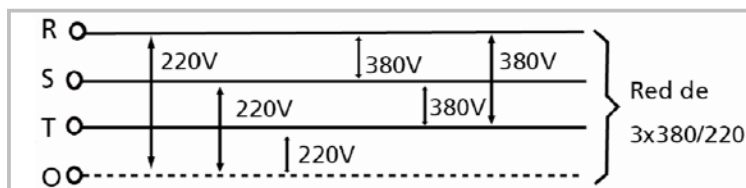
Los módulos guardan la siguiente relación:

$$\frac{U}{2} = U_f \cdot \cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot U_f$$

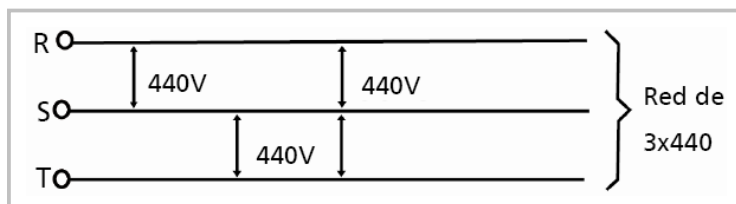
$$U = \sqrt{3} \cdot U_f$$

Esto indica que la tensión de línea es  $\sqrt{3}$  veces mayor que la de fase: los 3 voltímetros de la derecha indicarán magnitudes  $\sqrt{3}$  mayores que las de la izquierda. Esta ventaja permite utilizar dos tipos de tensiones, una tomada entre un polo vivo y el neutro; y la otra entre dos polos vivos.

Suelen aparecer 3 x 220 V y  $\sqrt{3} \cdot 220 \text{ V} = 380 \text{ V}$ :



En la figura vemos la representación de una red sin neutro de 3 x 440 V:



## ACTIVIDAD 20.



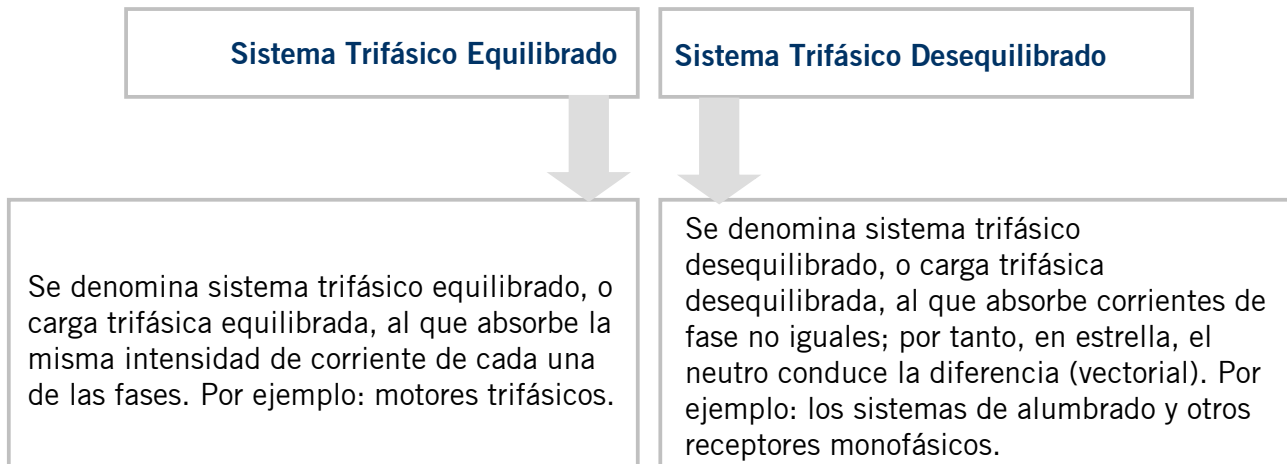
Por favor responda las siguientes preguntas:

- 1 El ángulo que forma la tensión  $V_{rs}$  y la tensión  $V_{st}$  es ...
- 90°
- 120°
- 180°

- 2 Un sistema trifásico ...
- Producido por las máquinas generadoras puede presentar imperfecciones, y por lo tanto ser desequilibrado
- Es un conjunto de tres sistemas monofásicos
- Producido por los generadores tiene mayor número de circuitos comparado con su número de fases

- 3 En un sistema trifásico equilibrado ...
- La tensión de línea es  $\sqrt{3}$  veces mayor que la de fase.
- La tensión de fase es 3 veces mayor que la de línea.
- La tensión de línea es igual a la de fase.

## 9.2 Potencia en los Sistemas Trifásicos



### Corrección del Factor de Potencia

La energía reactiva existente en una instalación eléctrica depende de los receptores que se conectan en la misma. Cuanto mayor es el número de bobinas (motores, transformadores, tubos fluorescentes, etc.) mayor es la energía reactiva y menor factor de potencia.

La existencia de un bajo factor de potencia implica importantes pérdidas de energía, calentamiento de los conductores y coste económico pues está penalizada por parte de las compañías suministradoras.

De los distintos métodos de corrección el mejor consiste en conectar tres condensadores en triángulo en paralelo con la carga.

La capacidad de los condensadores necesarios para la corrección de un determinado factor de potencia se determina mediante la siguiente fórmula:

$$C = \frac{P_t (\operatorname{tg}\varphi_1 - \operatorname{tg}\varphi_2)}{3 \cdot \omega \cdot V^2}$$

Donde,  $P_t$ : potencia activa total  
 $V$ : tensión de fase  
 $\operatorname{tg}\varphi_1$ : tangente del factor de potencia sin corregir  
 $\operatorname{tg}\varphi_2$ : tangente del factor de potencia corregido  
 $\omega$ : pulsación

### ATENCIÓN

Hay que tratar de acercar el factor de potencia a la unidad. Esto se puede conseguir empleando condensadores conectados a la instalación.



Factor de Potencia Existente	Factor de Potencia Corregido					
	100%	95%	90%	85%	80%	75%
50	1.732	1.403	1.247	1.112	0.982	0.850
52	1.643	1.314	1.158	1.023	0.983	0.761
54	1.558	1.229	1.073	0.938	0.808	0.676
55	1.518	1.189	1.033	0.898	0.768	0.636
56	1.479	1.150	0.994	0.859	0.729	0.597
58	1.404	1.075	0.919	0.784	0.654	0.522
60	1.333	1.004	0.848	0.713	0.583	0.451
62	1.265	0.936	0.780	0.645	0.515	0.383
64	1.201	0.872	0.716	0.581	0.451	0.319
65	1.168	0.839	0.683	0.548	0.418	0.286
66	1.139	0.810	0.654	0.519	0.389	0.257
68	1.078	0.749	0.593	0.458	0.328	0.196
70	1.020	0.691	0.535	0.400	0.270	0.138
72	0.964	0.635	0.479	0.344	0.214	0.082
74	0.909	0.580	0.424	0.289	0.159	0.027
75	0.882	0.553	0.397	0.262	0.132	
76	0.855	0.526	0.370	0.235	0.105	
78	0.802	0.473	0.317	0.182	0.052	
80	0.750	0.421	0.265	0.130		
82	0.5108	0.369	0.213	0.078		
84	0.646	0.317	0.161			
85	0.620	0.291	0.135			
86	0.594	0.265	0.109			
88	0.540	0.211	0.055			
90	0.485	0.156				
92	0.426	0.097				
94	0.363	0.034				
95	0.329					

Ejemplo:

Solución: De la tabla obtenemos un valor de 0,548 que corresponde al factor existente (0,65) y al deseado (0,85). Multiplicando este valor por la potencia instalado, obtendremos  $0.548 \times 300 = 164,4$  kW que es la potencia capacitiva necesaria.

### ACTIVIDAD 21.



Usando la tabla de factor de potencia corregido, haga el siguiente ejercicio.

Se desea elevar el factor de potencia existente de 0,65 de una instalación de 300 kW, a un factor de potencia de 0,85.  
¿Qué potencia deben tener los capacitores?

## Potencia en los Sistemas Trifásicos

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cos \varphi$$

La potencia activa de un sistema trifásico es igual a la suma aritmética de las potencias activas de las tres fases.

Potencia Activa

$$Q = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \sin \varphi$$

La potencia reactiva total es igual a la suma algebraica de las potencias reactivas de las tres fases.

Potencia Reactiva

$$S = \sqrt{3} \cdot U \cdot I$$

La potencia aparente total es igual a la suma algebraica de las potencias aparentes de las tres fases.

Potencia Aparente

Se analizarán los siguientes casos:

1

### Conexión de una carga en estrella o en triángulo para adaptarse a distintas líneas

Conexión de una carga en estrella o en triángulo para adaptarse a distintas redes (230/400 V o 127/220 V).

Es el caso normal de la mayoría de cargas trifásicas: hay que escoger su conexión interna (en estrella o triángulo) para conectarlos adecuadamente a la red de que se dispone.

- Motor de 11 kW, 230/400 V,  $\cos \varphi = 0,8$ .
- Con red 230/400 V, conexión estrella.

Los valores U e I de la potencia, son valores de línea.

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cos \varphi$$

Cálculo de la corriente de línea: 
$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi} = \frac{11000}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,8} = 19,8 A$$

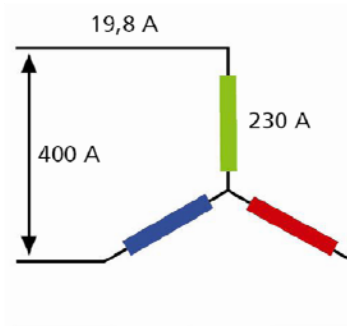
Reemplazando en  $P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cos \varphi$

$$11000 = \sqrt{3} \cdot 400 V \cdot 19,8 A \cdot 0,8$$

En cada bobina de fase del motor:

$$U_{\text{fase}} = 230 V$$

$$I_{\text{fase}} = 19,8 A$$



- Con red 127/230 V, conexión triángulo, los valores U e I de la potencia, son valores de línea.

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

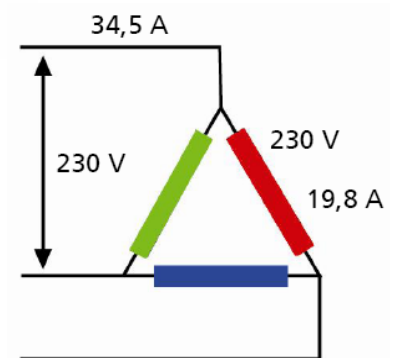
Cálculo de la corriente de línea:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi} = \frac{11000}{\sqrt{3} \cdot 230 \cdot 0.8} = 34.5 A$$

Reemplazando en  $P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi$   
 $11000 = \sqrt{3} \cdot 230 V \cdot 34.5 A \cdot 0.8$

En cada bobina de fase del motor:

$$U_{\text{fase}} = 230V \quad I_{\text{fase}} = \frac{34.5}{\sqrt{3}} = 19.9A$$



**Conclusión:** en ambos casos, la máquina da la misma potencia y en las bobinas de fase se tiene la misma tensión, corriente y potencia.

## 2

## Conexión en estrella o en triángulo con una misma red

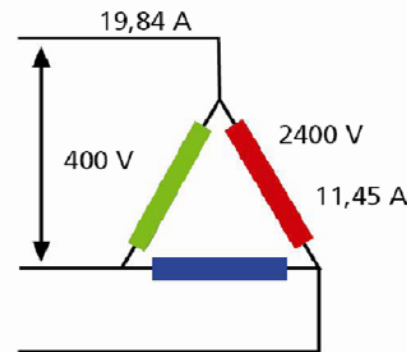
Cambio de conexión para que un receptor (motor, por ejemplo) desarrolle dos potencias diferentes (precauciones como problema real: en ningún caso, debe sobretensionarse el receptor; debe preverse, mecánica y eléctricamente, la situación de menor tensión y potencia).

Motor de 11 kW, 400/660 V,  $\cos \varphi = 0,8$ .

- Con red 230/400 y conexión triángulo.

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi} = \frac{11000}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.8} = 19.84 \text{ A}$$



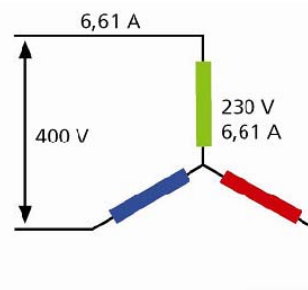
Funcionamiento normal en tensión, corriente y potencia tanto la máquina como cada fase.

- Con red 230/400 V y conexión estrella.

En estrella, la máquina debería conectarse a una red de 660 V, pero al conectarla a sólo 400 V, la máquina está subtensionada.

Por tanto, vamos a calcular la potencia que suministra al hacerla trabajar con una red de 400 V:

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot \frac{I}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{3}} \cdot \cos \varphi$$



La tensión de línea es la misma, 400 V; pero la corriente de línea se divide por el cambio de conexión a estrella y otra 2ª vez porque la bobina queda subtensionada.

Por tanto, aplicando valores:

$$P_{estrella} = \sqrt{3} \cdot U \cdot \frac{I}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{3}} \cdot \cos \varphi = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot \frac{19.84}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{3}} \cdot 0.8 = 3665.5 \text{ W}$$

$$P_{estrella} = \frac{P_{triangulo}}{3}$$

$$3.66 \text{ kW} = \frac{11 \text{ kW}}{3}$$

**ACTIVIDAD 22.**

Complete las siguientes afirmaciones acerca de la potencia en los Sistemas Trifásicos y después relacione con la fórmula correspondiente.

La \_\_\_\_\_  
de un sistema  
trifásico es igual a la  
suma aritmética de  
las potencias activas  
de las tres fases.

$$S = \sqrt{3} \cdot U \cdot I$$

La \_\_\_\_\_  
total es igual a la  
suma algebraica de  
las potencias  
reactivas de las tres  
fases.

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cos \varphi$$

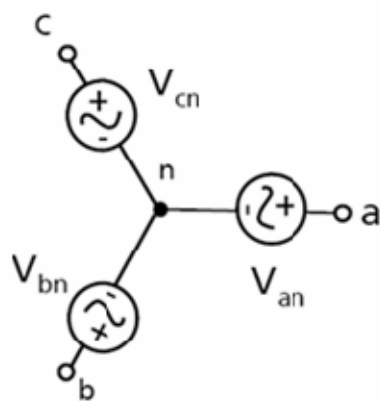
La \_\_\_\_\_  
total es igual a la  
suma algebraica de  
las potencias  
aparentes de las tres  
fases.

$$Q = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \sin \varphi$$



## 9.3 Secuencia de Fases

Para poder resolver circuitos trifásicos basta con entender primero cómo resolver un circuito Y–Y ya que cualquier otra configuración se puede reducir a esta configuración utilizando algunas transformaciones.



La conexión en estrella o Y se realiza usando un punto común a las tres fuentes, este punto es el neutro.

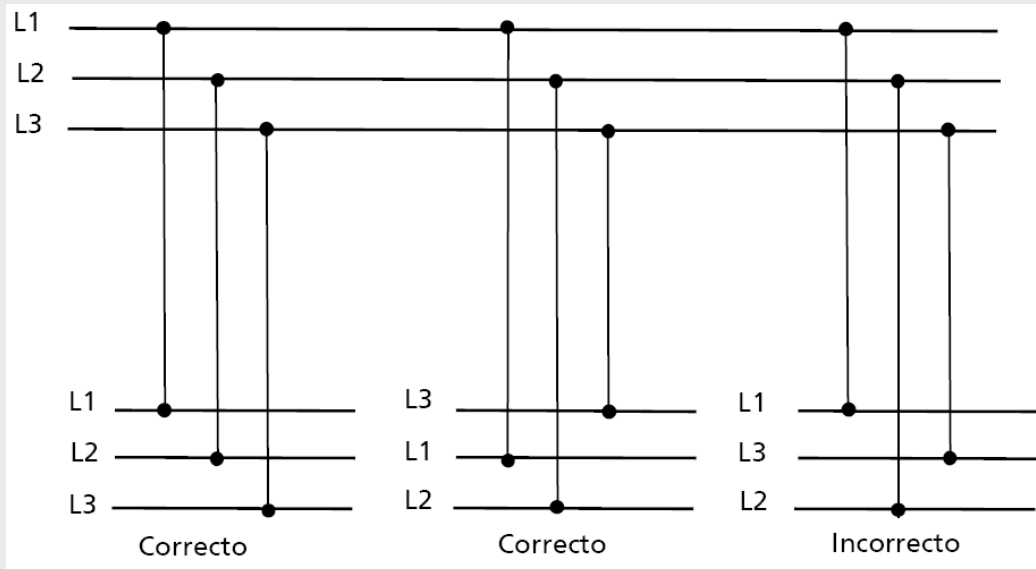
Los tres voltajes presentes entre cada una de las líneas y el neutro se llaman voltajes de fase, en estos voltajes se pueden tener distintas secuencias de fase, escogiendo uno como referencia se pueden tener dos posibilidades:

Secuencia Positiva de Fase	Secuencia Negativa de Fase
Suponiendo que los voltajes tienen una magnitud de 100 Vrms, se tiene que:	
$V_{an}=100\angle 0^\circ$ $V_{bn}=100\angle -120^\circ$ $V_{cn}=100\angle -240^\circ$	$V_{an}=100\angle 0^\circ$ $V_{bn}=100\angle 120^\circ$ $V_{cn}=100\angle 240^\circ$

El voltaje de línea en la conexión estrella equivale a  $\sqrt{3}$  veces el voltaje de fase esto es:

$$V_L = \sqrt{3} V_P$$

$V_L$  es el voltaje de línea y  $V_P$  es el voltaje de fase



### ATENCIÓN

En la conexión de receptores trifásicos a redes trifásicas, normalmente debe tenerse presente la secuencia de fases. Esto es crítico en motores porque provoca una inversión del sentido de giro. También puede ser crítico en algunos tipos de rectificadores.

### ¡Felicitaciones!

Usted ha finalizado el capítulo 9.  
Ha finalizado el curso Electricidad Básica.

