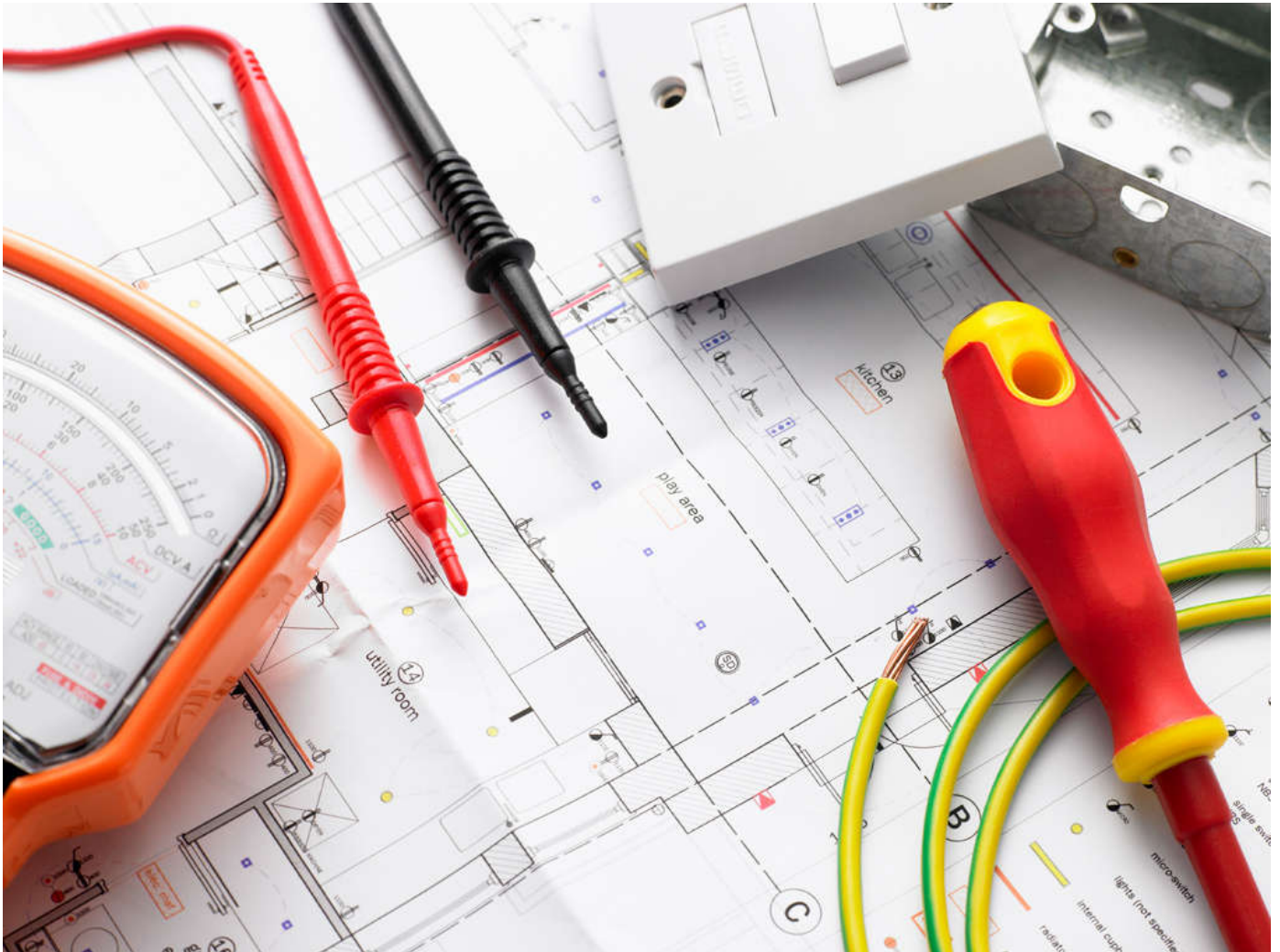


Apuntes de la Materia

ELECTROTECNIA I



Profesor Ernesto Tolocka

Esta guía pertenece a:

CONTENIDO

Unidad 1. Magnitudes eléctricas. Página 3

Estructura atómica. Carga eléctrica. El Coulomb. Corriente eléctrica. Sentido de circulación. Medición de la intensidad de corriente. Tensión eléctrica. Medición de la tensión. Corriente continua y alterna. Simbología. Resistencia eléctrica. Unidad de medida. Aislantes y conductores. Medición de la resistencia. Resistencia de un conductor. Resistores. La ley de Ohm y sus aplicaciones. El multímetro.

Unidad 2. Circuitos eléctricos. Página 12

Circuito eléctrico. Esquemas eléctricos. Tipos de esquemas. Símbolos eléctricos. Partes de un circuito eléctrico. Circuitos serie y paralelo. Características. Leyes de Kirchoff.

Unidad 3. Potencia y Energía. Página 17

Potencia eléctrica. Cálculo de la potencia. Medición de la potencia. Múltiplos y submúltiplos. El Volt-amper. El HP. Energía eléctrica. Cálculo de la Energía. Medición de la Energía. Efecto Joule. Aplicaciones. Cálculo de la sección de los conductores. Densidad de corriente. Cortocircuito y sobrecarga. Elementos de protección.

Unidad 4. Electromagnetismo. Página 24

Imanes naturales y artificiales. Materiales magnéticos y no magnéticos. Polos de un imán. Interacción entre los polos de un imán. Origen del magnetismo. El campo magnético. Líneas de fuerza. Intensidad del campo magnético. El campo magnético terrestre. Corriente eléctrica y magnetismo. Campo magnético en un conductor, espira y bobina. Electroimán. Fuerza magnetomotriz. Permeabilidad magnética. Relés y contactores. Electroválvulas. Sensor de efecto Hall. Inducción electromagnética. El alternador. El transformador. Motores eléctricos. Autoinducción e inductancia. Inductores.

Unidad 5. Corriente Alterna. Página 37

Corriente Continua y Alterna. Símbolos y denominación. Formas de onda. Corriente alterna senoidal. Valores característicos. Ciclos y semiciclos. Período y frecuencia. Alterna trifásica.

Unidad 6. Introducción a la electrónica. Página 41

Componentes electrónicos pasivos. Resistores. Aspecto físico y símbolos de los resistores. Unidad de medida. Otros parámetros de los resistores. Tipos. Resistores fijos. Resistores variables. Código de colores. Tolerancia. Valores normalizados. Resistores especiales. Condensadores o capacitores. Principio de funcionamiento. Capacidad. Características de los capacitores. Tipos de capacitores. Simbología. Asociación de capacitores. Circuitos RC. Aplicaciones de los capacitores. Dispositivos semiconductores. Materiales semiconductores. El diodo. Tipos de diodos. Diodos LED. El transistor. Circuitos integrados.

UNIDAD 1: MAGNITUDES ELÉCTRICAS

1.1. Átomos y carga eléctrica

Tomemos una gota de agua y la dividamos en dos con ayuda de un cuchillo afilado. Obtendremos dos gotas, probablemente de distintos tamaños. Tomemos a continuación una de ellas y la volvamos a dividir, y luego una vez más y una vez más... hasta donde podremos llegar en este proceso de división?

Más allá de las limitaciones de la herramienta que estamos usando (el cuchillo), hay un límite en la posibilidad de subdivisión de la materia. Si pudiéramos seguir dividiendo a la gota de agua llegaría un momento en que tendríamos la menor porción posible de materia que conserva las características químicas del material del cual partimos. Habremos llegado al nivel de las moléculas, individualizando una **molécula de agua**.

Si seguimos el proceso de división y separamos los componentes de la molécula, lo que obtendremos ya no será agua, se comportará de una manera diferente. Hemos llegado al nivel de los **átomos**. En este caso, obtendremos tres átomos: uno de oxígeno y dos de hidrógeno.

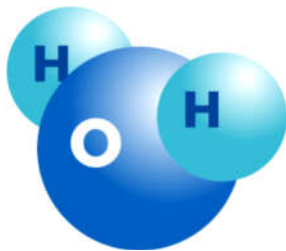


Fig. 1.1. Molécula de agua

En el interior del átomo

El átomo es muy pequeño, del orden de una diezmillonésima parte de un milímetro, pero está compuesto de partes todavía más pequeñas, como el núcleo y los electrones. El núcleo es la parte central y está formado por partículas llamadas protones y neutrones. Los electrones son otras partículas, más pequeñas, que giran en órbitas alrededor del núcleo.

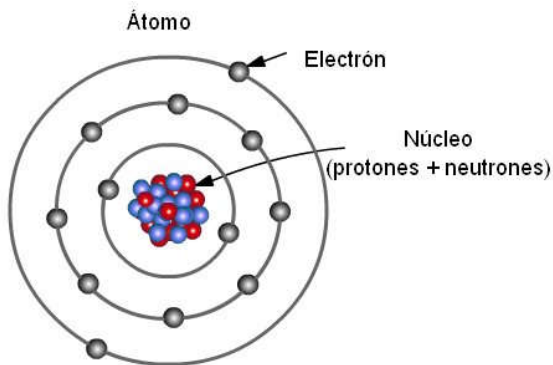


Fig. 1.2. Estructura del átomo

Carga eléctrica

Los protones y electrones que forman parte de un átomo tienen una característica particular: cuando están a una distancia relativamente pequeña se atraen entre sí. Y algo curioso pasa también entre dos protones o dos electrones:

pero esta vez en lugar de atraerse, se alejan uno del otro. Esto se debe a una propiedad de estas partículas llamada **carga eléctrica**, que puede tener dos valores: positivo y negativo. Los protones tienen carga eléctrica positiva y los electrones, negativa.

Los átomos tienen la misma cantidad de carga eléctrica positiva que negativa, no predomina ninguna de las dos, por lo que se dice que es eléctricamente neutro.

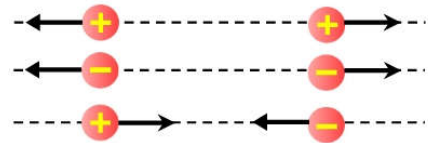


Fig. 1.3. Interacciones entre cargas eléctricas

Midiendo cargas: El Coulomb

Las cargas pueden agruparse en zonas de un material o pueden almacenarse en aparatos especiales. Para poder medir esta cantidad de carga se utiliza una unidad de medida denominada COULOMB o CULOMBIO, en honor del físico Charles Coulomb, que realizó importantes estudios relacionados con la electricidad. El coulomb equivale a 6.241506×10^{18} veces la carga de un electrón.

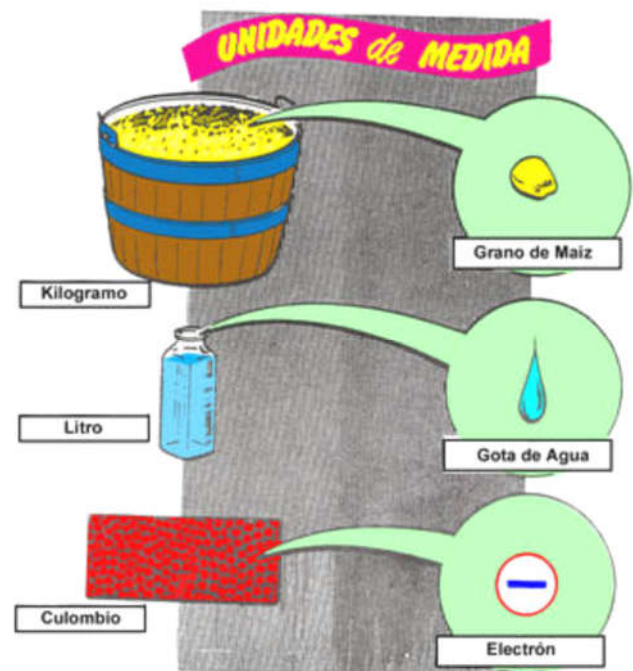


Fig. 1.4. El Coulomb es la unidad de medida de carga

1.2. Corriente Eléctrica

Bajo ciertas circunstancias, se puede producir un desbalance de cargas eléctricas dentro de un material. Es lo que ocurre por ejemplo durante una tormenta: la fricción de las nubes con el aire produce acumulación de cargas negativas en una zona y positivas en otra. Este desbalance se denomina diferencia de potencial eléctrico. En el caso de la nube, esta diferencia de potencial es la causante de la aparición de los rayos y relámpagos.

El movimiento de cargas desde zonas de distinto potencial se denomina **corriente eléctrica**. En el caso de las cargas en las nubes, cesa en cuanto se restablece el balance de las cargas eléctricas. Pero existen dispositivos eléctricos que son capaces de generar una diferencia de cargas, una diferencia de potencial constante y permanente en el tiempo, tales como las pilas o baterías.

Cuando establecemos una conexión, un camino, entre los dos bornes de una pila con un cable, los electrones que se encuentran dentro del cable se mueven repelidos por el borne negativo y atraídos por el positivo, produciendo también una corriente eléctrica.

La unidad de medida de la corriente eléctrica es el **amper o amperio**. Se define a un amper como el **movimiento de una carga de un Coulomb (1 C) por segundo**.

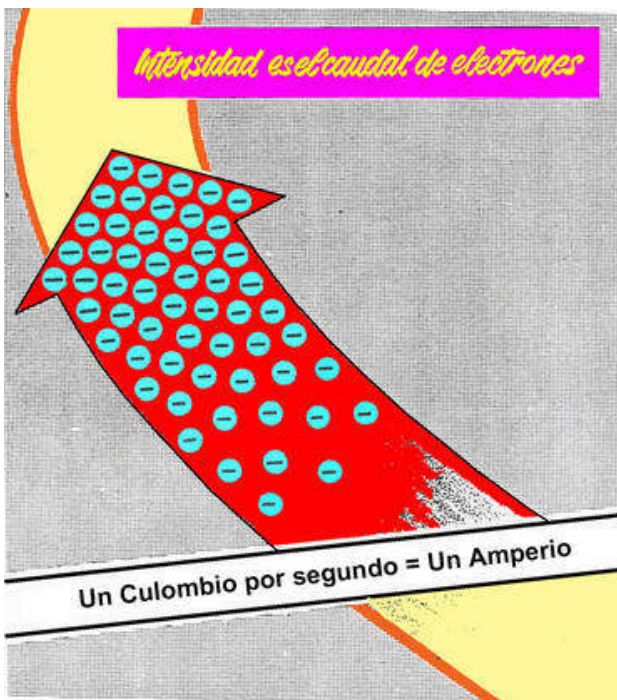


Fig. 1.5. Definición del amper o amperio

Sentido de circulación de la corriente

Como ya vimos, la corriente es el movimiento de los electrones dentro de un conductor. Como estos tienen carga negativa, son repelidos por la zona donde hay exceso de cargas de ese signo y atraídos a la zona con carga positiva. Si la diferencia de potencia es provista por una pila, los electrones salen del borne negativo (-) y se mueven hacia el positivo (+). Este

sentido de circulación de la corriente, que es el sentido en que se mueven los electrones, se denomina **sentido electrónico**. En algunos libros, el sentido de circulación de la corriente se marca al revés, del borne positivo al negativo. Este es el denominado **sentido convencional** de la corriente y es que usaremos a lo largo de este curso.

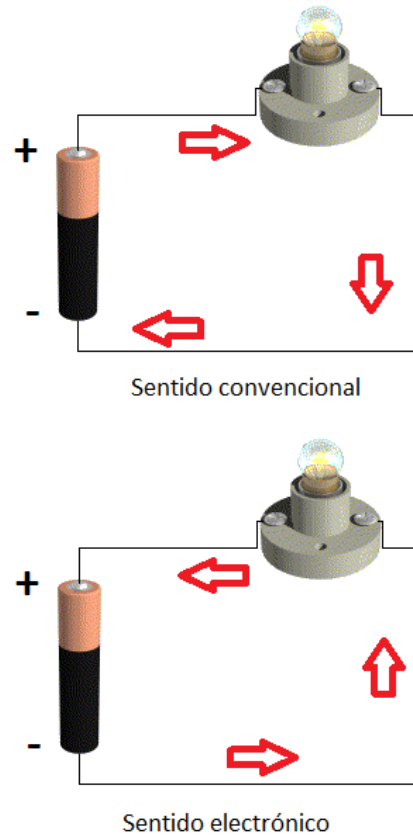


Fig 1.6. Sentido de circulación de la corriente

Medición de la intensidad de corriente

Para medir la intensidad de la corriente eléctrica se emplea un instrumento de medida denominado **amperímetro**. Como lo que debemos medir es la cantidad de cargas que pasan por dentro del conductor, el amperímetro se debe intercalar en el conductor para que las mismas cargas pasen a través de él.



Fig. 1.7. Amperímetro

Esta forma de conexión se llama **conexión en serie** (Fig. 1.9).

Muchas veces los amperímetros vienen combinados con otros instrumentos en uno que se llama **tester o multímetro**, que son los que usaremos en nuestras prácticas de taller.



Fig. 1.8. Multímetro o tester

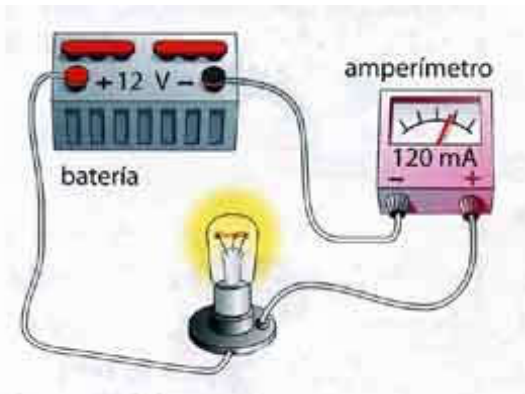


Fig. 1.9. Conexión serie para medir corriente

También son muy empleadas, sobre todo para medir corrientes de varios amperes, las llamadas **pinzas amperométricas** sumamente útiles ya que permiten medir sin tener que cortar el circuito para intercalar el instrumento en serie.



Fig. 1.10. Pinza amperométrica

La unidad de medida de la intensidad de corriente eléctrica es el amper, que equivale al movimiento de 1 Coulomb durante un segundo. Sin embargo, cuando se trata de corrientes muy pequeñas o muy grandes, esta unidad de medida no es adecuada, por lo que se recurre a sus múltiplos y submúltiplos.

Para medir corrientes pequeñas se usan los submúltiplos del amper:

1 mA (miliamper) = 1 milésima de amper (0,001 A)

1 μ A (microamper) = 1 millonésima de amper (0,000001 A)

En el otro extremo, aunque su uso es más infrecuente, se usan los múltiplos:

1 KA (kiloamper) = 1.000 amperes

1 MA (mega-amper) = 1.000.000 amperes

1.3. Tensión Eléctrica

Para que haya movimiento de cargas, es decir, circulación de corriente eléctrica, debe haber una diferencia de cargas entre los extremos del conductor, así como para que circule el agua en un caño debe haber una diferencia de altura entre el tanque de agua y el caño. Esta diferencia de cargas, o diferencia de potencial que "empuja" a los electrones a moverse se denomina **Tensión eléctrica** y su unidad de medida es el **VOLT o VOLTIO**. Por esta razón, a veces a la tensión se la denomina "voltaje", pero no es esta la denominación más apropiada.



Fig. 1.11. La tensión eléctrica

Tal como sucede con la corriente, a veces el Voltio no es la unidad más apropiada para medir una tensión, por lo que se recurre al empleo de múltiplos y submúltiplos del mismo:

1 mV (milivoltio) = 1 milésima de voltio (0,001 V)

1 μ V (microvoltio) = 1 millonésima de voltio (0,000001 V)

Para tensiones grandes:

1 KV (kilovoltio) = 1.000 voltios

1 MV (megavoltio) = 1.000.000 voltios

Medición de la Tensión eléctrica

Para medir la tensión eléctrica se emplea un instrumento de medida denominado **voltímetro**. Como lo que debemos medir es la diferencia de cargas o potencial entre dos puntos, el voltímetro se debe conectar directamente entre los puntos a medir.



Fig. 1.12. Voltímetro digital

Esta forma de conexión se llama **conexión en paralelo**.

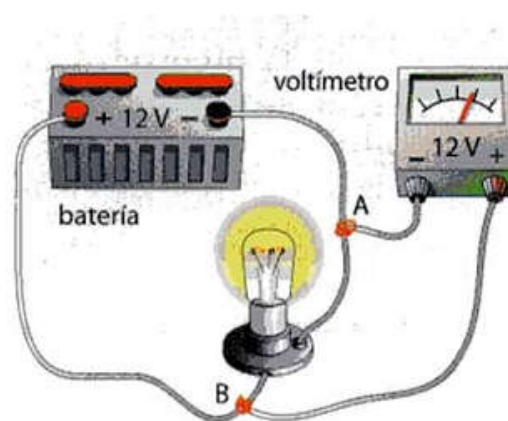


Fig. 1.13. Conexión en paralelo para medir tensión

1.4. Corriente continua y alterna

Si la corriente eléctrica circula siempre en una misma dirección, aunque varíe en su magnitud es llamada **Corriente Continua**.

En cambio, si la corriente cambia permanente de dirección, circulando en un momento en un sentido y luego en el sentido opuesto, se llama **Corriente Alterna**.

Las pilas, baterías y dínamos son fuentes de Corriente Continua.

Los alternadores y los generadores usados por las empresas eléctricas (como EPEC) son fuentes de Corriente Alterna.

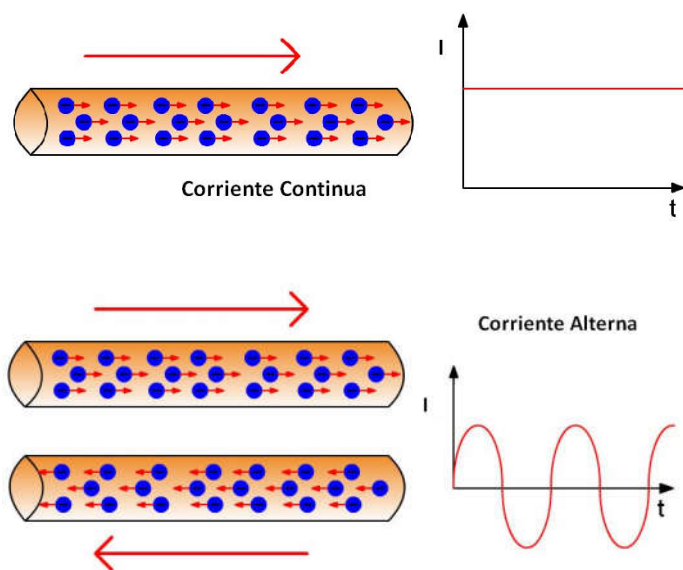


Fig. 1.14. Corriente continua y corriente alterna

Simbología

En los distintos instrumentos o aparatos eléctricos se indica el tipo de corriente que emplean o miden. Los símbolos usados para cada tipo de corriente y su denominación en inglés se muestran en la siguiente imagen.



CC
CORRIENTE CONTINUA
DC
DIRECT CURRENT



CA
CORRIENTE ALTERNA
AC
ALTERN CURRENT

Fig. 1.15. Símbolos para representar la Corriente continua y la Corriente Alterna

1.5. La resistencia eléctrica

Como vimos antes, la corriente eléctrica es el movimiento de cargas eléctricas (generalmente electrones) dentro de un material. Pero este movimiento no es totalmente libre, siempre existe alguna oposición por parte del material, que entorpece el movimiento de los electrones. Este entorpecimiento, esta dificultad que ofrecen algunos materiales al paso de la corriente se denomina **resistencia eléctrica**.

Conductores y aislantes

No todos los materiales oponen la misma resistencia al paso de la corriente. Hay algunos que ofrecen una resistencia pequeña, por lo que la corriente circula con facilidad: son los denominados **materiales conductores** y hay otros que ofrecen una resistencia considerable, que prácticamente no deja pasar la corriente eléctrica: son los denominados **materiales aislantes**.

Los materiales conductores se emplean para transportar la corriente eléctrica y son los que se usan para fabricar los cables. En general los metales son buenos conductores, usándose para este fin el cobre o el aluminio.

Los materiales aislantes se usan para impedir el paso de la corriente por cuestiones de seguridad (por ejemplo recubriendo un cable conductor o aislándolo de su soporte). Buenos aislantes son el vidrio, la porcelana y los plásticos.



Fig. 1.16. Aisladores usados en un tendido de red eléctrica

Unidad de medida

Todos los materiales presentan algún grado de resistencia a la circulación de corriente. Los aislantes, una resistencia elevada. Los conductores, una pequeña. No hay ningún material que presente una resistencia nula como tampoco uno que tenga una resistencia infinita. Para poder medir la cantidad de resistencia que ofrecen los materiales y compararlos entre sí se emplea una unidad denominada "ohm" (u "ohmio"), que se representa por la letra griega omega (Ω).

Los múltiplos más usados del ohm son el kilo-ohm ($K\Omega$) y el mega-ohm ($M\Omega$):

$$1 K\Omega = 1.000 \Omega \text{ (mil ohms)}$$

$$1 M\Omega = 1.000.000 \text{ (un millón de ohms)}$$

Y dentro de los submúltiplos, el más usado es el mili-ohm ($m\Omega$):

$$1 m\Omega = 0,001 \Omega \text{ (una milésima de ohm)}$$

Medición de la resistencia

Para medir la resistencia en los circuitos eléctricos se usa habitualmente un **multímetro o tester**. Cuando la resistencia es elevada, del valor de los Megaohms como cuando se prueba la conexión a tierra de la instalación eléctrica de una casa, se usa un instrumento llamado megómetro.

Resistencia de un conductor

El valor de resistencia de un conductor eléctrico (un cable, por ejemplo) depende de varios factores: el material del que esté construido (por la resistividad de ese material), su longitud, su sección y también de la temperatura a la que está expuesto. Dejando de lado la influencia de la temperatura, la resistencia de un conductor está dada por la siguiente fórmula:

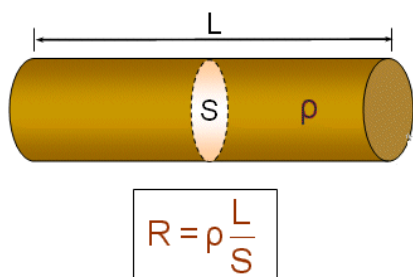


Fig. 1.17. Resistencia de un conductor

donde:

R = resistencia del conductor [Ω]

ρ = resistividad del material [Ω·mm²/m]

L = longitud del conductor

S = sección transversal del conductor [mm²]

La resistividad es una medida de la oposición que ofrece un material al paso de la corriente. Un valor alto de resistividad indica que el material es mal conductor mientras que uno bajo indicará que es un buen conductor. Se mide en ohm-milímetro cuadrado por metro (Ω·mm²/m) o, en algunas aplicaciones, en ohm metro (Ω·m).

La influencia de la resistividad es evidente, dado que determina cuan buen conductor es ese material. Si la resistividad es elevada, el material es un mal conductor y su resistencia será elevada también. En cambio si la resistividad es baja, el material es buen conductor y su resistencia será baja.

En el caso de la longitud, cuanto mas largo sea el conductor, mas “fuerza” deberá realizar la fuente de tensión para que circule la corriente, y mas camino deberán recorrer los electrones del interior del conductor. Por esto, a medida que la longitud aumente, también lo hará la resistencia.

Finalmente, la dependencia inversa de la sección se debe a que cuando la sección es mayor, hay mas “espacio” para que pasen los electrones que forman la corriente y la resistencia disminuye, en tanto que si achicamos la sección, también achicamos el espacio para los electrones, aumentando la resistencia.

Material	Resistividad a 20°C (Ω·mm ² /m)	Tipo de material
Plata	0,0158	Conductor
Cobre	0,0170	
Oro	0,0222	
Aluminio	0,0282	
Wolframio	0,0565	
Níquel	0,064	
Hierro	0,089	
Platino	0,0106	
Estaño	0,0115	
Acero inoxidable	0,072	
Grafito	0,060	Aislante
Madera	1 x 10 ² a 1 x 10 ⁵	
Vidrio	1 x 10 ⁴ a 1 x 10 ⁸	
Teflón	1 x 10 ⁷	
Caucho	1 x 10 ⁷ a 1 x 10 ¹⁰	
Cuarzo	7,5 x 10 ¹¹	

Tabla: resistividad de algunos materiales

1.7. Resistores

Vimos antes el concepto de RESISTENCIA y dijimos que es la oposición al paso de la corriente y lo vimos como un obstáculo, como una molestia que preferiríamos no tener en los circuitos. Sin embargo, en muchas oportunidades, la resistencia es algo útil, por ejemplo para convertir la energía eléctrica en calor (en una estufa, la plancha o un calentador de agua) o cuando queremos limitar la corriente a un valor seguro.

En estos casos se emplean componente comerciales denominados RESISTORES en aplicaciones de electrónica o simplemente RESISTENCIAS cuando se trata de producir calor.

En la figura se puede observar el aspecto físico de los tipos más comunes de resistores utilizados en los aparatos electrónicos. La resistencia eléctrica se mide en OHM, por lo tanto el valor de los resistores se mide en la misma unidad y se simboliza también con la letra griega OMEGA (Ω).



Fig. 1.18. Resistores fijos y variables

1.7. La ley de Ohm

En todo circuito eléctrico, siempre están presentes tres magnitudes que están estrechamente relacionadas: La tensión, provista por la batería; la corriente, que circula por la instalación y la resistencia, presente en los cables y que se opone a la circulación de la corriente.

Es fundamental conocer cómo se relacionan esas tres magnitudes y cómo dependen una de la otra, para entender el funcionamiento de los circuitos eléctricos.

La expresión matemática de esa relación es lo que se conoce como la Ley de Ohm.

Relación entre Tensión, Intensidad y Resistencia

La relación entre las tres magnitudes eléctricas puede entenderse mejor si se hace una analogía entre un circuito eléctrico y un "circuito" por el que circula agua. Imaginemos que este circuito está formado por un tanque grande que hace las veces de depósito, una manguera y un balde.

El movimiento o circulación de agua a través de la manguera es el equivalente de la corriente eléctrica a través de los cables.

La altura del tanque, de la cual depende la presión del agua, es el equivalente de la tensión eléctrica, que "empuja" a la corriente.

El diámetro de la manguera, que permite que pase más o menos agua, es equivalente a la resistencia eléctrica, que también regula el paso de la corriente.



Fig. 1.19. Analogía con un sistema hidráulico

Veamos ahora como se relacionan estas magnitudes entre sí.

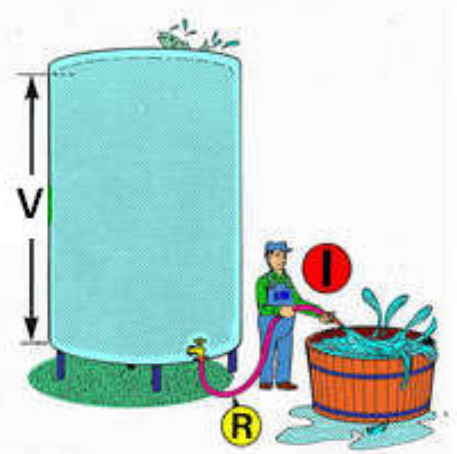
Supongamos que queremos aumentar el caudal de agua, es decir la cantidad de litros por minuto, que llegan al balde. Si no cambiamos la manguera, podemos elevar la altura del tanque, con lo cual el agua tendrá más presión. Esto se puede ver en la Fig. 1.20.

Otra manera de obtener el mismo resultado es aumentando el diámetro de la manguera. De esta manera el agua puede circular más libremente y también se logra un aumento del caudal. Eso se puede ver en la figura 1.21.

De lo anterior podemos llegar a la siguiente conclusión: el caudal de agua depende directamente de la altura del tanque (aumenta cuando ésta aumenta) e inversamente de la oposición de la manguera (el caudal aumenta cuando la oposición disminuye).



Fig. 1.20.



Aumenta la altura del tanque, aumenta el caudal

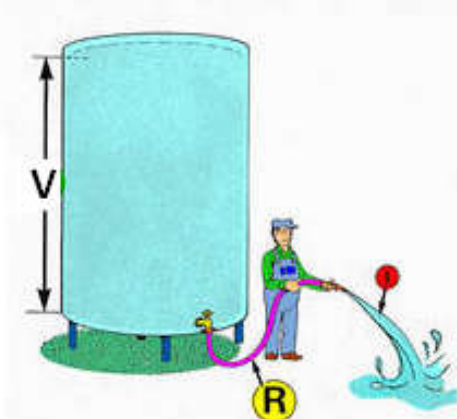
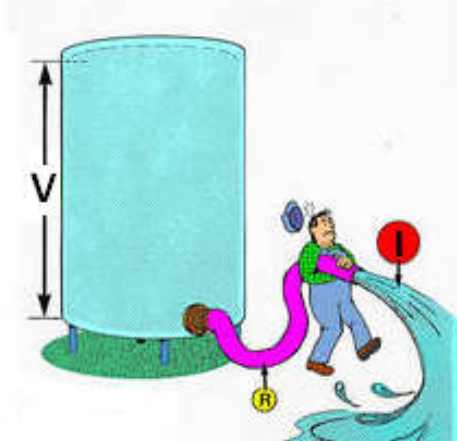


Fig. 1.21.



Si la oposición de la manguera disminuye, aumenta el caudal

En un circuito eléctrico, la relación es equivalente: si la resistencia se mantiene constante, la corriente aumenta cuando aumenta la tensión. O, si lo que se mantiene constante es la tensión, la corriente aumenta si se disminuye la resistencia.

Se puede decir que hay una **relación directa** entre la tensión y la corriente: cuando la tensión aumenta, la corriente también; y al revés: cuando la tensión disminuye la corriente también disminuye.

Y entre la resistencia y la corriente hay una **relación inversa**: cuando la resistencia aumenta, la corriente disminuye, y viceversa.

Esto que puede ponerse tan complicado al explicarlo en palabras se puede expresar con una sencilla fórmula matemática, como veremos más adelante. También está muy bien representado en la siguiente imagen:

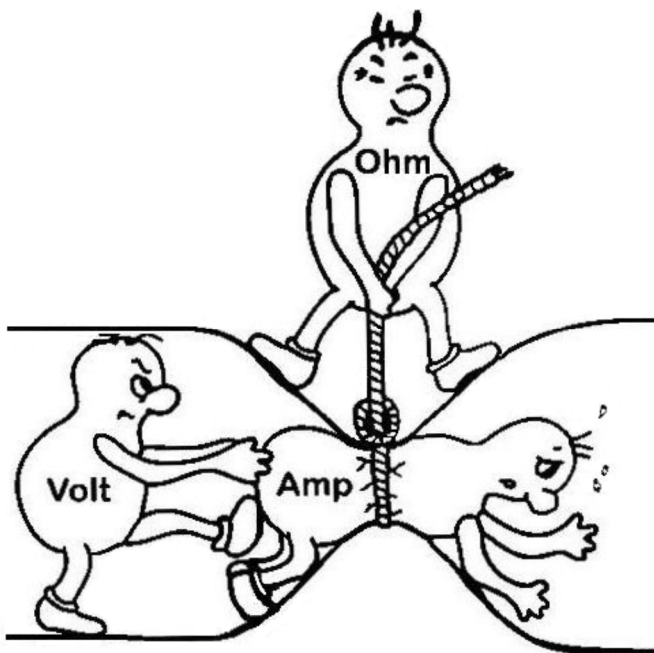


Fig. 1.22.

La ley de Ohm

En un circuito eléctrico ocurre algo muy parecido a lo que vimos antes con el tanque de agua: si aumentamos la Tensión manteniendo constante la Resistencia, aumentará la intensidad de la Corriente.

Si, en cambio, mantenemos la Tensión constante y disminuimos la resistencia obtendremos el mismo resultado: un aumento de la corriente.

Esta relación entre Tensión, Corriente y Resistencia se conoce como **Ley de Ohm** y se expresa matemáticamente de la siguiente forma:

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

Aunque la Ley de Ohm se expresa a través de una fórmula sencilla, de donde se pueden despejar las expresiones para calcular V, I o R, a veces la memoria nos puede fallar e inducirnos a errores.

Para evitar eso, se emplea un truco simple gracias al cual podemos recordar fácilmente todas las fórmulas. Se le llama **triángulo de la Ley de Ohm** y tiene el siguiente aspecto:

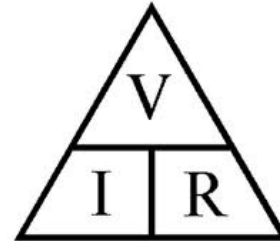
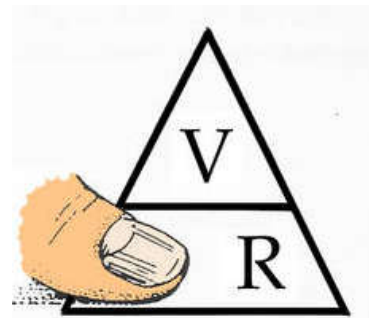


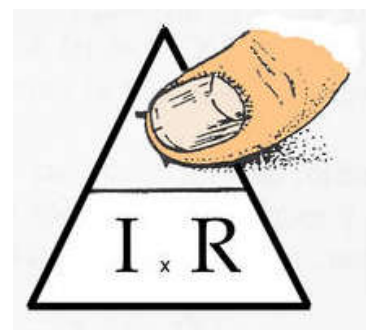
Fig. 1.23. Triángulo de la ley de Ohm

Para encontrar la fórmula de una de las tres magnitudes, la tapamos con el dedo:



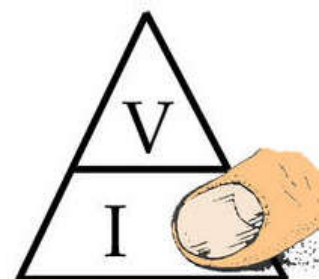
$$I = \frac{V}{R}$$

Fig. 1.24



$$V = I * R$$

Fig. 1.25



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

Fig. 1.26

Ejemplos


Veamos ahora algunos ejemplos de como se utiliza la ley de Ohm

Ejemplo 1: Cálculo de la corriente

Una estufa eléctrica que tiene una resistencia de 100 ohms se conecta a una tensión de 220 Voltios.

¿Cuánta corriente circulará por la estufa?

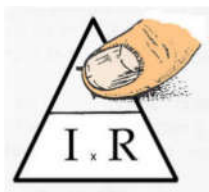
Debemos calcular I, así que del triángulo de la ley de Ohm:


$$I = \frac{V}{R} = \frac{220 \text{ V}}{100 \text{ ohms}} = 2,2 \text{ Amperes}$$

Ejemplo 2: Cálculo de la tensión

En un tramo de cable que tiene una resistencia de 1,4 Ohms circula una corriente de 20 Amperes.


¿Cuál es la tensión en el cable debida a esa resistencia?


$$V = I \times R = 20 \text{ A} \times 1,4 \text{ ohms} = 28 \text{ Voltios}$$

Ejemplo 3: Cálculo de la resistencia

En un auto, cuya batería tiene una tensión de 12 Voltios, la lámpara de la luz de alta consume 1 Amper.

¿Qué resistencia representa esa lámpara?


$$R = \frac{V}{I} = \frac{12 \text{ Voltios}}{1 \text{ Amper}} = 12 \text{ Ohms}$$

1.8. El Multímetro

El multímetro (a veces también llamado tester o polímetro) es un instrumento de medición que combina la capacidad de medir las magnitudes eléctricas básicas. Si bien hay muchos modelos diferentes, desde los mas simples con pocas funciones, hasta los mas completos y sofisticados, aún los mas modestos son la compañía ideal para cualquier técnico que trabaje en electricidad o electrónica.

Partes de un multímetro

En la siguiente imagen pueden verse las partes principales de un multímetro

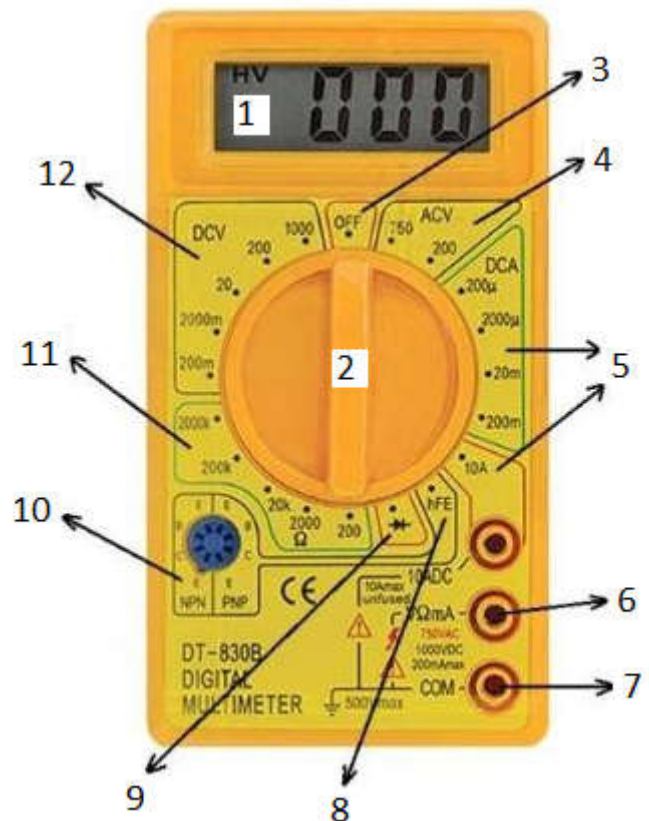


Fig. 1.27.

1. Display o pantalla
2. Selector de escalas
3. Posición de apagado
4. Escala de tensión alterna (Voltios de CA)
5. Escala de corriente continua (Amperes de CC)
6. Conector para tensión, corriente y resistencia (cable rojo)
7. Conector Común (cable negro)
8. Escala para medir transistores
9. Escala para medir diodos
10. Zócalo para conectar transistores
11. Escala de resistencias (ohms)
12. Escala de tensión continua (Voltios de CC)

Medición de tensión alterna

Para medir una tensión alterna (CA) como la que está disponible en un toma de pared, debemos antes de conectar, seleccionar la escala ACV (número 4 en la Fig. 1.27). Cuando el valor a medir es desconocido, siempre debemos elegir el valor mas alto de la escala y luego probar con las de menor valor hasta obtener una lectura óptima. Si el valor a medir es mayor que el máximo de la escala, el multímetro lo indica mostrando un "1" a la izquierda en la pantalla. Como queremos medir tensión, el multímetro se conecta en paralelo, enchufando el cable negro al conector **COM** y el rojo en **VWmA**.

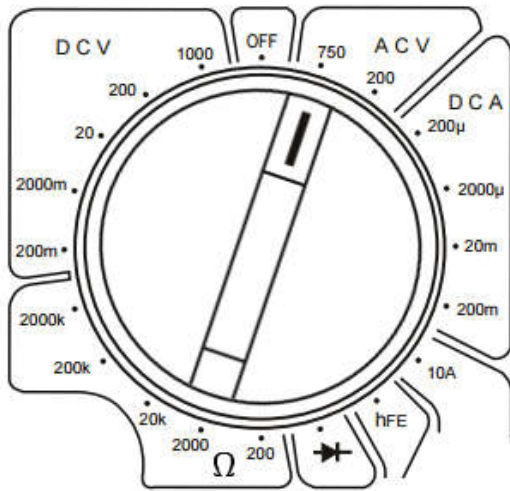


Fig. 1.28

Medición de tensión continua

Si lo que queremos es medir una tensión continua (CC) como la de una pila o la batería de un auto, debemos elegir la escala marcada DCV (numero 12 en la Fig. 1.27) y conectar el multímetro en paralelo. Por ejemplo, si vamos a medir la batería del auto que tiene unos 12V, elegimos la escala correspondiente a 20 Voltios, un valor mayor.

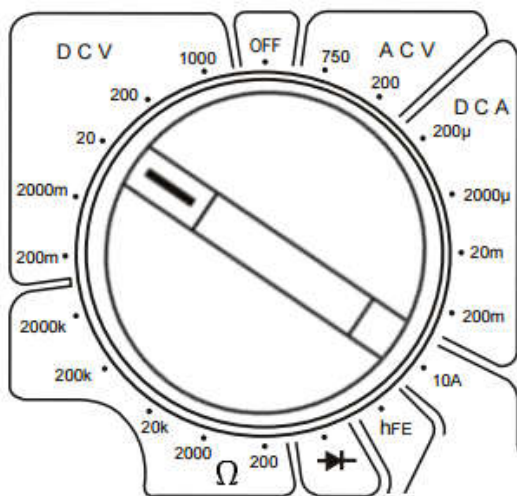


Fig. 1.29.

Medición de corriente continua

En el caso de que queramos medir una corriente continua, como por ejemplo la que consume el estéreo de un auto, hay

que elegir la escala DCA (número 5 en la Fig. 1.27), empezando siempre por la de valor mas alto si la corriente es desconocida y conectar el multímetro en serie, intercalándolo en el circuito por el que pasa la corriente, conectando el cable negro al COM y el rojo en VWmA. Si sabemos de antemano que la corriente que circula es mayor que la máxima de la escala, debemos pasar a la que dice "10A" y que llega hasta los 10 amperes, conectando el cable rojo en el conector marcado "10A DC".

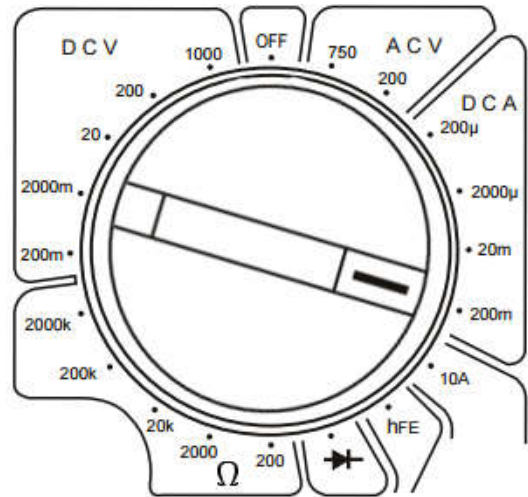


Fig. 1.30

Si la corriente que se quiere medir es de alterna, por ejemplo, cuantos amperes consume una estufa eléctrica, debe buscarse un multímetro que sea capaz de hacer esa medición (no todos tienen esa escala) o una pinza amperometrica.

Medición de resistencia

Finalmente, si lo que deseamos es medir la resistencia, para comprobar si un cable está cortado por ejemplo, o para verificar el valor de un resistor, debemos elegir la escala marcada **W** (número 11 en la Fig. 1.27). La conexión es en paralelo, teniendo la precaución de que el elemento que se mide tenga al menos un extremo desconectado del resto del circuito, enchufando el cable negro al conector **COM** y el rojo en **VWmA**.

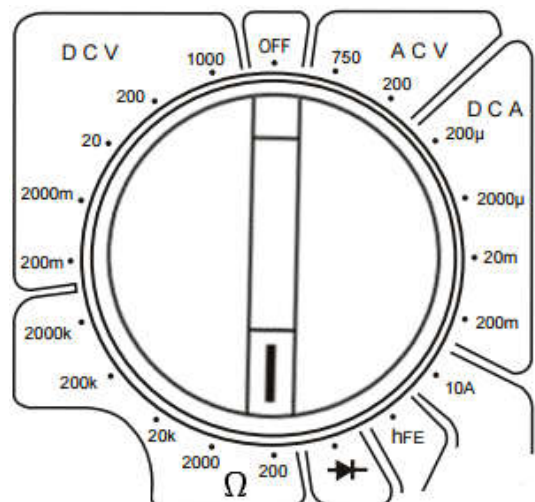


Fig. 1.31.

UNIDAD 2: CIRCUITOS ELÉCTRICOS

2.1. Circuito eléctrico

Un circuito eléctrico es un camino cerrado para la circulación de corriente. Está formado por un conjunto de elementos eléctricos unidos entre sí a través de los cuales circula la corriente eléctrica.

Los elementos que forman un circuito son los siguientes:

Elemento	Función
Fuentes de Tensión (1)	Producen la diferencia de potencial o tensión que impulsa a los electrones que forman la corriente. Pilas, baterías, etc.
Receptores (2)	Transforman la energía eléctrica en otro tipo de energía, como los motores o lámparas.
Conductores (3)	Unen las partes del circuito y transportan la corriente eléctrica. Suelen ser cables de cobre.
Elementos de control (4)	Permiten o impiden el paso de la corriente. Interruptores, pulsadores, etc.
Elementos de protección (5)	Protegen de los efectos de la electricidad a las personas y las instalaciones. Fusibles, termomagnéticas, etc.

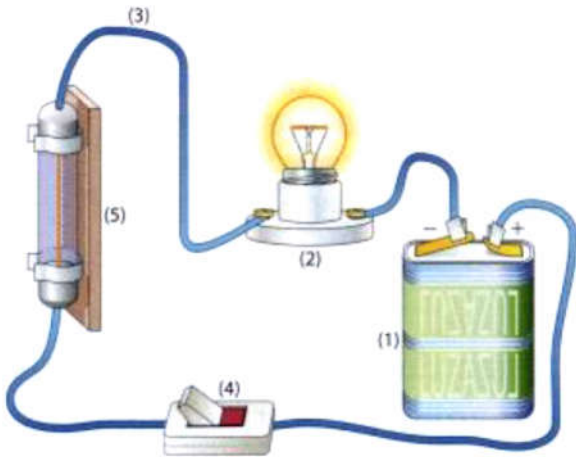


Fig. 2.1. Partes de un circuito eléctrico

2.2. Esquemas eléctricos

Un esquema o plano eléctrico es una representación gráfica de un circuito utilizando símbolos normalizados. Permite que cualquier persona reconozca e interprete los elementos que forman el circuito y las conexiones entre ellos.

Los símbolos empleados en los esquemas están establecidos por normas nacionales e internacionales. En Argentina, está vigente la Norma IRAM 2010, parte de la cual se reproduce en la página siguiente con los símbolos más comunes.

El circuito se representa esquemáticamente de la siguiente manera:

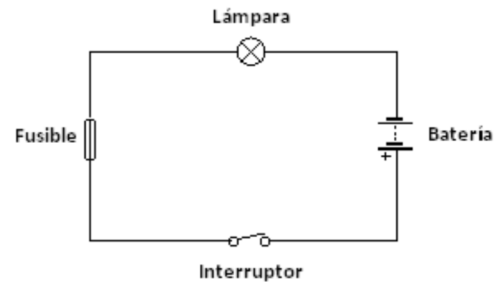


Fig. 2.2. Esquema eléctrico

En un esquema, cada componente tiene una designación, formada por una letra y un número que se va incrementando con cada uno de ellos. Por ejemplo, la letra X se usa para designar las lámparas. En un esquema con varias lámparas, se designan como X1, X2, etc.

Tipos de esquemas

Esquemas unifilares

Son aquellos en los que los conjuntos de conductores se representan con una sola línea indicando en ella con un número o trazos la cantidad de conductores. Se usan comúnmente para representar en forma general sistemas de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica, no poseen detalles ni lógicas de funcionamiento ni ubicación de los elementos.

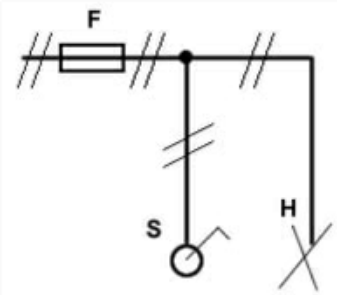


Fig. 2.3. Esquema unifilar

Esquemas multifilares

En este tipo de esquemas, cada conductor está representado por una línea. Éstas se cruzan entre sí y nunca se unen, lo cual, no solamente dificulta su dibujo, sino, también, su interpretación.

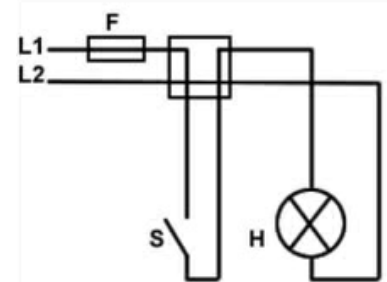


Fig. 2.4. Esquema multifilar

Esquemas funcionales

En estos esquemas se prioriza poner en evidencia la relación entre los componentes del circuito y su funcionamiento. Es de observación más rápida comparada con los otros tipos de esquemas.

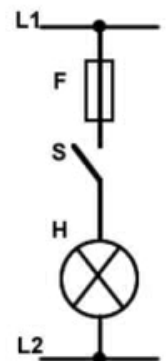



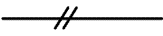
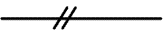
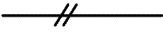
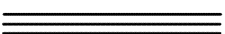

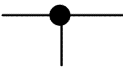
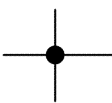
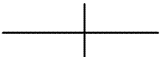

















Fig. 2.5. Esquema funcional

Símbolo		Descripción
		Corriente continua
		Corriente alterna, símbolo general
Representación unifilar	Representación multifilar	
		Conductor, símbolo general
		Dos conductores
		Tres conductores
Símbolo preferido	Símbolo alternativo	Descripción
		Conexión fija de conductores
		Derivación
		Derivación doble
		Cruce de dos conductores sin conexión eléctrica.
		Resistencia, Resistor
		Capacitor, Condensador
		Lámpara
		Puesta a tierra
		Interruptor
		Cortacircuitos fusibles, símbolo general.
		Órgano de mando de un relé (símbolo general) (bobina)
		Motor asincrónico trifásico con rotor en cortocircuito.
		Transformador monofásico de dos arrollamientos.
		Elemento de pila o de acumulador.
		Batería de acumuladores o de pilas.

2.3. Circuito serie

Un circuito serie es aquel en que los componentes eléctricos (baterías, resistencias, lámparas, etc) se conectan uno a continuación del otro, de manera que existe un único camino cerrado para la corriente.

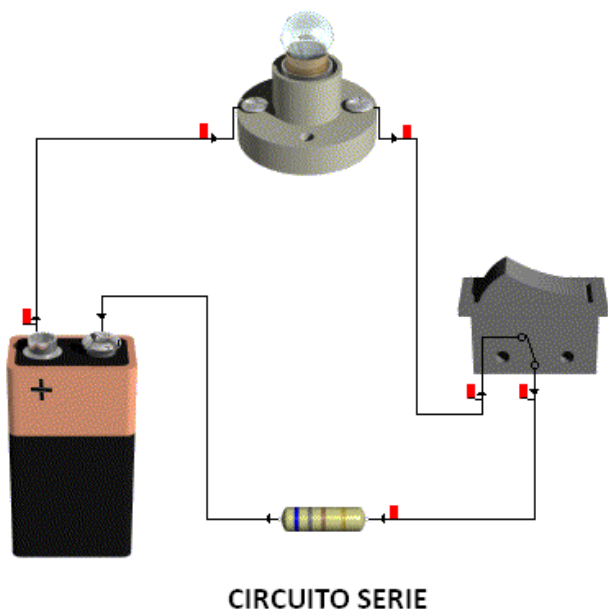


Fig. 2.6. Circuito serie

En la imagen anterior, la pila, la lámpara, la resistencia y la llave están conectadas en serie.

En este circuito, si la llave está cerrada, la tensión de la pila provocará la circulación de una corriente. Los electrones que forman la corriente salen de un borne de la pila y pasan por cada uno de los elementos del circuito hasta llegar al otro borne. Si midiéramos la corriente con un amperímetro en distintos puntos veríamos que en cualquiera de ellos tiene el mismo valor.

En un circuito serie la corriente es la misma por todos sus componentes

Veamos ahora que pasa con la tensión. Sabemos que la tensión es la fuerza que impulsa a los electrones que forman la corriente. En un circuito serie esta fuerza va perdiendo su efecto a lo largo del circuito, produciendo lo que se conoce como **caída de tensión** en cada uno de ellos. Como resultado, la tensión total que se aplica al circuito se va repartiendo entre los distintos componentes del mismo, de acuerdo a la resistencia de cada uno.

En un circuito serie la tensión se reparte entre todos sus componentes

Aplicaciones del circuito serie

Una aplicación típica de un circuito serie son las luces intermitentes de un arbolito de navidad. Cada lámpara soporta unos pocos voltios, pero al estar conectadas en serie, los 220V de la línea se reparten entre todas ellas. La contra es que si se quema una, se apagan todas ya que se interrumpe el circuito y por lo tanto el paso de la corriente.

2.4. Circuito paralelo

El circuito paralelo es aquel en que los terminales de los componentes se conectan entre sí, uno al lado del otro, en una derivación.

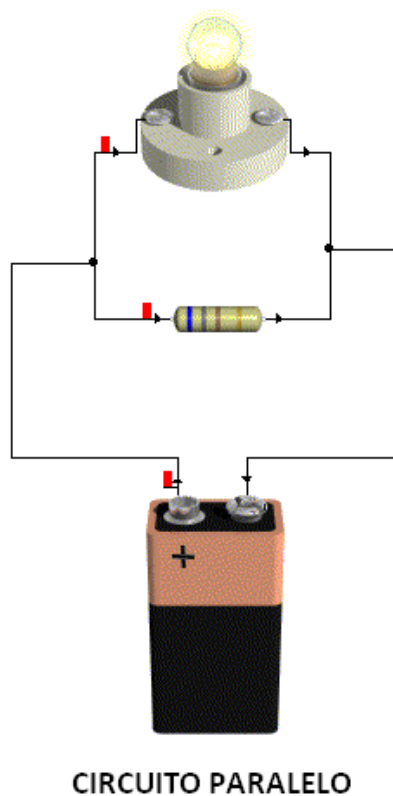


Fig. 2.7. Circuito paralelo

En este tipo de circuitos, la corriente que sale de un borne de la pila se separa en distintos caminos, uno por cada componente conectado en paralelo, para volver a unirse luego e ingresar al otro borne.

En un circuito paralelo la corriente se reparte en cada uno de sus componentes

En el caso de la tensión, podemos ver que los mismos bornes de la pila que se conectan a la lámpara también se conectan a la resistencia, por lo que la tensión en ambos componentes es la misma y es igual a la entregada por la pila.

En un circuito paralelo la tensión es la misma en todos los componentes

Aplicaciones del circuito paralelo

En las instalaciones eléctricas domiciliarias es muy común utilizar circuitos en paralelo. Por ejemplo, si queremos tener dos tomas (enchufes), los mismos deben conectarse en paralelo. De esta forma la tensión será la misma (220V) en ambos.

2.5. Circuito Mixto

Un circuito mixto es una combinación de circuitos serie y paralelo.

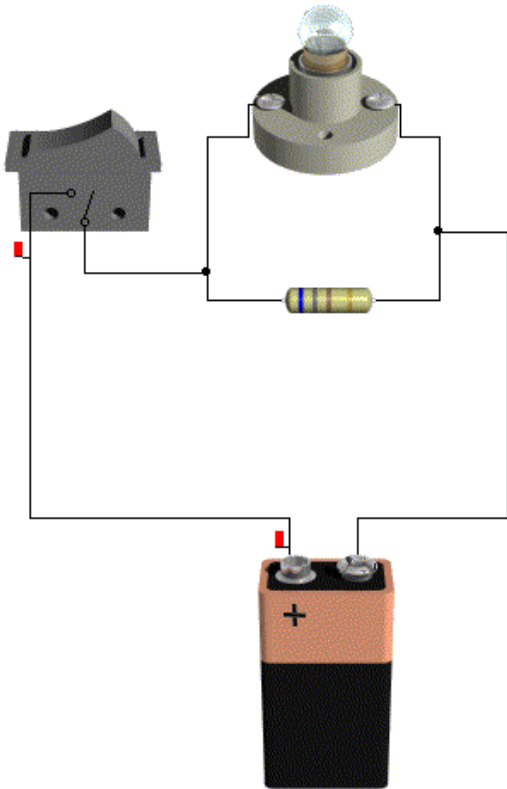


Fig. 2.8. Circuito mixto

El circuito de la figura anterior es un circuito mixto: la lámpara está en paralelo con la resistencia y ambas están en serie con la llave.

En la realidad es muy difícil encontrar circuitos tan simples que sean circuitos en serie o en paralelo puros. En la práctica los circuitos se combinan de muy diversas maneras dando lugar a circuitos mixtos.

2.6. Leyes de Kirchoff

Las leyes de Kirchoff se basan en el principio de conservación de las cargas eléctricas, es decir, la idea que las cargas no se crean ni se destruyen a lo largo de un circuito.

Generalmente se las conoce como “Ley de Kirchoff de las tensiones” y Ley de Kirchoff de las corrientes”.

Ley de Kirchoff de las tensiones

Esta ley dice que, en un circuito en serie, **la suma de las caídas de tensión en cada uno de los elementos del circuito es siempre igual al valor de la fuente de tensión.**

En otras palabras, lo que dice es que la tensión aplicada al circuito se reparte entre los elementos conectados en serie, no pudiendo “desaparecer” tensión ni “aparecer” más de la aplicada.

Por ejemplo, veamos el siguiente circuito. La fuente aplica una tensión de 10V a tres resistencias en serie. Según el valor de cada resistencia aparecerá una caída de tensión en cada una de ellas, pero la suma de las tres caídas de tensión debe ser igual a 10V.

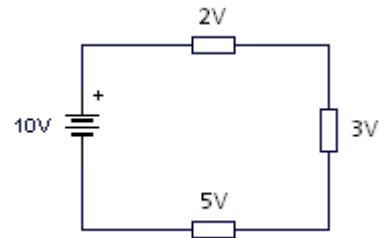


Fig. 2.9. Ley de Kirchoff de las tensiones

Ley de Kirchoff de las corrientes

Esta ley dice que, cuando la corriente se separa en una derivación, la cantidad de corriente que sale es igual a la corriente que entra.

En otras palabras, esta ley dice la corriente no se puede “crear” ni “destruir”. Si a una derivación llega una corriente de 10 Amperes y se divide en otras dos corrientes, la suma de esas dos debe dar también 10 Amperes. Esto es lo que se puede ver en la figura.

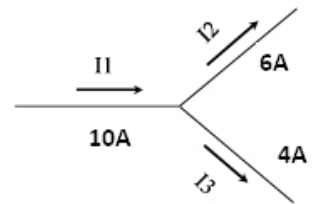


Fig. 2.10. Ley de Kirchoff de las corrientes

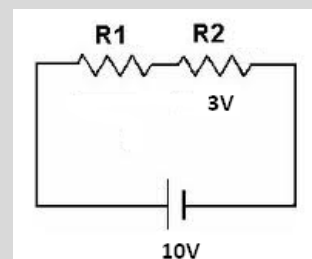
Ejemplo

Si la tensión aplicada por la fuente es de 10V y la caída de tensión en R2 es de 3V.

¿Cuál será la caída de tensión en R1?

Solución:

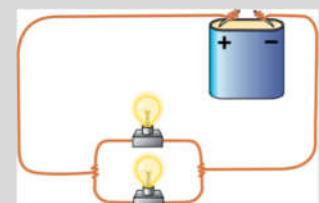
$$10V - 3V = 7V$$



Ejemplo

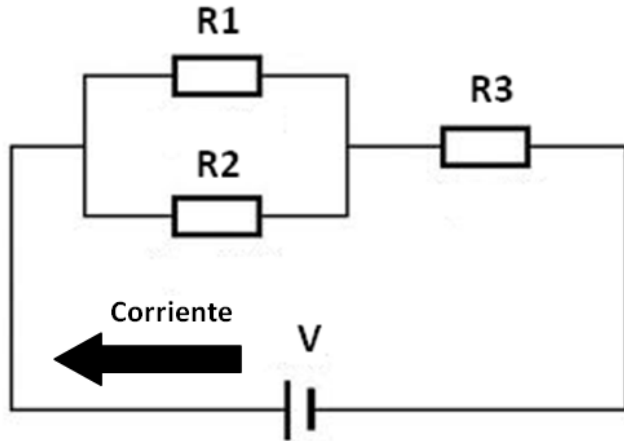
Si por cada lámpara circulan 0,5A. ¿Cuánta corriente sale de la pila?

Solución: $0,5A + 0,5A = 1A$

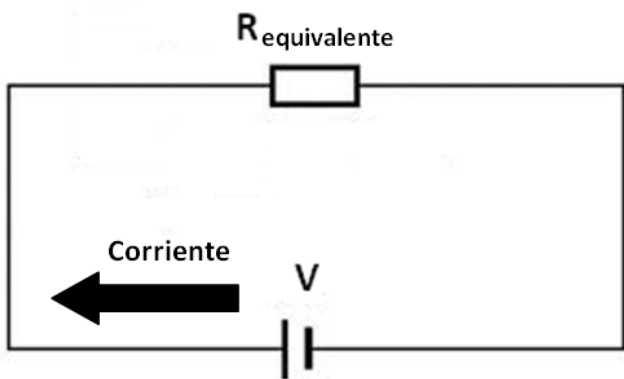


2.7. Conexión de resistencias en serie y paralelo

En los circuitos eléctricos es muy común conectar resistencias (o resistores) en serie, paralelo o una combinación de ambos formando una conexión mixta. No importa cuan complicada sea esta conexión ni cuantas resistencias se empleen, siempre se puede hallar el valor de su **resistencia equivalente**, que sería el valor de **una sola resistencia que hace circular el mismo valor de corriente eléctrica**.



Varias resistencias...

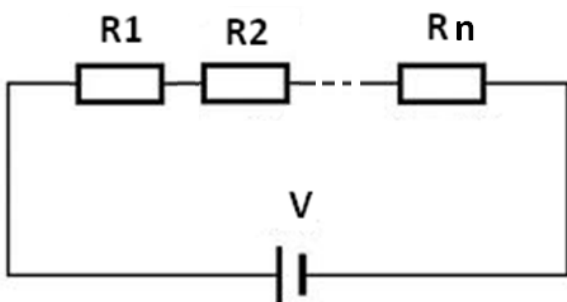


..equivalen a una sola

Fig. 2.11. Concepto de resistencia equivalente

Resistencias en serie

El valor de la resistencia equivalente de dos o más resistencias conectadas en serie es igual a la suma de los valores de cada una de ellas.

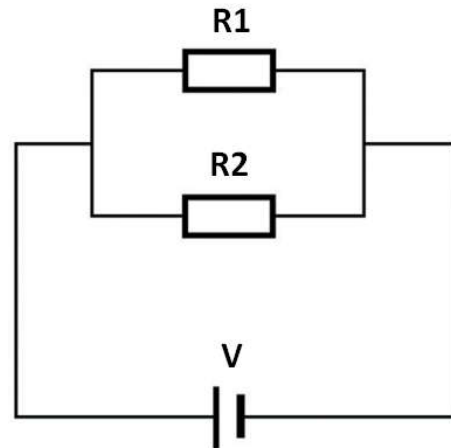


$$R_{\text{equivalente}} = R1 + R2 + \dots + Rn$$

Fig. 2.12. Agrupamiento de resistencias en serie

Resistencias en paralelo

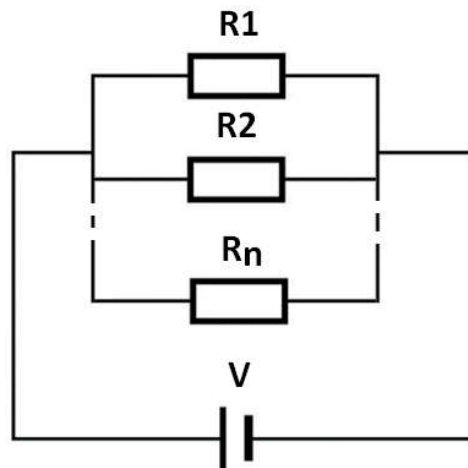
Cuando dos resistencias se conectan en paralelo, la resistencia equivalente se puede encontrar utilizando una fórmula sencilla:



$$R_{\text{equivalente}} = \frac{R1 \cdot R2}{R1 + R2}$$

Fig. 2.13. Agrupamiento de dos resistencias en paralelo

Cuando la cantidad de resistencias es mayor a dos, la fórmula es diferente:



$$R_{\text{equivalente}} = \frac{1}{\frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} + \dots + \frac{1}{Rn}}$$

Fig. 2.14. Mas de dos resistencias en paralelo

Ejemplo

Calcular la resistencia equivalente de dos resistencias de 4Ω y 5Ω conectadas en paralelo.

Solución:

Como son dos resistencias podemos usar la fórmula simplificada:

$$R_{\text{eq}} = \frac{R1 \cdot R2}{R1 + R2} = \frac{5 \Omega \cdot 4 \Omega}{5 \Omega + 4 \Omega} = \frac{20 \Omega}{9 \Omega} = 2,2 \Omega$$

UNIDAD 3. POTENCIA Y ENERGIA

3.1. Potencia eléctrica

Imaginemos que en la escuela nos piden que acomodemos 100 sillas en el SUM porque va a realizarse un acto.

Para llevar cada silla hasta el SUM debemos hacer un gasto de Energía, en este caso del tipo mecánica, que dependerá del peso de la silla y de la distancia que tengamos que moverla. Ahora bien, ¿es lo mismo mover todas estas sillas tranquilos, digamos en una hora, que hacerlo apresuradamente porque debe estar todo listo en 10 minutos?

Seguramente no. Aunque la energía empleada es la misma, puesto que el peso de las sillas y la distancia recorrida no ha cambiado, el hecho de hacerlo más rápido seguramente nos dejará mas cansados.

¿Porqué?

Porque aunque la energía gastada fue la misma, la gastamos mas rápidamente, con mayor velocidad, y nuestro cuerpo se cansa más.

La velocidad con la que se gasta la energía se denomina potencia.

Puesto en términos matemáticos, la potencia es Energía por unidad de Tiempo:

$$P = \frac{\text{Energía}}{\text{tiempo}}$$

Mientras menos tiempo empleemos en gastar la Energía, mayor será la potencia.

En el Sistema Internacional de Unidades, la Energía se mide en Joules y el tiempo en segundos, así que la potencia se mide en Joules por segundo (Joule/s). Esta unidad tiene un nombre especial: Watt en honor del científico e inventor escocés James Watt.

$$P = \frac{\text{Joule}}{\text{segundo}} = \text{Watt}$$

Mientras mas Watts tenga una máquina o equipo eléctrico, mas rápido gasta la energía. O, visto de otro modo, es capaz de hacer el mismo trabajo en menos tiempo.

Potencia en circuitos eléctricos

En el ejemplo anterior imaginamos que debíamos mover sillas una determinada distancia. La energía que gastaremos dependerá de la fuerza empleada para levantar cada silla y de la distancia a la que la traslademos:

$$\text{Energía} = \text{Fuerza} \times \text{distancia}$$

En un circuito eléctrico como el de mas abajo, con una batería y una lámpara, las cargas eléctricas que forman la corriente son “movidas” por la tensión de la batería.

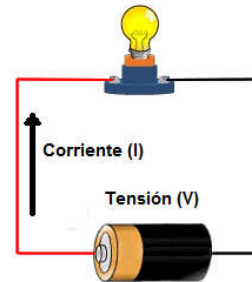


Fig. 3.1.

La batería gasta una energía en prender la lámpara que dependerá de la fuerza aplicada (la tensión o voltaje) y de la cantidad de carga movida a través del circuito:

$$\text{Energía} = \text{Voltaje} \times \text{Carga} = V \times Q$$

La potencia, es decir, la velocidad a la que se gasta la energía, se obtiene dividiendo energía por tiempo:

$$\text{Potencia} = \frac{\text{Energía}}{\text{tiempo}} = \frac{V \times Q}{t}$$

Pero Q/t (carga por unidad de tiempo) no es otra cosa que la corriente I , así que lo anterior se puede escribir de una forma mucho mas sencilla:

$$\text{Potencia} = V \times I$$

O sea que en un circuito eléctrico la potencia se puede calcular simplemente **multiplicando la tensión por la corriente**.

Las relaciones entre las tres magnitudes (Potencia, Tensión y Corriente) se pueden obtener fácilmente recordando la siguiente imagen, similar a la que usamos para la ley de Ohm:

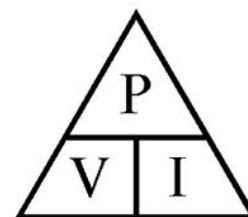


Fig. 3.2. Triángulo para recordar la fórmula de la potencia

Para obtener las fórmulas de P , V o I tapamos la magnitud que queremos calcular y nos queda la fórmula buscada: $P = V \times I$, $V = P/I$ e $I = P/V$.

Ejemplo:

Una batería de 12V entrega a una lámpara una corriente de 2A. ¿Qué potencia recibe la lámpara?

Solución:

$$P = V \times I = 12 \text{ V} \times 2 \text{ A} = 24 \text{ Watts}$$

Ejemplo:

Una lámpara de 60 Watts se conecta a los 220V. ¿Qué corriente circulará a través de la lámpara?

Solución:

$$I = P / V = 60 \text{ W} / 220 \text{ V} = 0,27 \text{ Amperes}$$

Veamos como calcular la potencia eléctrica en circuitos en los que tenemos una resistencia. Esta resistencia puede ser la de un resistor o la de cualquier otra carga presente en el circuito, como una lámpara o un motor.

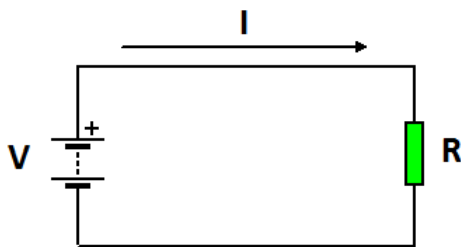


Fig. 3.3. Circuito básico con R

Cálculo a partir de la corriente (I)

Si conocemos la corriente (I) que circula por el circuito, calculamos la potencia, como siempre, a partir de la expresión:

$$P = V \times I$$

Pero, sabemos que por la ley de Ohm:

$$V = R \times I$$

Reemplazando ésta en la primer fórmula:

$$P = R \times I \times I$$

$$P = R \times I^2$$

Es decir que la potencia varía con el cuadrado de la corriente

Cálculo a partir de la tensión (V)

Si en el circuito lo que conocemos es la tensión, podemos calcular la potencia partiendo de nuevo de la fórmula general:

$$P = V \times I$$

En este caso aplicamos la ley de Ohm para calcular la corriente, que es:

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

Reemplazando esta fórmula en la primera:

$$P = V \times \frac{V}{R}$$

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

Todas estas fórmulas y las unidades de medida se pueden resumir gráficamente en una imagen como la siguiente:

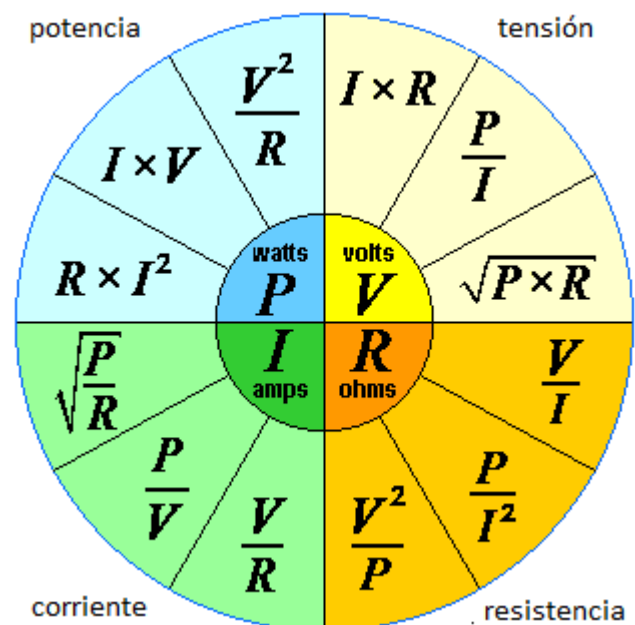


Fig. 3.4. Fórmulas de Tensión, Corriente, Resistencia y Potencia.

Medición de la potencia eléctrica

Para medir la potencia eléctrica entregada o consumida en un circuito eléctrico se usa un instrumento llamado **wattímetro** o **vatímetro**.

El vatímetro tiene cuatro entradas, o cuatro cables, porque en realidad mide la tensión aplicada y la corriente circulante, realizando el producto de ambos para mostrar el resultado en Watts. La entrada de Tensión se conecta en paralelo, como en un voltímetro y la de Corriente en serie, como en un amperímetro:

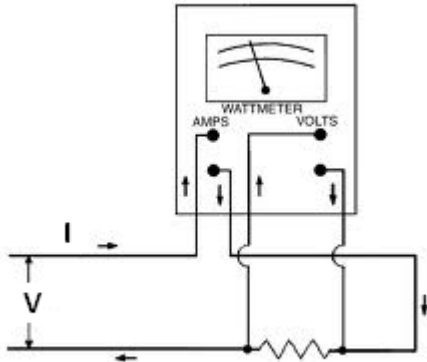


Fig. 3.5. Conexión de un vatímetro

Existen también pinzas vatimétricas, que miden la corriente rodeando el conductor y la tensión a través de dos conectores como los que tienen los multímetros.



Fig. 3.6. Una pinza vatimétrica

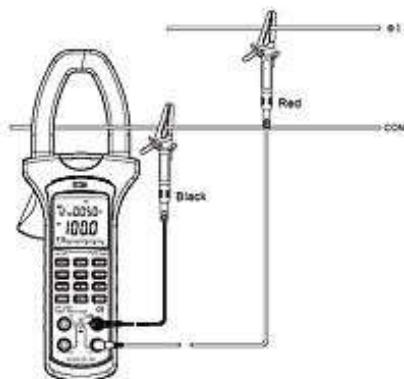


Fig. 3.7. Medición de potencia con una pinza vatimétrica

Si tenemos que medir potencia y no contamos con ninguno de estos dos instrumentos, lo mismo lo podemos hacer con un multímetro y una pinza común, o hasta con sólo un multímetro. Para ello debemos medir la tensión y la corriente y luego multiplicar los dos valores para obtener la potencia.

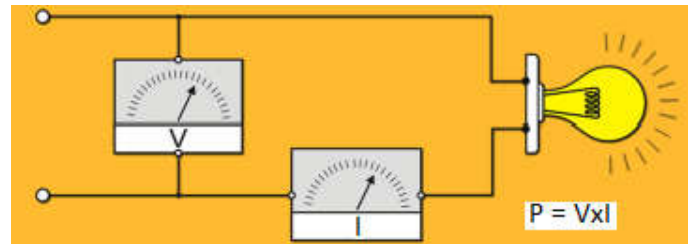


Fig. 3.8. Determinación de la potencia a través de la tensión y la corriente

Múltiplos y submúltiplos

Como ocurre con todas las magnitudes físicas y eléctricas, cuando se trata de valores muy grandes o muy pequeños debemos recurrir a los múltiplos y submúltiplos de las unidades. En el caso del Watt, estas son:

1 mW (mili Watt) = 0,001 Watt

1 μ W (micro Watt) = 0,000001 Watt

Y para potencias grandes, como las que se manejan en centrales eléctricas o redes de distribución:

1 KW (Kilo Watt) = 1.000 Watts

1 MW (Mega Watt) = 1.000.000 Watt

El Volt-amper

El Watt es la unidad de medida de la potencia, sobre todo en circuitos de corriente continua. En circuitos con corriente alterna, los cálculos de potencia se hacen un poco más complicados de los que hemos visto aquí y se hace necesario emplear otras unidades. Es así que en muchos casos, sobre todo en instalaciones industriales o cuando se habla de la distribución de energía eléctrica, sea más común emplear otra unidad denominada **Volt amper (VA)**.

El HP

El HP (Horse Power, Caballo de Vapor) es una antigua unidad de medida de potencia. Aún se utiliza, sobre todo en motores eléctricos y equivale a aproximadamente a 746 Watts.

$$1 \text{ HP} = 746 \text{ Watts}$$

3.2. Energía Eléctrica

Al comienzo de esta unidad dijimos que la Potencia era la velocidad a la que se consume la energía, es decir:

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

Por lo tanto, la Energía será el resultado de multiplicar la Potencia por el tiempo:

$$E = P * t$$

Como la unidad de medida de la potencia es el Watt y la de tiempo el segundo, Watt*segundo nos da Joules. Sin embargo, en electricidad, es más común usar como unidad de medida de la energía eléctrica el Watt hora o el kilo Watt hora.

Ejemplo:

Una lámpara que consume una potencia de 25W está prendida durante media hora. ¿Cuál es la energía consumida?

Solución:

La unidad de medida del tiempo es el segundo, así que primero pasamos t a segundos:

$$t = 0,5 * 3600 \text{ seg} = 1800 \text{ seg}$$

$$E = P * t = 25 \text{ Watts} * 1800 \text{ seg} = 45.000 \text{ Joules}$$

Como se puede ver, el Joule es una medida “chica”, razón por la cual es muy común usar el “watt-hora” o también el “kilowatt-hora”.

Ejemplo:

Una estufa de 1200 Watts está prendida durante toda la noche, digamos unas 8 horas. ¿Cuánta energía consumió?

Solución:

$$E = P * t = 1200 \text{ Watts} * 8 \text{ horas} = 9600 \text{ W.h (watts hora)}$$

También se puede poner como 9,6 kWh (kilowatt hora)

Medición de la Energía Eléctrica

Las empresas proveedoras de electricidad cobran por la cantidad de Energía que consumimos. Para poder medirla usan un instrumento parecido al vatímetro, que realiza el producto de la potencia por el tiempo. Es el conocido “medidor” que se ubica al frente de todas las casas.



Fig. 3.9. Medidor de energía eléctrica domiciliario.

3.3. Efecto Joule

Cuando la corriente eléctrica circula dentro de un conductor, los electrones chocan con los átomos del material transmitiéndoles energía que se traduce en calor. Este efecto de calentamiento producido por la corriente es aprovechado en muchos aparatos tales como estufas, calefactores, termotanques o fusibles y se conoce como “efecto Joule”.

La cantidad de calor depende de la energía eléctrica y están relacionadas por la siguiente expresión:

$$Q = 0,24 * E$$

Donde:

Q: Calor en calorías

E: Energía en Joules

O también, si la corriente circula por un circuito donde existe una resistencia:

$$Q = 0,24 * R * I^2 * t$$

Donde:

R: Resistencia en ohms

I: Corriente en amperes

t: tiempo durante el cual circula la corriente

Ejemplo:

Calcular el calor desprendido por un horno eléctrico de 2.000 Watts en 5 minutos de funcionamiento.

Solución:

$$E = P * t = 2000 \text{ W} * 300 \text{ seg} = 600.000 \text{ Joules}$$

$$Q = 0,24 * E = 0,24 * 600.000 \text{ J} = 144.000 \text{ calorías}$$

Ejemplo:

Calcular el calor desprendido en un conductor de cobre de 100 metros, con una resistencia de 1,2 ohms, si es atravesado por una corriente de 3 Amperes durante 4 horas.

Solución:

$$t = 3600 * 4 \text{ horas} = 14.400 \text{ segundos}$$

$$Q = 0,24 * R * I^2 * t = 0,24 * 1,2 * (3)^2 * 14.400 =$$

$$Q = 37324,8 \text{ calorías}$$

Aplicaciones del efecto Joule

El efecto de calentamiento producido por la corriente eléctrica se puede aprovechar en una gran cantidad de aplicaciones, tales como estufas, planchas, termotanques, calentadores, lámparas incandescentes, etc. El calor generado de esta manera tiene la ventaja de que no provoca llamas ni gases de combustión, es limpio y fácil de controlar y regular su funcionamiento.

Alumbrado

Cuando un material se calienta lo suficiente, comienza a emitir luz, como cuando se quema leña o se calienta un hierro hasta estar "al rojo". Este fenómeno se llama incandescencia y es aprovechado en las lámparas más primitivas para generar luz. Si bien las típicas lámparas incandescentes ya no se pueden comercializar en potencias mayores a 25 Watts, y están siendo reemplazadas por las lámparas de bajo consumo (CFL) y los LEDs, aún existen lámparas que iluminan basadas en este principio, como las halógenas.



Fig. 3.10. Lámpara halógena

Aplicaciones domésticas

En el hogar el efecto Joule se aprovecha de variadas formas, además de la iluminación: las estufas, termotanques, calentadores de agua, secadores de pelo y hornos eléctricos, funcionan gracias a él.



Fig. 3.11. Estufa eléctrica

Aplicaciones industriales

En la industria también se aprovecha el calentamiento debido al efecto Joule, por ejemplo en hornos eléctricos de fundición, soldadura por puntos, etc.



Fig. 3.12. Máquina soldadora por puntos

Cálculo de la sección de los conductores

Uno de los efectos perjudiciales del efecto Joule es el calentamiento que se produce en los cables cuando son recorridos por la corriente eléctrica. Si este calentamiento es excesivo puede dañar el aislante que protege a los cables y ocasionar cortocircuitos o directamente puede ser origen de incendios. Para evitar esto, los cables deben elegirse cuidadosamente según la corriente que vayan a transportar.

La sección de un conductor es la superficie que aparece cuando lo cortamos perpendicularmente a su longitud. Como los cables generalmente son cilíndricos, la sección es circular y se expresa en mm^2 .



Fig. 3.13. Sección de un conductor

El calor que se produce en un cable depende de la corriente que lo atraviesa y de su resistencia. Como ya vimos en la página 7, la resistencia depende de la sección, así que a mayor cantidad de corriente, mayor deberá ser la sección del cable.

Para elegir la sección correcta debemos saber cómo se va a instalar el mismo: a la vista, embutido en un caño, solo o con varios cables más, etc.

En la siguiente página podemos ver una tabla de corriente máxima admisible conductores eléctricos dispuestos de distintas maneras.

Densidad de corriente

La densidad de corriente indica la cantidad de corriente que circula por unidad de sección.

$$\delta = \frac{I}{S}$$

δ : Densidad de corriente (delta, en A/mm^2)

I: Corriente (Amperes)

S: Sección (mm^2)

Ejemplo:

Por un cable de sección $2,5 \text{ mm}^2$ circula una corriente de 15 Amperes. ¿Cuál es la densidad de corriente?

Solución:

$$\delta = I / S = 15 \text{ (A)} / 2,5 \text{ (mm}^2) = 6 \text{ (A/mm}^2)$$

Tabla 771.16.III – Intensidades de corriente admisibles [A] para temperatura ambiente de 40 °C

[mm ²] Cobre	Método B2 Caño embutido en pared Caño a la vista		Método C Bandeja no perforada o de fondo sólido Un cable multipolar o cables unipolares en contacto		Método E Bandeja perforada Bandeja tipo escalera Un cable multipolar	
	Aislación PVC / LS0H Termoplástico	Aislación PVC / LS0H Termoplástico	Aislación PVC / LS0H Termoplástico	Aislación PVC / LS0H Termoplástico	Aislación PVC / LS0H Termoplástico	Aislación PVC / LS0H Termoplástico
	IRAM 2178 IRAM 62266 B2	IRAM 2178 IRAM 62266 B2	IRAM 2178 IRAM 62266 C	IRAM 2178 IRAM 62266 C	IRAM 2178 IRAM 62266 E	IRAM 2178 IRAM 62266 E
	2x	3x	2x o 2x1x	3x o 3x1x	2x	3x
1,5	14	13	17	15	19	16
2,5	20	17	23	21	26	22
4	26	23	31	28	35	30
6	33	30	40	36	44	37
10	45	40	55	50	61	52
16	60	54	74	66	82	70
25	78	70	97	84	104	88
35	97	86	120	104	129	110
50	116	103	146	125	157	133
70	146	130	185	160	202	171
95	175	156	224	194	245	207
120	202	179	260	225	285	240
150	224	196	299	260	330	278
185	256	222	341	297	378	317
240	299	258	401	351	447	374
300	343	295	461	404	516	432

Fig. 3.14. Tabla de corrientes recomendadas según AEA 90364 para instalaciones eléctricas domiciliarias

3.4. Cortocircuito y Sobrecarga

El cortocircuito se produce cuando se unen accidentalmente dos partes activas (con tensión) de un circuito.

Es muy peligroso porque la corriente alcanza valores muy elevados, ya que la única oposición que queda es la resistencia de los cables. Un valor tan alto de corriente, si se mantiene en el tiempo, puede provocar una temperatura excesiva que dañe irremediablemente los conductores y hasta provocar un incendio.

La sobrecarga se produce cuando existe un aumento gradual y lento de la corriente circulante que sobrepasa el valor máximo permitido por los conductores. Puede deberse a la conexión de demasiados aparatos a la misma línea eléctrica, por un mal funcionamiento de algún equipo o por un motor eléctrico que debe hacer más esfuerzo que el normal.

Las sobrecargas también producen un aumento en la tempe-

ratura de los conductores que, con el tiempo, puede llevar a su destrucción.

Elementos de protección

Para proteger los conductores eléctricos del cortocircuito y la sobrecarga se utiliza una amplia variedad de dispositivos.

Fusibles

Son los elementos de protección más sencillos. Constan de un hilo conductor de menor sección que los conductores de la instalación. En caso de cortocircuito o sobrecarga, el hilo se funde debido al efecto Joule, interrumpiendo el paso de la corriente antes de que alcance valores peligrosos para el resto de la instalación.

Existe una gran variedad de fusibles, para distintas aplicaciones y valores de corriente. La desventaja de los fusibles es que cuando actúan, el hilo que contienen en su interior se funde y el fusible ya no sirve, debiendo reemplazarse por otro nuevo.

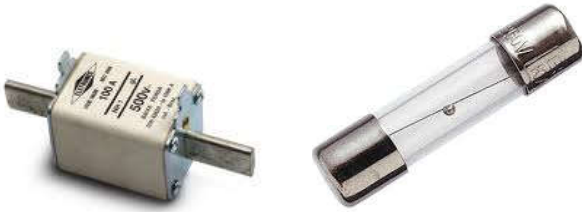


Fig. 3.15. Fusibles de distintos tipos

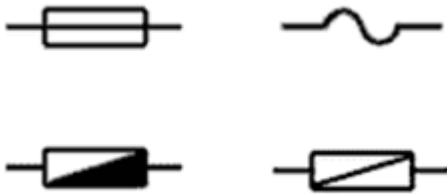


Fig. 3.16. Símbolos utilizados para representar fusibles

Pequeños Interruptores Automáticos

También conocidos como disyuntores o interruptores termomagnéticos, sustituyen a los fusibles en muchas aplicaciones, ya que protegen contra cortocircuitos y sobrecargas de manera más rápida. Además, cuando actúan y desaparece la causa del cortocircuito o sobrecarga se pueden restablecer y seguir utilizando, sin tener que reemplazarlo por otro.

Al igual que los fusibles, los Interruptores automáticos se fabrican calibrados en Amperes. Este valor nos indica la intensidad de corriente que puede pasar por el interruptor sin que este actúe abriendo el circuito; superada esta intensidad, el circuito se abre para proteger los conductores de la instalación.



Fig. 3.17. Interruptor o disyuntor termomagnético

La denominación “termomagnética” se debe a que estos interruptores pueden interrumpir el circuito debido a cualquiera de dos mecanismos: uno térmico, lento, que responde a las sobrecargas, y otro magnético, más rápido, que es el que actúa en caso de cortocircuitos.

La simbología utilizada para representar a los interruptores termomagnéticos en planos eléctricos puede verse en la siguiente imagen:

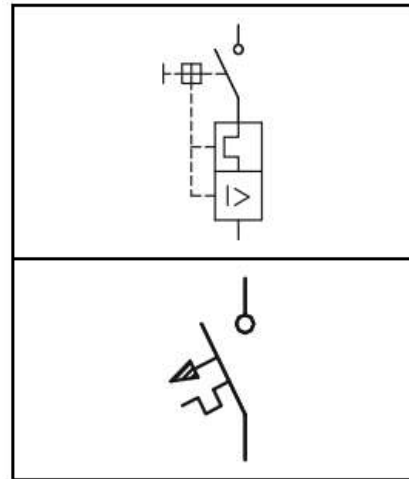


Fig. 3.18. Símbolos del interruptor termomagnético

En instalaciones eléctricas domiciliarias, el interruptor termomagnético se instala generalmente en combinación con un interruptor o disyuntor diferencial que actúa cuando hay una fuga de corriente. La función del disyuntor diferencial es proteger a las personas, más a que a la instalación, y su principio de funcionamiento se basa en detectar una diferencia de corriente entre los conductores de la línea y el neutro.



Fig. 3.19. Disyuntor diferencial

UNIDAD 4. ELECTROMAGNETISMO

4.1. Magnetismo

Hace más de 2000 años, se descubrió un mineral llamado **magnetita**. Los antiguos lo llamaron "piedra imán". Tenía la extraña propiedad de atraer pequeñas partículas de hierro. Si bien este fenómeno no fue comprendido, se lo atribuyó a un efecto invisible denominado **magnetismo**, denominación que proviene de Magnesia, lugar de la antigua Grecia donde fue hallada la piedra. Con el tiempo, estas piedras recibieron el nombre de **imanes**.



Fig. 4.1. Magnetita

Por un largo tiempo, los imanes fueron considerados como una curiosidad. Posteriormente se descubrió que si se suspendía horizontalmente una piedra imán de forma tal que pueda girar libremente, un extremo siempre apunta al Sur, mientras que el otro apunta al Norte. Este fue el nacimiento de la brújula, elemento valioso para los navegantes y viajeros.



Fig. 4.2. Brújula

Muchos años más tarde, se comprobó que la Tierra se comporta como un imán gigantesco y que la interacción entre el magnetismo de la Tierra y el de la brújula era el que producía su movimiento. También se comenzó a relacionar magnetismo con electricidad. Se descubrió que el paso de la corriente eléctrica por un cable producía el mismo efecto que un imán y también que, bajo ciertas circunstancias, los imanes podían generar corrientes en un cable.

Imanes naturales y artificiales

La magnetita es un mineral que presenta propiedades magnéticas tal como se lo halla en la naturaleza, por lo que se denomina **imán natural**. Sin embargo, también es posible fabricar imanes, por distintos métodos, los que son denominados entonces **imanes artificiales**.

Materiales magnéticos y no magnéticos

Si tomamos un imán y lo vamos acercando a distintos materiales, veremos que se pega en algunos y en otros no. En general, el imán es atraído por los metales, pero no por materiales como los plásticos o la madera.

Esto nos permite hacer una división entre los materiales, según como reaccionen ante el magnetismo:

Materiales ferromagnéticos: Reaccionan ante el magnetismo. Son los materiales que "se pegan a los imanes". Se pueden magnetizar, es decir, convertirse en imanes. El hierro y sus aleaciones son magnéticos, lo mismo que el Níquel y el

Cobalto. También algunas cerámicas, usadas en la fabricación de imanes, como la ferrita.

Materiales paramagnéticos: Son la mayoría de los que encontramos en la naturaleza. No presentan ferromagnetismo, y su reacción frente al magnetismo es muy poco apreciable. Por ejemplo el bronce, la madera, vidrio, goma, etc.

Materiales diamagnéticos: Estos materiales repelen el magnetismo. En general, esta acción diamagnética es muy débil, y no es comparable al efecto que produce el campo magnético sobre los materiales ferromagnéticos. Ejemplos: Cobre, Bismuto.

Polos de un imán

Jugando con un imán podemos notar que no tiene la misma "fuerza" en todas sus partes, por el contrario, hay lugares en los que el magnetismo es más intenso que en otros. Estas partes del imán se denominan **polos**. Todos los imanes tienen dos polos: el POLO NORTE y el POLO SUR.



Fig. 4.3. Polos de un imán

Estos nombres están relacionados con el alineamiento de los imanes con el campo magnético de la Tierra (el principio de funcionamiento de la brújula)

Si se corta una imán al medio, no queda un polo Norte aislado de otro polo Sur, en cambio, tendremos dos nuevos imanes completos, cada uno con su polo N y S. Por esto se dice que los imanes son **dipolos**.

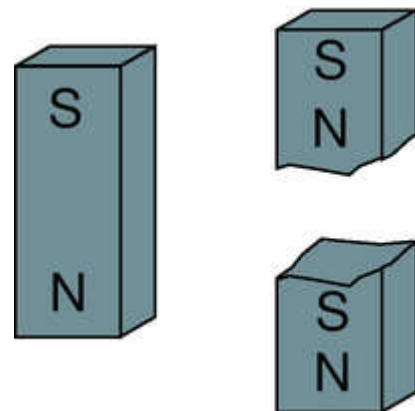


Fig. 4.4. Los imanes siempre tienen dos polos

Interacción entre los polos de un imán

Si tomamos dos imanes y los ponemos frente a frente veremos que en algunas posiciones los mismos se atraen y en otros se repelen. Si marcamos el polo Norte y Sur de cada uno de ellos veremos que se cumple la siguiente regla:

POLOS OPUESTOS SE ATRAEN, POLOS IGUALES SE REPELEN

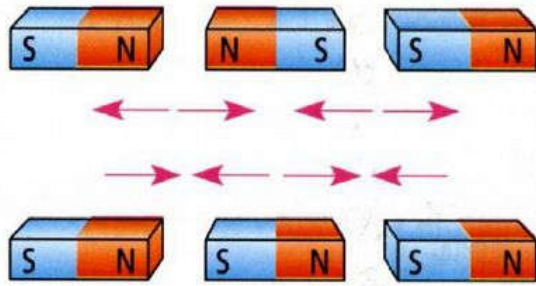


Fig. 4.5. Interacciones entre polos de imanes

Origen del magnetismo

¿Cómo se explica el magnetismo? El fenómeno del magnetismo está asociado con los electrones de los átomos que forman a cada sustancia. Estos átomos se pueden comportar como imanes diminutos, teniendo cada uno de ellos su polo Norte y Sur. En los materiales que no están magnetizados, estos pequeños imanes están desordenados y sus polos apuntan en todas direcciones, por lo que no se aprecian efectos magnéticos.

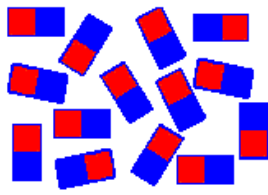


Fig. 4.6. Interior de un material sin magnetizar

Cuando a un material como este se lo expone al magnetismo, estos imanes diminutos se alinean en la misma dirección, reforzándose uno con el otro y creándose así un imán.

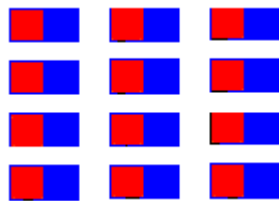


Fig. 4.7. Interior de un material magnetizado

El campo magnético

Ya vimos cómo se atraen o repelen dos imanes. Esta es una acción a distancia que ocurre por algún medio invisible, que no somos capaces de percibir. Para explicar esto, se ha creado el concepto de **campo magnético**, como algo invisible e intangible que existe alrededor de un imán y que es el causante de los fenómenos magnéticos. Si bien es invisible, podemos darnos una idea de su forma a través de sus efectos, por ejemplo esparciendo limaduras de hierro sobre un papel y poniendo luego un imán debajo. Podremos ver que las limaduras se van alineando de una forma característica alrededor del imán, poniendo en evidencia al campo magnético que lo rodea.

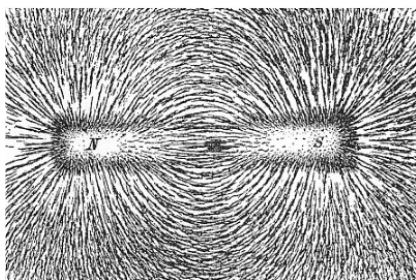


Fig. 4.8. Campo magnético alrededor de un imán

Líneas de campo

El campo magnético es invisible pero lo podemos representar gráficamente con líneas. Las líneas del campo magnético salen del polo Norte y entran por el polo Sur. Se dibujan de manera tal que, donde están más juntas o apretadas representa una mayor intensidad del campo, y donde están más espaciadas, que la intensidad del campo es débil. Las líneas de campo siempre son cerradas, aunque por conveniencia a veces se las dibuje abiertas, como en la siguiente imagen:

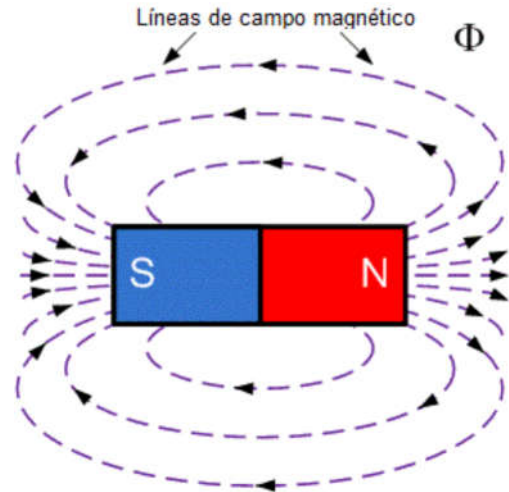


Fig. 4.9. Líneas de campo magnético

Las líneas de campo magnético no tienen una existencia real y física, son sólo una representación gráfica de la intensidad y forma del campo magnético, pero es un concepto muy útil para explicar algunos fenómenos magnéticos, como cuando los polos de dos imanes se atraen o repelen.

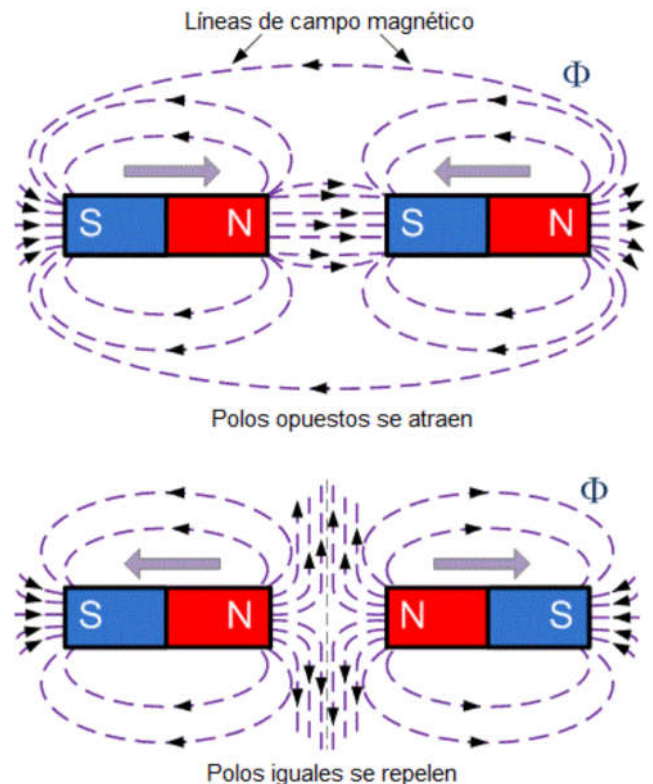


Fig. 4.10. Líneas del fuerza al interactuar dos imanes

Intensidad del campo magnético

Como cualquier magnitud física, el campo magnético puede ser medido si se dispone de los instrumentos adecuados. Como vimos antes, el campo magnético se representa con líneas. El número total de líneas se llama **flujo magnético**, se representa con la letra griega Φ (fi) y se mide en Weber.

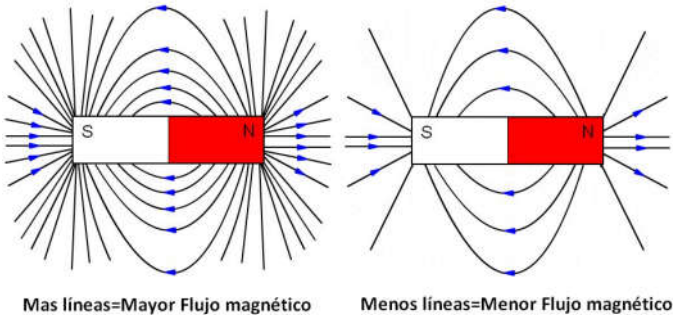


Fig. 4.11. Intensidad del campo magnético

Otra magnitud empleada para medir el campo magnético es la **Inducción magnética**, que se define como la cantidad de líneas de campo magnético que atraviesan una superficie. En cierta forma nos indican cuán densas o apretadas están las líneas de fuerza. **Se representa con la letra B y su unidad es el Tesla.**

Podemos calcular la Inducción magnética a partir del flujo magnético:

$$B = \frac{\Phi}{S}$$

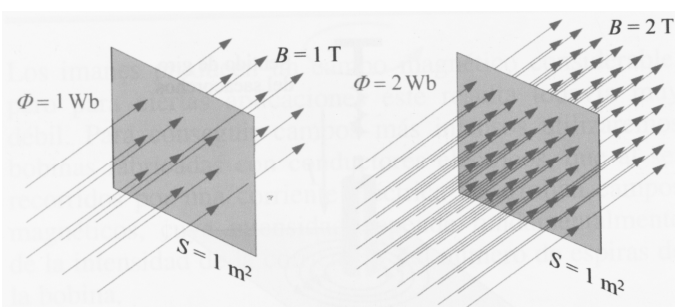
Donde:

B: Inducción magnética (Tesla)

Φ : Flujo magnético (Weber)

S: Superficie atravesada por las líneas de fuerza (m^2)

En la siguiente imagen podemos ver dos casos: a la izquierda, el Flujo magnético es de 1 Weber, a la derecha 2 Wb. Si la superficie atravesada es la misma (1 metro cuadrado), la inducción a la izquierda es de 1 Tesla mientras que a la dere-



cha es de 2 Tesla.

Fig. 4.12. Relación entre el flujo y la inducción magnética

El campo magnético terrestre

Hace al menos unos 4.000 años que se conoce que al suspender un material magnetizado de manera tal que pueda girar libremente, el mismo se orienta siempre en la misma dirección, apuntando un extremo hacia el Norte y otro hacia el Sur. Este descubrimiento dio origen a la invención de la brújula, un instrumento sumamente útil para conocer nuestra posición respecto de los puntos cardinales.

Este comportamiento de la aguja de la brújula se debe a que la Tierra se comporta como un gigantesco imán, con su polo SUR muy cerca del polo Norte geográfico y su polo NORTE en las cercanías del polo Sur geográfico, en la zona de la Antártida. Por esta razón, dondequiera que estemos, la aguja imantada de la brújula, que no es otra cosa que un pequeño imán, se ve atraída por los polos magnéticos terrestres, lo que la lleva a alinearse siempre en la dirección Norte-Sur.

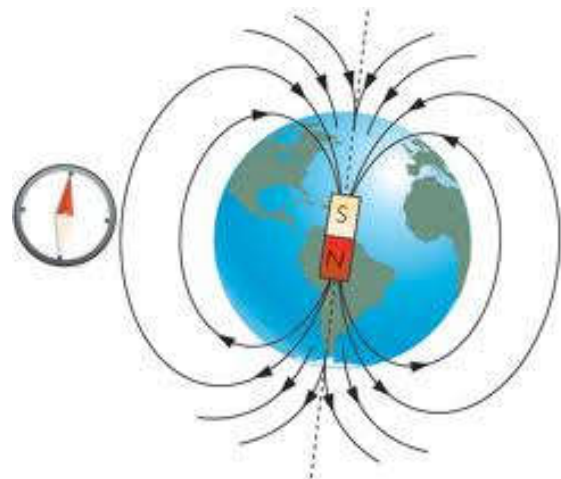


Fig. 4.13. El campo magnético terrestre

El campo magnético de la Tierra es un fenómeno natural originado por los movimientos de metales líquidos en el núcleo del planeta y está presente en la Tierra y en otros cuerpos celestes como el Sol. Se extiende desde el núcleo atenuándose progresivamente en el espacio exterior (sin límite), protegiéndonos del viento solar, un flujo de partículas y energía proveniente del Sol que si nos impactara directamente haría casi imposible la vida sobre nuestro planeta.

Los polos de este gigantesco imán terrestre no coinciden exactamente con los polos geográficos. Por ejemplo, el Polo Sur Magnético se encuentra a 1800 kilómetros del Polo Norte Geográfico. Además, están en movimiento permanente. Se ha encontrado que hace unos 700.000 años aproximadamente, estaban exactamente al revés de su posición actual.

4.2. Corriente eléctrica y magnetismo

Hoy sabemos que hay una estrecha relación entre la electricidad y el magnetismo, pero no era así antes de 1820, cuando el físico danés Hans Christian Oersted realizó un descubrimiento que daría origen a lo que hoy conocemos como **Electromagnetismo**.

Hans Oersted estaba preparando su clase de física en la Universidad de Copenhague, una tarde del mes de abril, cuando al mover una brújula cerca de un cable que conducía corriente eléctrica notó que la aguja se inclinaba hasta quedar en una posición perpendicular a la dirección del cable. Más tarde repitió el experimento una gran cantidad de veces, confirmando el fenómeno. Por primera vez se había hallado una conexión entre la electricidad y el magnetismo, en un accidente que puede considerarse como el nacimiento del electromagnetismo.

El francés André-Marie Ampère conoció los experimentos de Oersted en septiembre de 1820, lo que le sirvió para desarrollar poco más tarde la teoría que sería el punto de partida del electromagnetismo.

Gracias a estos trabajos, hoy sabemos que siempre que circula una corriente eléctrica por un conductor, se genera a su alrededor un campo magnético, cuya intensidad es proporcional a la magnitud de la corriente que lo atraviesa.

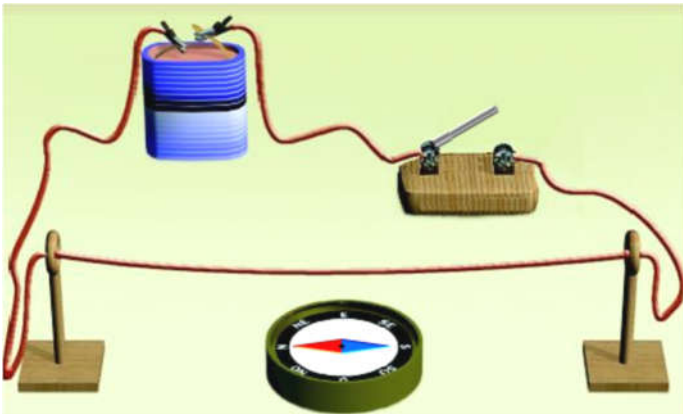


Fig. 4.14. Montaje empleado por Oersted. Consta de una batería, un interruptor y un conductor debajo del cual se ubica la brújula.

Campo magnético en un conductor

Si espolvoreamos limaduras de hierro sobre una hoja de papel que es atravesada por un conductor por donde circula una corriente eléctrica, observaremos que las limaduras se orientan y forman un dibujo circular. (Fig. 4.15)

Esto demuestra que cuando un conductor es atravesado por una corriente eléctrica, a su alrededor aparece un campo magnético. Las líneas de fuerza de ese campo tienen la forma de círculos con centro en el conductor que lleva la corriente.

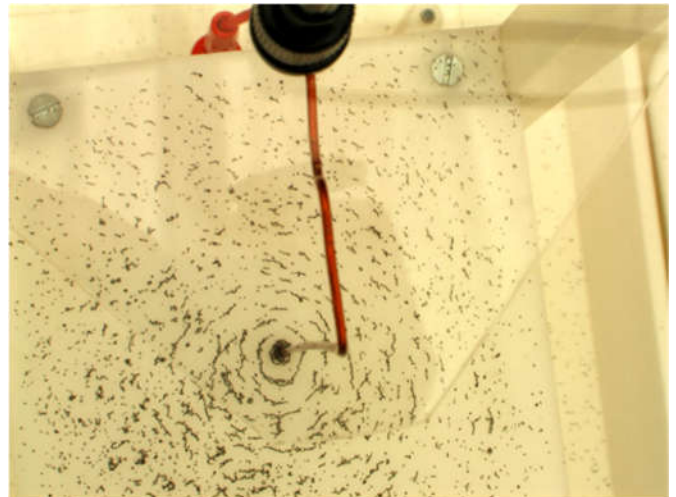


Fig. 4.15. Campo magnético alrededor de un conductor que transporta una corriente eléctrica

Para determinar la dirección del campo magnético producido por la corriente se puede usar la “regla de la mano derecha”: el pulgar debe apuntar en el sentido de circulación de la corriente y el resto de los dedos señalan la dirección de las líneas de fuerza.



Fig. 4.16. Regla de la mano derecha para determinar la dirección del campo magnético en un conductor.

La intensidad del campo magnético depende de la intensidad de la corriente que circula por el conductor: a más intensidad de corriente, más intensidad de campo magnético.

Campo magnético en una espira

Una espira es un arrollamiento de alambre de una sola vuelta. Si hacemos pasar una corriente eléctrica por una espira y repetimos el experimento de espolvorear limaduras de hierro sobre un papel, veremos que las líneas del campo magnético tienen la forma que se ve en la Fig. 4.17.

Las líneas de fuerza se concentran en el interior de la espira, indicando que allí el campo magnético es más intenso.

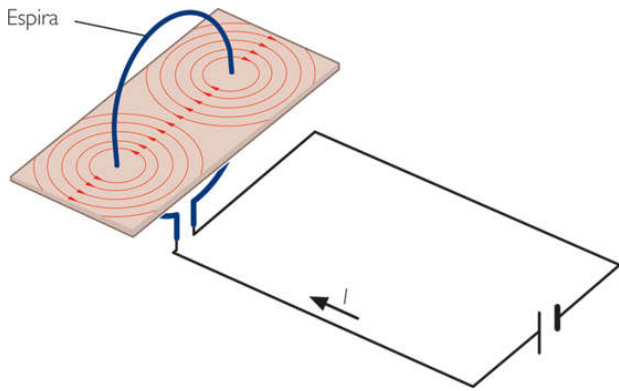


Fig. 4.17. Campo magnético en una espira

Campo magnético en una bobina

Una bobina es un arrollamiento de alambre con muchas vueltas, o muchas espiras. El campo magnético creado por una espira se suma al que crea la espira de al lado, creando así un campo magnético total que recuerda al de un imán.

Una bobina de este tipo a veces es llamada también **SOLENOIDE**.

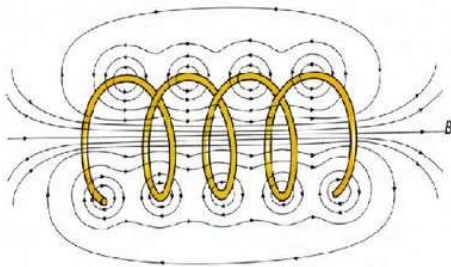


Fig. 4.18. Campo magnético en una bobina

Electroimanes

El campo magnético en una bobina es muy parecido al de los imanes rectangulares que vimos en la unidad anterior. Esto nos sugiere que podemos construir un imán cuyo campo magnético provenga de la corriente eléctrica. Esto tiene múltiples ventajas, ya que podemos controlar la intensidad del magnetismo (controlando la intensidad de la corriente eléctrica) e incluso podemos activar y desactivar el imán a voluntad a través de un interruptor que permita o no el paso de la corriente. Para hacer más intenso el campo magnético generado por la corriente, la bobina se enrolla sobre un material ferromagnético que tiene la propiedad de "concentrar" las líneas de fuerza magnéticas. Este material recibe el nombre de **NÚCLEO** del electroimán.

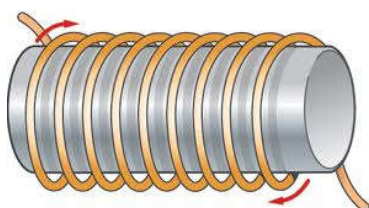


Fig. 4.19. Solenoide

Construyendo un electroimán

La construcción de un electroimán es muy sencilla: sólo necesitas un clavo grande o un bulón de hierro o acero y algunos metros de alambre esmaltado. Enrolla unas 100 vueltas de alambre sobre el clavo o bulón, bien apretadas una al lado de la otra. Si llegas al final y no has alcanzado el número de vueltas, enrolla una segunda capa de alambre sobre la primera, pero siempre siguiendo la misma dirección, si no el campo magnético generado por una capa anulará al campo generado por la otra.

Luego raspa con una trincheta o un papel de lija los extremos del alambre para limpiarlos del esmalte aislante y conéctalos a una pila de 9V, una fuente de alimentación o un cargador de celular.

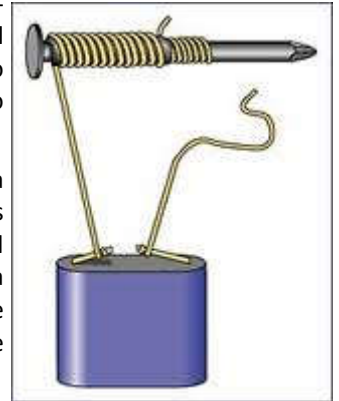


Fig. 4.20. Electroimán casero

Prueba el electroimán con distintas cantidades de vueltas de alambre y distintos valores de corriente. Verás que es más potente mientras más vueltas tenga y mientras más corriente circule.

Fuerza Magnetomotriz

Si construyes el electroimán como se explica más arriba y pruebas que pasa al cambiar la cantidad de vueltas de alambre y la corriente que circula por la bobina, notarás que con más vueltas de alambre o con más corriente circulando por la bobina, el imán es más potente. Esto se debe a que el campo magnético es producido por la corriente y a mayor intensidad, más campo magnético. De la misma forma, si agregas vueltas de alambre estás reforzando la acción de cada una de las espiras, con lo que el campo también se hace más potente. Esta capacidad de la bobina de generar un campo magnético en el núcleo del electroimán se denomina **Fuerza magnetomotriz** y se define de la siguiente forma:

$$F = N * I$$

Donde:

F: Fuerza magnetomotriz (Amper-vuelta)

N: Cantidad de vueltas de la bobina

I: Corriente que circula por la bobina (amper)

La unidad de medida para la fuerza magnetomotriz es el Amper vuelta (Av).

Ejemplo:

Para el funcionamiento de un electroimán se necesita una fuerza magnetomotriz de 500 Av. Indica dos posibilidades para conseguirlo.

Solución: Si fabricamos una bobina con 500 espiras, la corriente que tendremos que hacer pasar será de:

$$I = F/N = 500 \text{ Av} / 500 = 1 \text{ Amper}$$

En cambio, si la fabricamos con 100 espiras,

$$I = F/N = 500 \text{ Av} / 100 = 5 \text{ Amperes}$$

Matemáticamente:

$$B = \mu * H$$

Donde:

B: Inducción Magnética (Teslas)

H: Intensidad de campo magnética (A.v/m)

μ (letra griega mu): Permeabilidad magnética en Teslas metro por amper (T.m/A).

Generalmente se usa la permeabilidad del vacío (o el aire, es lo mismo en la práctica) como valor de referencia, tomando el valor de 1 y se comparan los materiales con este valor, dando lugar a lo que se llama la permeabilidad relativa, que indica como se comporta un material comparado con el vacío.

Desde el punto de vista de la permeabilidad relativa podemos revisar la clasificación que hicimos de los materiales frente a los fenómenos magnéticos en la pág.. 25:

Ferromagnéticos: Permeabilidad relativa muy superior a 1.

Paramagnéticos: Permeabilidad relativa cercana a 1.

Diamagnéticos: Permeabilidad relativa menor a 1.

Intensidad de Campo Magnético (H)

Como vimos antes, la intensidad del campo magnético de un electroimán depende de la corriente y la cantidad de vueltas, es decir, de la fuerza magnetomotriz. ¿Pero, que pasa si hacemos mas larga o mas corta la bobina? Si la alargamos, las líneas de fuerza se dispersan y el campo se debilita. En cambio si la hacemos mas corta, el campo se concentra y se hace mas intenso. Esto nos permite introducir una nueva magnitud denominada **Intensidad de Campo Magnético o Excitación Magnética** de acuerdo a la siguiente expresión:

$$H = \frac{N * I}{L}$$

H: Intensidad de campo magnético (Av/m)

N: Número de vueltas en la bobina

I: Corriente que circula por la bobina (Amperes)

L = Longitud de la bobina (metros)

Permeabilidad magnética

La intensidad de campo magnético (H) es una medida del “esfuerzo” de la corriente eléctrica por establecer un campo magnético (la inducción magnética B definida en la pág.. 27) en el núcleo de la bobina. El valor de la inducción resultante dependerá del material del que esté construido el núcleo. Si el material es ferromagnético, habrá un aumento de la inducción, una multiplicación de las líneas de fuerza, lo que no sucede si el núcleo es de aire.

El factor que relaciona H con B se denomina Permeabilidad magnética y da una idea de la capacidad de un material para intensificar el campo magnético cuando pasa a través de él.

Material	Permeabilidad Relativa
<i>Paramagnéticos</i>	
Aire	1,0000004
Aluminio	1,000022
<i>Diamagnéticos</i>	
Plomo	0,999983
Cobre	0,999991
Agua	0,999991
<i>Ferromagnéticos</i>	
Níquel	600
Acero dulce	2.000
Hierro al Silicio	7.000
SUpermalloy	1.000.000

Fig. 4.21. Permeabilidad relativa de algunos materiales

Relés y contactores

Una aplicación práctica directa del principio del electroimán es un dispositivo electromecánico muy utilizado llamado **relé** o **relay** en inglés, cuya estructura interna puede verse en la Fig. 4.22.

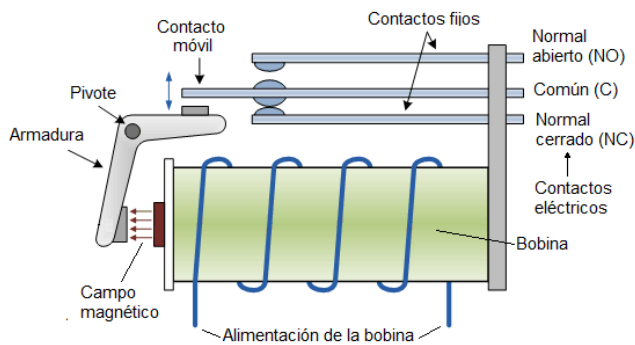


Fig. 4.22. Estructura de un relé

El relé está compuesto de una bobina de alambre arrollada sobre un núcleo magnético formando un electroimán, un grupo de contactos eléctricos llamados Común—C (Common), Normal Cerrado—NC (Normally Closed) y Normal Abierto—NA (Normally Open o NO). Entre ambos se ubica una pieza metálica llamada **Armadura** que se mueve alrededor de un punto fijo o **Pivote**. El funcionamiento es por demás simple: En estado de reposo, cuando no circula corriente por la bobina, los contactos están en su posición "Normal" respecto del común (Cerrado el NC y abierto el NA). Cuando circula corriente por la bobina, se activa el electroimán que atrae a la armadura. Cuanto esta gira alrededor del pivote, mueve los contactos cambiando su posición, abriendo el que estaba cerrado y cerrando el que estaba abierto. Si se quita la corriente, desaparece el campo magnético, la armadura vuelve a su posición y los contactos de nuevo a su posición "normal".



Fig. 4.23. Distintos tipos de relés

El relé entonces no es otra cosa que un interruptor, que puede estar abierto o cerrado para permitir o no el paso de la corriente. La diferencia con un interruptor manual como los que usamos para prender las luces de nuestro hogar es que el relé se controla con la corriente que circula por la bobina. Esto permite controlar cargas que requieren mucha tensión o corriente (por ejemplo 220V y varios amperes) conectadas a los contactos, con un circuito que maneja tensiones y corrientes muy pequeñas (como 5 Voltios y algunos miliampe-

res) conectado a la bobina. Además, no hay ninguna conexión eléctrica entre el circuito de los contactos y el de la bobina, lo que brinda una aislación segura para manejar potencias elevadas desde circuitos más delicados.

En la Fig. 4.24 puede verse el símbolo empleado para representar un relé en un circuito. A la izquierda está la bobina con sus dos terminales y a la derecha los tres contactos: Común (C), Normal Abierto (NA) y Normal Cerrado (NC). La línea de puntos indica que es la bobina la que controla o "mueve" a los contactos.

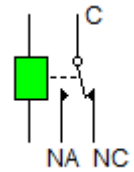


Fig. 4.24.

Existe una enorme variedad de relés, desde unos pequeños, que funcionan con 5 o hasta 3 voltios y son capaces de manejar un par de amperes, hasta los que admiten 220 Voltios y una decena de amperes. Los más pequeños se pueden soldar directamente en una plaqueta y los más grandes generalmente se "enchufan" en unos zócalos, lo que permite removerlos con facilidad ante algún desperfecto.



Fig. 4.25. Valores de tensión y corriente de un relé

En aplicaciones industriales se emplean los contactores, que son los "hermanos mayores" de los relés, adaptados para controlar tensiones trifásicas de 380 Voltios y corrientes que pueden llegar hasta los centenares de amperes.

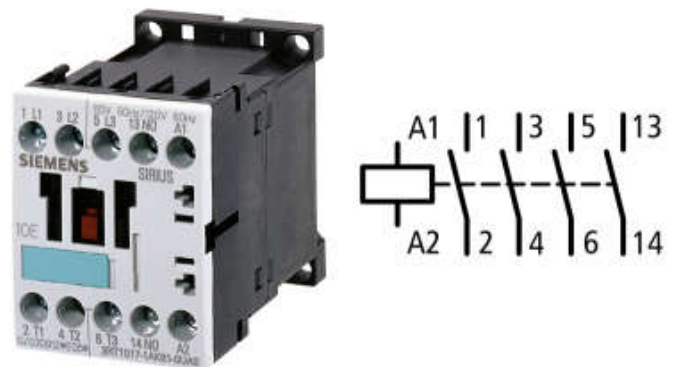


Fig. 4.26. Un contactor y su símbolo

En la Fig. 4.26 puede apreciarse un contactor y su símbolo. A1 y A2 son los terminales de la bobina, 1, 2, 3, 4, 5 y 6 los contactos principales o de potencia y 13 y 14 es un contacto auxiliar.

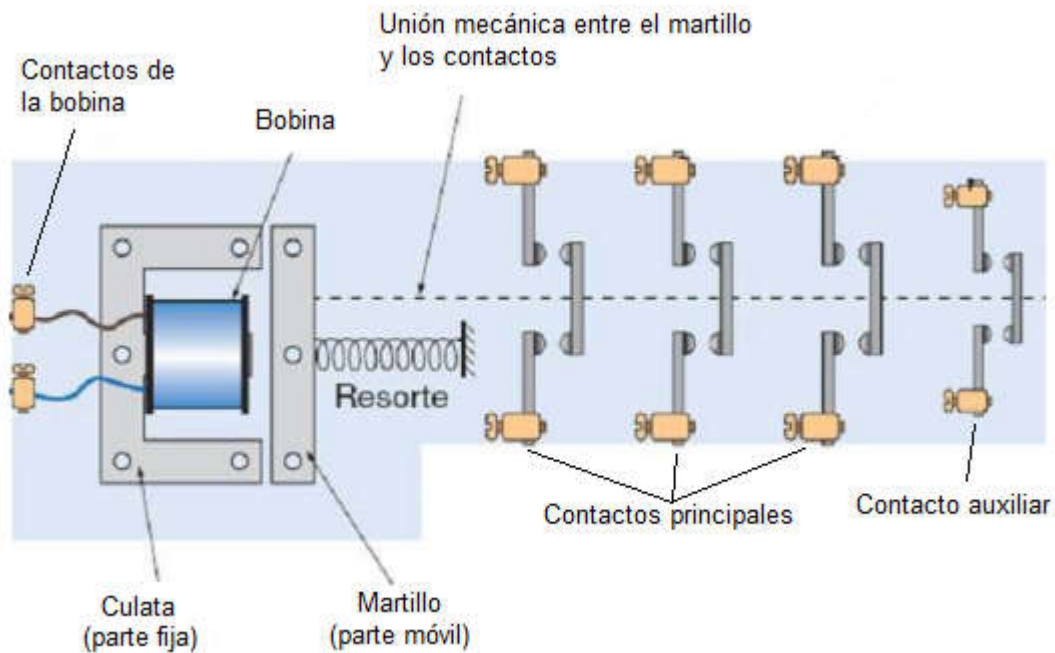


Fig. 4.27. Estructura interna de un contactor

En la Fig. 4.27. puede verse la estructura típica de un contactor. Consiste en un electroimán de dos partes, una fija o culata y una móvil o martillo. Cuando se hace pasar corriente por la bobina, el martillo se pega a la culata arrastrando a los contactos, que se cierran. Cuando se interrumpe la corriente, el resorte lleva el martillo a su posición de reposo y los contactos se abren.

Electroválvulas

Una electroválvula es la combinación de una válvula para el control de un fluido tal como aire o agua con un mecanismo electromagnético que permite su cierre o apertura. Son muy utilizadas en una gran variedad de aplicaciones, desde el control del agua en un lavarropas hasta complejos sistemas de control neumáticos en la industria.



Fig. 4.28. Una electroválvula para el control de líquidos y su símbolo

Sensor de efecto Hall

Existen ocasiones en las que es necesario medir la intensidad de un campo magnético, o al menos detectar su presencia, no tanto porque nos interese el campo magnético en si mismo sino porque nos ayuda, indirectamente, a medir o detectar otra magnitud. Tal es el caso por ejemplo de los automóviles, en los que un sensor de este tipo se emplea para medir velocidades de rotación o de posición o en la industria, donde se pueden medir corrientes elevadas sin tener ningún contacto con los conductores que la transportan.



Fig. 4.29. Sensor de efecto Hall usado en automóviles

Estos sensores basan su funcionamiento en materiales semiconductores como los que veremos en la unidad 6, que son capaces de detectar la presencia de un campo magnético. Cuando se usan para medir rotaciones, por ejemplo, se adosa a la pieza que gira un pequeño imán que pasa frente al sensor en cada vuelta. La electrónica del auto detecta la señal del sensor en cada vuelta del imán y así puede medir las RPM.

4.3. Inducción electromagnética

Comenzamos esta unidad mencionando el experimento que permitió a Oersted concluir que una corriente eléctrica producía un campo magnético. Años más tarde del logro de Oersted, en 1832, Michael Faraday descubrió el fenómeno inverso, que el magnetismo podía producir una corriente. Gracias a sus experimentos, Faraday descubrió que si movía un conductor en el interior de un campo magnético, circulaba por el mismo una corriente eléctrica. Lo mismo ocurriría si el conductor estaba quieto y quien se movía era la fuente del campo magnético, concluyendo que lo que importaba era el movimiento relativo entre el conductor y el campo magnético. A este fenómeno se le dio el nombre de **inducción electromagnética**.

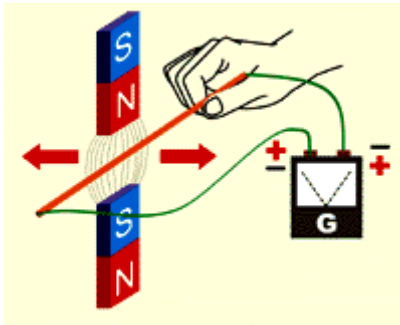


Fig. 4.30. Corriente inducida al moverse un conductor dentro de un campo magnético. Lo mismo ocurre si el que se mueve es el imán.

En la Fig. 4.30. puede verse un montaje similar al que empleó Faraday. Si se mueve el conductor de forma perpendicular a las líneas de fuerza del campo magnético, el instrumento indica la circulación de corriente. Si el conductor se mueve en sentido opuesto, el instrumento indica que la corriente tiene sentido de circulación opuesto. Si el conductor se mueve paralelo a las líneas de fuerza de manera que no las "corta" en su desplazamiento, la corriente se mantiene en cero. Si en vez de un conductor único se utiliza un arrollamiento con varias vueltas, la corriente es mayor y proporcional a la cantidad de vueltas.

El alternador

La inducción electromagnética tiene numerosas aplicaciones prácticas, pero sin lugar a dudas la más importante es el alternador, un dispositivo empleado para la producción de energía eléctrica en grandes cantidades.

El principio de funcionamiento es muy simple y es una aplicación directa del principio de inducción que vimos en el punto anterior. Para explicarlo, veamos la Fig. 4.31. En ella, una espira se hace girar en el interior del campo magnético generado por un imán fijo. A medida que el arrollamiento gira, va cortando las líneas del campo magnético y produciendo corriente inducida, la que se extrae del dispositivo para su uso gracias a un par de escobillas.

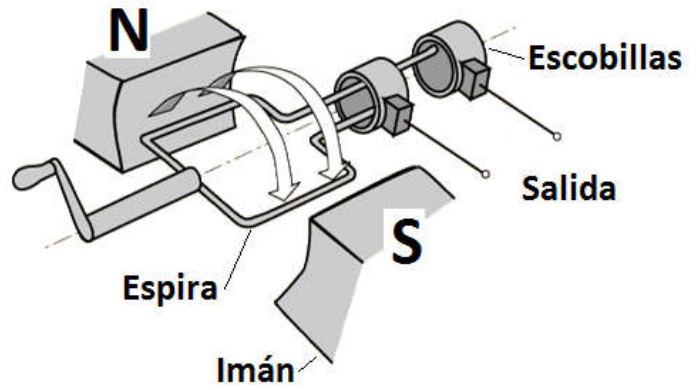


Fig. 4.31. Principio de funcionamiento del alternador

Veamos ahora que pasa a medida que la espira va girando en el interior del campo magnético, ayudándonos con la imagen de la Fig. 4.32.

Cuando el arrollamiento está en posición vertical (1), no corta líneas del campo y por lo tanto la corriente es cero. A medida que gira, la cantidad de líneas que corta va en aumento, alcanzando el máximo cuando se pone en posición horizontal (2). A partir de allí, la corriente decrece para hacerse otra vez cero (3) y luego se repite todo el ciclo pero cortando el campo en la dirección opuesta (4). Esta variación durante el giro hace la corriente de salida no sea constante sino que varíe según el ángulo entre el arrollamiento y las líneas de fuerza, produciendo de esta manera una corriente alterna senoidal.

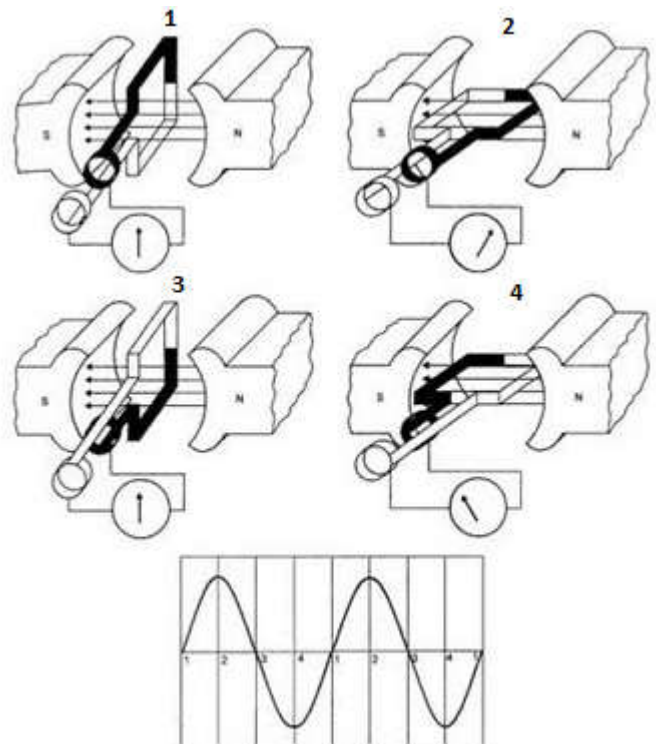


Fig. 4.32. Producción de una corriente alterna senoidal

Un alternador real tiene la forma que se muestra en la Fig. 4.33. Consta de una parte fija llamada inducido, donde se ubican los arrollamiento (espiras) y otra móvil denominada inductor que genera el campo magnético. El campo magnético no se produce con un imán sino con un electroimán, alimentado por una corriente continua de excitación por medio de escobillas. La ventaja de esta disposición es que las escobillas se emplean para alimentar el inductor con una corriente pequeña y no para extraer la energía generada que puede ser de miles de voltios y cientos de amperes.

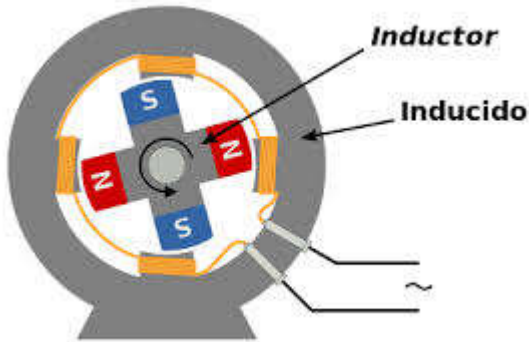


Fig. 4.33. Alternador de inducido fijo

El transformador

Otra aplicación práctica de la inducción electromagnética es el transformador, que consiste en dos bobinados, uno llamado primario y otro secundario, arrollados sobre un núcleo común formado por chapas apiladas.

Si el bobinado primario, con N_p espiras o vueltas se conecta a una tensión alterna V_p , se generará un campo magnético variable que será "conducido" por el material ferromagnético del núcleo hasta el bobinado secundario, en donde se inducirá una tensión que podemos llamar V_s .

Si la cantidad de espiras o vueltas del secundario es N_s , en todo transformador se cumple la llamada "relación de transformación":

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} = m$$

Ejemplo:

Un transformador tiene 1500 vueltas en el primario y 150 vueltas en el secundario. Calcular la relación de transformación m y la tensión de secundario si el primario se conecta a 220V.

Solución:

$$m = N_p/N_s = 1500/150 = 10$$

$$V_s = V_p/m = 220V/10 = 22 \text{ Volts}$$

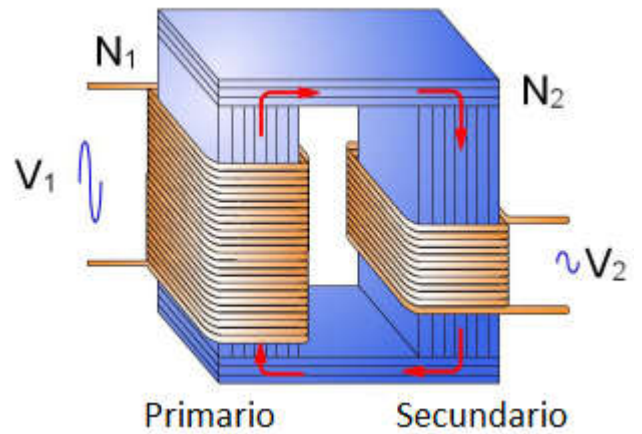


Fig. 4.34. Funcionamiento de un transformador

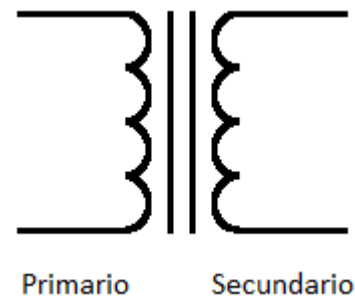


Fig. 4.35. Símbolo de un transformador

Si en el secundario del transformador se conecta una carga que produzca una circulación de corriente I_s , también aparecerá una corriente en el primario, que llamaremos I_p . Eso significa que se está entregando una potencia P_p al primario, y como en el transformador no se pierde ni se genera energía, esta potencia deberá ser la misma que sale por el secundario, P_s . (En realidad hay una pequeña pérdida, que se manifiesta por el calentamiento del transformador, pero para este análisis consideraremos un transformador ideal, sin pérdidas).

Esta propiedad del transformador lo hace particularmente útil en el transporte de energía eléctrica. En la Unidad 3 vimos que debido al Efecto Joule, cuando circula corriente por

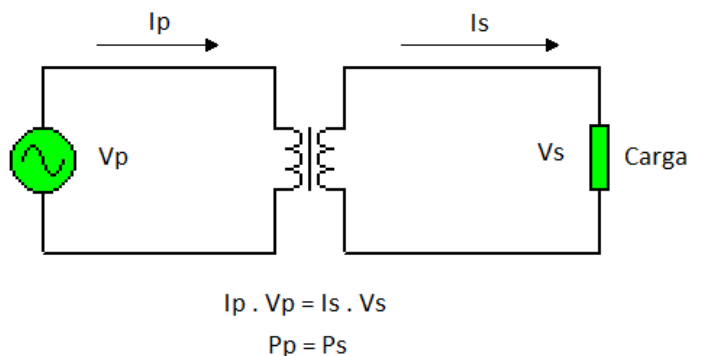


Fig. 4.36. En un transformador, la potencia de entrada (primario) es igual a la de salida (secundario)

un cable, se produce un aumento de la temperatura que puede llegar a ser peligroso y que para evitarlo debemos elegir cuidadosamente la sección del cable. Si una central eléctrica enviara a los centros de consumo (por ejemplo, una ciudad) la energía eléctrica en 220V, como la ciudad consume millones de watts (mega watts), la corriente sería de miles de amperes. Semejante corriente requeriría el uso de cables exageradamente gruesos y sumamente caros. Para evitar esto, en la central eléctrica se usa un transformador para elevar la tensión a un valor muy alto, por ejemplo 500.000 Volts. Como la potencia en el primario es igual que la del secundario, al aumentar la tensión disminuye la corriente, con lo que se puede usar cables de sección razonables. Luego, cuando la energía llega a la ciudad, se baja de 500.000 V a valores más pequeños con otro transformador.

Esta es la razón fundamental por la cual la energía eléctrica se genera y se transporta como Corriente Alterna en vez de Corriente Continua, ya que los transformadores funcionan con CC.

Ejemplo:

Si queremos transportar una potencia de 1 MW entre una central y una ciudad en forma directa, con una tensión de 220V, la corriente sería de:

$$P = V \cdot I, I = P/V$$

$$I = 1.000.000 \text{ (W)} / 220 \text{ (V)} = 4.545 \text{ A}$$

Un cable para transportar semejante corriente sería carísimo, pesado y totalmente impráctico.

En cambio, si elevamos la tensión a 500.000 V con un transformador para transportarla y luego volverla a bajar, la corriente sería:

$$I = P/V = 1.000.000 \text{ (W)} / 500.000 \text{ (V)} = 2 \text{ A}$$

Un valor de corriente fácilmente manejable!



Fig. 4.37. Transformador usado en el transporte de energía eléctrica



Fig. 4.38. Transformadores de baja potencia

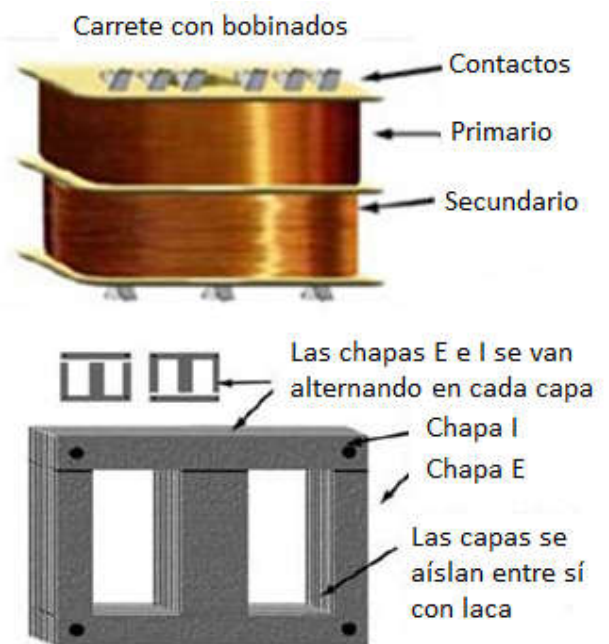


Fig. 4.39. Detalles del armado del núcleo de un transformador de baja potencia

Motores eléctricos

Los motores eléctricos son otro excelente ejemplo de las aplicaciones prácticas de los fenómenos electromagnéticos, como la inducción. Básicamente tienen la función de convertir la energía eléctrica que se les suministra en energía mecánica, en la forma de un movimiento de rotación.

Existe una gran variedad de motores, para distintas aplicaciones. Puede hacerse una clasificación general a partir de la corriente que utilicen para trabajar, por lo que tenemos dos grandes grupos:

- Motores de corriente continua
- Motores de corriente alterna

Motores de corriente continua

Para comprender el funcionamiento de un motor de CC veamos la imagen de la Fig. 4.40. Seguramente les recordará a la Fig. 4.23, que ilustra el funcionamiento del alternador, que produce una tensión al mover las espiras dentro del campo magnético. En el caso del motor se produce el fenómeno inverso: al hacer circular una corriente en las espiras a través de una pieza llamada Conmutador, se produce un campo magnético alrededor de las mismas que interactúa con el campo magnético fijo, generando una fuerza que produce un movimiento de rotación.

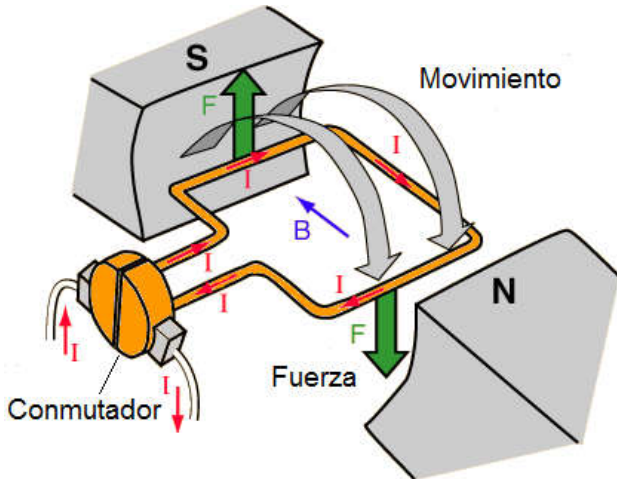


Fig. 4.40. Funcionamiento de un motor de CC

Los motores de CC se emplean generalmente en equipos portátiles alimentados por baterías, como en los levantavidrios de los autos, autos de juguetes, electrodomésticos, impresoras, etc. En un auto, el motor de arranque o “burro de arranque” es un motor de CC, alimentado por la tensión de la batería. En general en aplicaciones de mayor potencia, como las que requiere la industria, se hace uso de motores de corriente alterna.



Fig. 4.41. Dos motores de CC

Independientemente del tipo de motor que se trate, la parte que permanece fija se llama estator y la que se mueve, rotor.

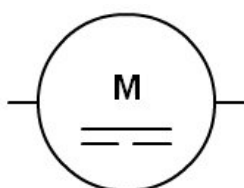


Fig. 4.42. Símbolo de un motor de CC

Motores de corriente alterna

Como su nombre lo indica, son los motores que funcionan conectados a una tensión alterna. Los hay del tipo monofásicos, que se conectan a 220 Voltios, como los que están en los lavarropas, secarropas, cortadoras de césped, etc y los trifásicos que funcionan con 380 Voltios y se usan sobre todo en la industria.

Un tipo de motor trifásico muy común es el denominado “motor asíncrono con rotor en cortocircuito”, también llamado “jaula de ardilla”. Estos motores son relativamente baratos, fáciles de construir y también de mantener. Fueron diseñados por Nikola Tesla cerca de 1888.

Un motor asíncrono trifásico funciona gracias al fenómeno de inducción. Tiene un estator donde se alojan los bobinados y un rotor formado por barras conductoras de cobre o aluminio unidas en los dos extremos por discos conductores que las ponen en cortocircuito (de allí su nombre).

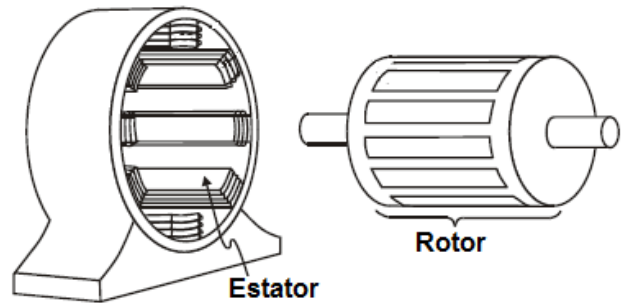


Fig. 4.43. Estructura de un motor asíncrono trifásico

Cuando los bobinados del estator se alimentan con corriente alterna trifásica, se produce un campo magnético giratorio, que arrastra al rotor y lo mantiene en movimiento.



Fig. 4.44. Aspecto de un motor asíncrono

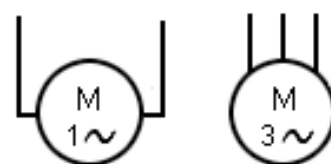


Fig. 4.45. Símbolos de un motor monofásico (izq) y trifásico (der)

Autoinducción

Como ya vimos antes, Faraday descubrió que si se movía un conductor eléctrico en el interior de un campo magnético, aparecía en el conductor una tensión que denominó **tensión inducida**. El fenómeno también se producía si el conductor estaba quieto y era el imán productor del campo magnético el que se movía. El mismo efecto se logra si se mantiene fijo el conductor y se genera un campo magnético variable, por ejemplo, como resultado de una corriente también variable. Este es el principio de funcionamiento del **transformador**, que también vimos antes.

Ahora pensemos en un arrollamiento único que es atravesado por una corriente variable en el tiempo. Esta corriente producirá un campo magnético también variable. Pero, las líneas de fuerza de ese campo atraviesan al mismo arrollamiento, ¿existe una tensión inducida?

La respuesta es sí, en una bobina por la que circula una corriente variable se induce una tensión. Esto se llama autoinducción y la tensión que se induce en la bobina tiene la importante propiedad de que se opone a los cambios de la corriente que la produce.

Inductancia

La tensión autoinducida depende de dos factores: la velocidad con que cambia el campo magnético (mientras más rápido cambie, mayor será la tensión) y de las características físicas y geométricas de la bobina, que se resumen en un valor llamado **inductancia**, que se simboliza con la letra L y se mide en Henrys (H) (también se usa la versión castellanizada de Henrios).

Todo conductor tiene inductancia, la que crece si la longitud es importante o si está arrollado en forma de un bobinado. La inductancia puede ser inconveniente, por su oposición a las variaciones de la corriente, por ejemplo en los motores eléctricos, donde los bobinados pueden alcanzar una inductancia importante.

Inductores

La inductancia puede ser un problema, pero también puede ser aprovechada en los circuitos eléctricos y electrónicos. Para ello, se construyen los llamados inductores, que materializan la propiedad de la inductancia (como los resistores la resistencia y los condensadores la capacidad).

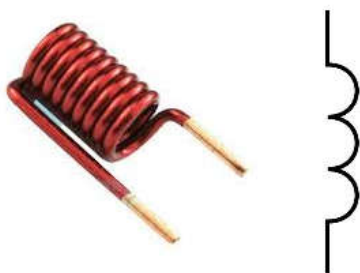


Fig. 4.46. Inductor con núcleo de aire y su símbolo

El inductor más sencillo es una simple bobina de alambre con núcleo de aire, pero para lograr mayores valores de inductancia se suelen fabricar inductores con núcleo de material ferromagnético, como ferrita o hierro.



Fig. 4.47. Inductores con núcleo de hierro y su símbolo

También se emplean núcleos con forma toroidal, que tienen la ventaja de concentrar el flujo en el núcleo, ya que está cerrado, lo que aumenta aún más la inductancia.

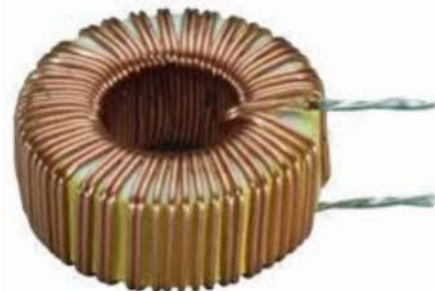


Fig. 4.48. Inductor toroidal

UNIDAD 5. CORRIENTE ALTERNA

5.1. Corriente alterna

La corriente eléctrica consiste en el movimiento de cargas eléctricas dentro de un conductor. Si las cargas se mueven siempre en el mismo sentido, se dice que la corriente es **continua**. Si en cambio las cargas se mueven alternativamente en un sentido y luego en el opuesto, decimos que la corriente es **alterna**.

Corriente eléctrica	Continua (CC)	Circula siempre en el mismo sentido
	Alterna (CA)	Cambia constantemente de sentido

Fig. 5.1 Corriente alterna y continua

Las **pilas de una linterna o la batería del celular** son ejemplos de fuentes de **corriente continua**. Los **tomas** donde enchufamos un televisor o una heladera en nuestra casa proveen **corriente alterna** que es suministrada por la empresa de electricidad.

Símbolos y denominación

La corriente continua se designa por las letras CC o DC (del inglés Direct Current).

La corriente alterna se designa por las letras CA o AC (del inglés Altern Current).

Los símbolos para representar cada una son los siguientes:

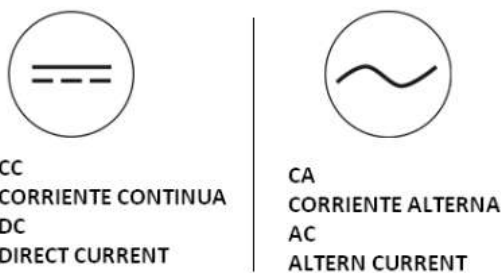
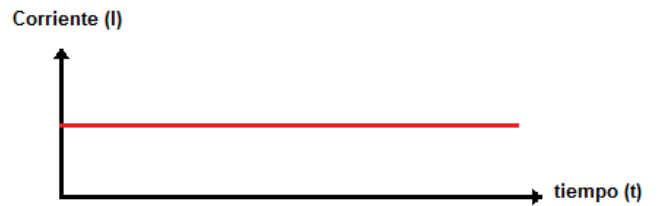


Fig. 5.2. Símbolos usados para representar CC y CA

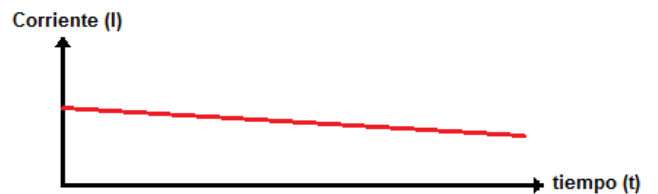
Formas de onda

Si representamos gráficamente la variación de la corriente a lo largo del tiempo, la **Corriente Continua** se verá como una línea recta o no (según sea constante o no) pero que siempre está por **sobre la línea del eje horizontal** porque siempre circula en la misma dirección.

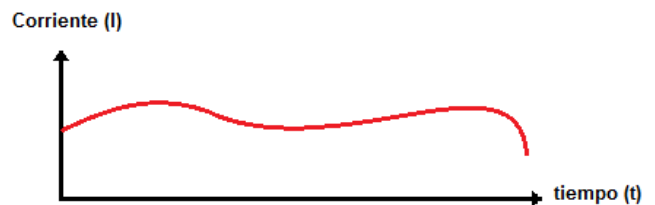
La gráfica de la **Corriente alterna**, en cambio, **cruza el eje horizontal, porque cambia su sentido de circulación**. Por arriba del eje tiene valores positivos (+) y por debajo valores negativos (-).



Corriente continua ideal, su valor nunca cambia con el tiempo



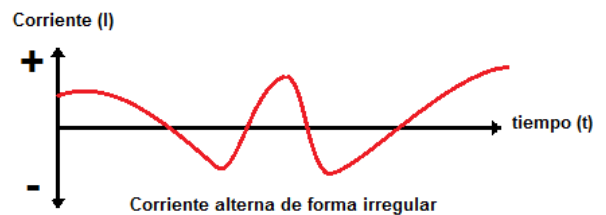
Corriente continua que decrece con el tiempo (por ej. descarga de una pila)



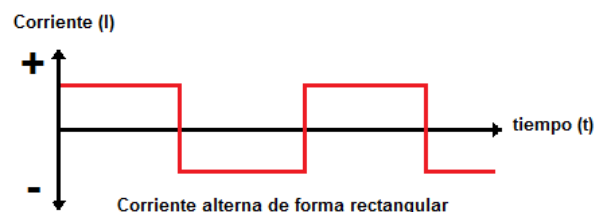
Corriente continua cuyo valor cambia con el tiempo

Fig. 5.3. Formas de onda de CC

La **forma en la que la corriente varía con el tiempo se llama forma de onda**. En la imagen 5.4. hay tres formas de onda diferentes: de una alterna irregular, de una rectangular y la última triangular.



Corriente alterna de forma irregular



Corriente alterna de forma rectangular



Corriente alterna de forma triangular

Fig. 5.4. Formas de onda de CA

Estas gráficas de las formas de onda no son sólo representaciones teóricas. Con la ayuda de un instrumento especial llamado osciloscopio podemos ver en la realidad de que forma varía la corriente.

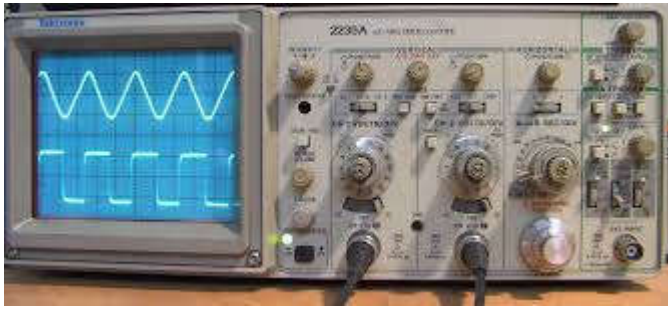


Fig. 5.5. Un osciloscopio mostrando formas de onda en su pantalla

5.2. La corriente alterna senoidal

De entre las infinitas formas que puede tener una corriente alterna, la mas importante es la llamada **senoidal**. Su nombre se debe a que coincide con la representación gráfica de la función matemática seno.

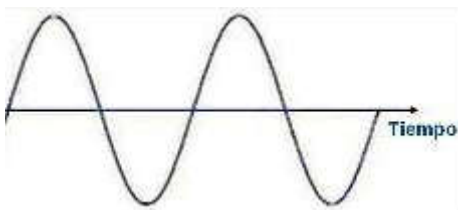


Fig. 5.6. Corriente alterna senoidal.

Valores característicos

Como ya vimos, la forma de onda mas común de la corriente alterna es la senoidal. Veamos ahora algunos valores característicos de una onda de este tipo.

Valor máximo

Es el valor mas alto que puede alcanzar la tensión o la corriente. Se lo representa como $V_{m\acute{a}x}$. Como es el punto mas alto de la curva, también se lo suele denominar Valor pico.

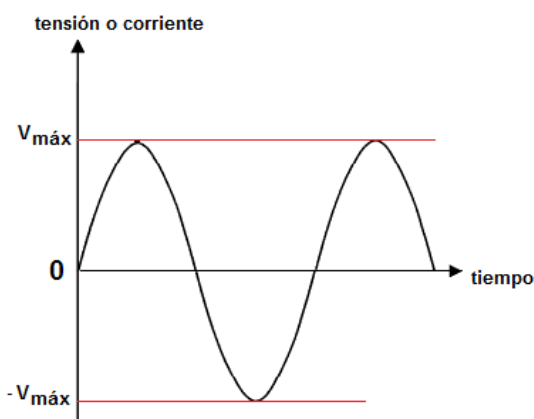


Fig. 5.7. Valor máximo o pico

Al ser la forma de onda alterna y cambiar constantemente de sentido, alcanza un valor máximo positivo ($V_{m\acute{a}x}$) para luego invertir su valor y alcanzar un valor máximo negativo ($-V_{m\acute{a}x}$).

Valor eficaz

El valor eficaz de una corriente alterna es **aquel valor que produce el mismo efecto térmico sobre una resistencia que una corriente continua de igual valor.**

La relación entre el valor máximo ($V_{m\acute{a}x}$) y el Valor eficaz es la siguiente:

$$V_{eficaz} = \frac{V_{m\acute{a}x}}{\sqrt{2}}$$

Gráficamente, el valor eficaz se sitúa por debajo del valor máximo o pico:

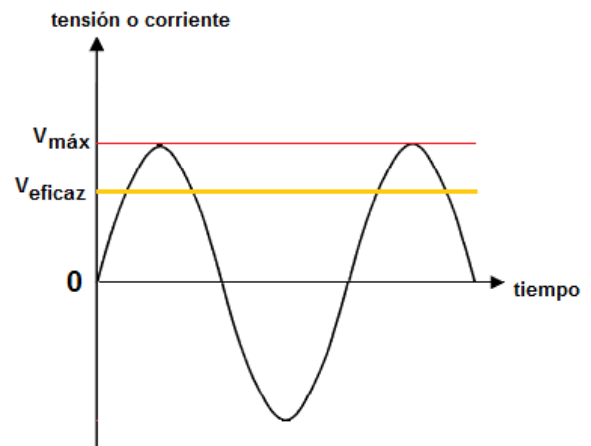


Fig. 5.8. Valor eficaz

Ejemplo:

Calcular el valor eficaz de una tensión alterna con un valor máximo de 100 Voltios

$$V_{eficaz} = \frac{V_{m\acute{a}x}}{\sqrt{2}} = \frac{100\text{ V}}{1,41} = 70,9\text{ Volts}$$

Esto significa que la tensión alterna de 100 Voltios máx produce el mismo efecto térmico (calor) en una resistencia que una corriente continua de 70,9 Voltios.

El valor eficaz es muy utilizado en corriente alterna. De hecho, **si no especificamos nada**, cuando damos un valor de tensión o de corriente, se asume que **estamos hablando del valor eficaz**. Por ejemplo, cuando decimos que un aparato eléctrico funciona con 220 Voltios, estamos hablando de 220 Voltios eficaces. En inglés, el valor eficaz se denomina **RMS**.

Ciclos y semiciclos

La corriente alterna cambia constantemente su valor. Comienza en cero, crece hasta un máximo positivo, luego decrece y llega a cero, alcanza un máximo negativo y luego otra vez cero, repitiéndose esto indefinidamente. Cada repetición, desde el inicio en cero hasta que vuelve al punto de partida se llama ciclo. La mitad de un ciclo se denomina semiciclo.

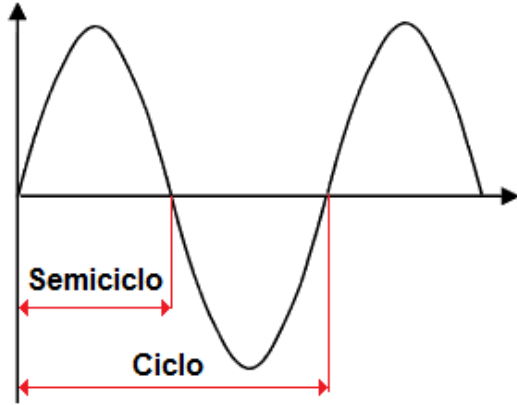


Fig. 5.9. Ciclo y semiciclo de una onda senoidal

Los semiciclos por sobre la línea horizontal se llaman **semiciclos positivos** y los que están por debajo, **semiciclos negativos**.

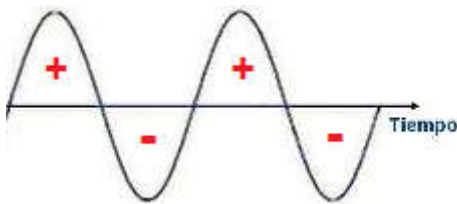


Fig. 5.10. Semiciclos positivos y negativos

Período y frecuencia

El tiempo que dura un ciclo completo se llama período y se mide en segundos o sus submúltiplos (milisegundos, microsegundos, etc). Se representa con la letra T.

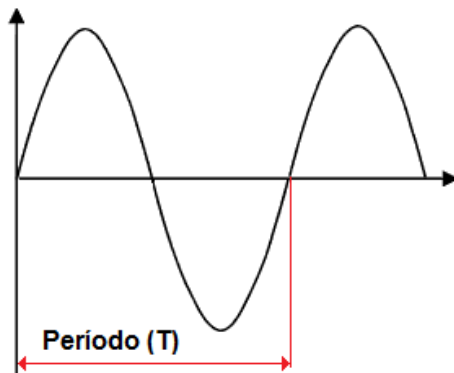


Fig. 5.11. Período de una onda senoidal

La cantidad de ciclos que entran en un segundo se denomina frecuencia. Se la representa con la letra f y se mide en Hertz (Hz).

La frecuencia es la inversa del período:

$$f = \frac{1}{T}$$

Para aclarar esta idea, veamos las imágenes de la Fig. 5.12. En la primera, en un tiempo de 1 segundo entra un solo período. En la segunda entran dos y en la tercera 4.

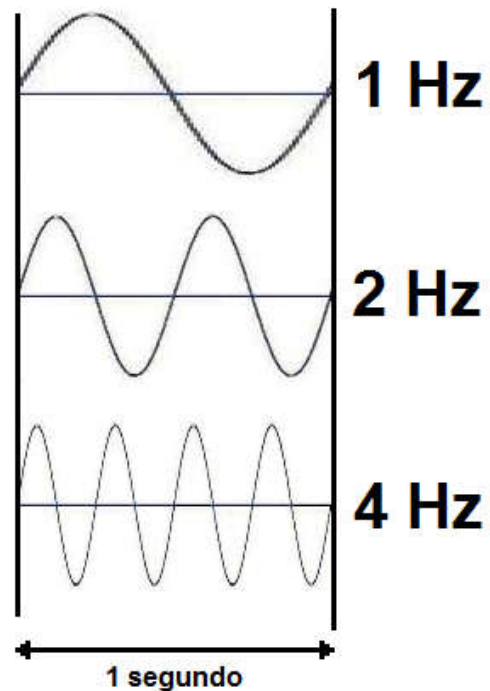


Fig. 5.12. Ondas senoidales de distintas frecuencias

En el primer caso la frecuencia es de 1 Hz (Hertz), en el segundo 2 Hz y en el tercero 4 Hz.

La corriente alterna que se utiliza en la República Argentina tiene 50 Hz, es decir, 50 ciclos por segundo. Como el período es la inversa de la frecuencia, $T=1/f = 1/50 = 0,02$ segundos o 20 milisegundos.

Ejemplo:

Calcula el período de una onda senoidal con una frecuencia de 100 Hertz.

Solución:

$$T = 1/f = 1/100 = 0,01 \text{ segundos}$$

5.1. Alterna trifásica

La tensión alterna que vimos hasta aquí, se genera en alternadores como los que estudiamos en la Unidad 4, en los que un bobinado gira en el interior de un campo magnético. Esta tensión se llama **monofásica** y es la que se encuentra habitualmente en las instalaciones eléctricas hogareñas.

Sin embargo, la tensión alterna monofásica no es la mas apropiada para aplicaciones industriales, donde hace falta mucha potencia. En esos casos se emplea la tensión alterna trifásica, que se produce de manera similar, pero con un alternador que tiene tres bobinados en vez de uno sólo, desplazados 120° entre ellos, por lo que produce no una onda senoidal sino tres, "corridas" o desfasadas entre ellas.

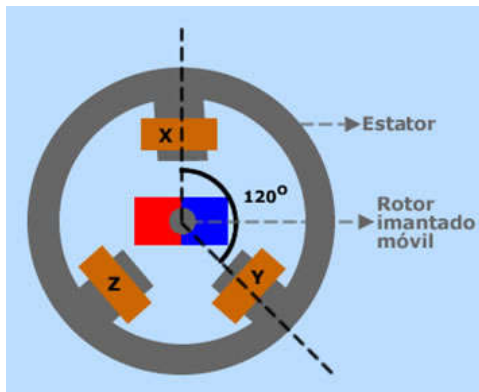


Fig. 5.13. Esquema de un alternador trifásico

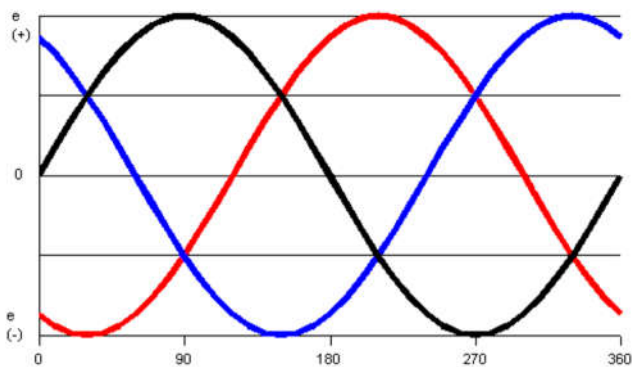


Fig. 5.14. Tensiones en un sistema trifásico

Eléctricamente podemos pensar en que la tensión trifásica es producida por tres generadores interconectados y con un punto en común. Cada generador tiene una salida denominada "fase" e identificada con alguna de las letras "R", "S" o "T" y el punto común se denomina "neutro".

Según la norma IRAM 2183, las distintas conexiones de un sistema trifásico deben ser hechas con los siguientes colores:

Fase R: Marrón

Fase S: Negro

Fase T: Rojo

Neutro: Celeste

Conductor de protección o "tierra": Verde y amarillo

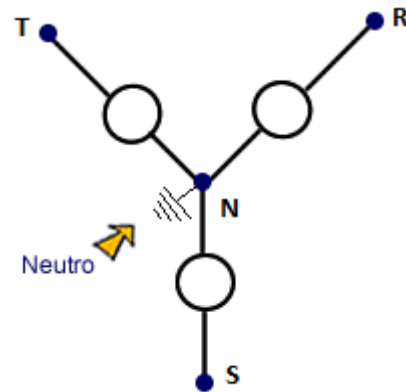


Fig. 5.15. Un sistema trifásico como tres generadores independientes

Para las fases se admiten otros colores, pero nunca pueden ser verde, amarillo o celeste. En instalaciones monofásicas se pueden usar cualquiera de los tres colores de las fases, pero se prefiere el Marrón.

Para recordar los colores y su orden se puede emplear la siguiente regla nemotécnica: MA-NE-RO (Marrón, Negro, Rojo).

En todo sistema trifásico aparecen dos valores de tensión diferentes, la tensión de línea y la tensión de fase.

Tensión de fase: Medida entre cualquier fase y el Neutro.

Tensión de línea: Medida entre dos fases cualquiera.

En nuestro país la tensión de fase es de 220V y la tensión de línea de 380V.

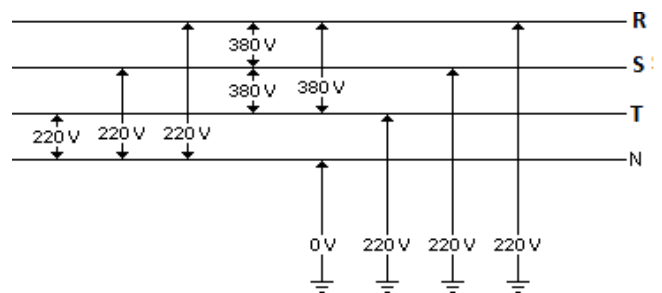


Fig. 5.16. Tensiones de fase y línea

Las empresas que distribuyen energía eléctrica lo hace utilizando un sistema trifásico, porque es mas eficiente. En el caso de una vivienda, la "bajada" o acometida de la red se hace empleando una sola fase de las tres y el neutro, teniendo entonces la tensión de fase en la instalación interna, o sea, 220V.

UNIDAD 6. INTRODUCCIÓN A LA ELECTRÓNICA

6.1. Electrónica

La **electrónica** es el campo de la física que estudia el diseño y aplicación de dispositivos cuyo funcionamiento depende del flujo de electrones para la generación, transmisión, recepción o almacenamiento de información. Esta información puede consistir en **voz** o **música** como ocurre en un receptor de radio, en **imágenes**, como en la televisión, o en **datos** como los que maneja una computadora.

Para controlar los electrones que representan a la información, los circuitos electrónicos utilizan una serie de componentes sumamente simples, pero que se pueden combinar de muchas formas diferentes para resolver distintas situaciones. Esto permite que la electrónica esté hoy presente en prácticamente todos los ámbitos de nuestra vida, desde los teléfonos a los autos, de la computadora a los equipos médicos, etc.

Los componentes electrónicos se pueden dividir en dos tipos:

Componentes activos: Son aquellos que proveen algún tipo de tensión o corriente o sirven para controlarla. Son componentes de este tipo las fuentes de alimentación y los distintos dispositivos semiconductores que veremos más adelante.

Componentes pasivos: Son los que interconectan a los componentes activos, transmitiendo tensión y corriente o modificando su nivel. Dentro de esta categoría veremos los resistores y los condensadores.

6.2. Resistores

En la Unidad I, cuando estudiamos la resistencia eléctrica de los materiales, vimos que existían unos componentes denominados resistores o más comúnmente resistencias, cuya principal función era limitar los valores de corriente en un circuito. Veamos ahora un poco más en detalle este componente.

Unidad de medida

La resistencia eléctrica se mide en OHM, por lo tanto el valor de los resistores se mide en la misma unidad y se simboliza también con la letra griega OMEGA (Ω).

Los resistores tienen valores comprendidos entre menos de 1 ohm y varios millones de ohms y no es fácil mostrar en un diagrama todos los ceros que tiene una resistencia de alto valor. Escribir 220.000 ohms o 10.000.000 ohms puede ser difícil. Para resolver el problema, se utilizan los términos Kilo y Mega con sus respectivas letras K y M para indicar los múltiplos de miles y millones. La letra K significa mil unidades y equivale a tres ceros (000) después del primer número. La letra M significa un millón de unidades y equivale a seis ceros (000000) después del primer número.

Así, en cambio de escribir 22.000 ohms escribimos 22 Kohm o simplemente 22K Ω . Este valor se puede leer como 22 Kilo ohms o simplemente como 22K. Para escribir 5.600.000 ohms se puede indicar como 5.6 M Ω y se lee como 5 punto 6 Megas.

Ejemplos: 47K Ω serían 47.000 Ω o 47 Kilo ohms, 10M Ω serían 10.000.000 Ω o 10 Megaohms.

¿Cómo se leería una resistencia de 4.7K Ω ? Es sencillo, corremos el punto decimal tres lugares, quedando 4.700 Ω

Otros parámetros de las resistencias

En la unidad 3 vimos el Efecto Joule y que al circular la corriente por un elemento eléctrico, como una resistencia, parte de la energía eléctrica se transforma en calor alrededor de la misma. Para que la resistencia no se dañe, debe estar construida de manera de poder soportar esa cantidad de calor.

Las resistencias comerciales, además de su tipo, y su valor en ohms, se diferencian por su capacidad para soportar el calor que desarrollan sin deteriorarse. Este parámetro se denomina potencia de la resistencia y se mide en vatios. En los circuitos electrónicos se utilizan resistencias de baja potencia, como las de 1/8, 1/4, 1/2, 1 y 2 vatios. En otras aplicaciones es común encontrar resistencias de potencia más elevada, como 5, 10, 15, 20 y 50 vatios. El tamaño físico de las resistencias depende de la potencia que son capaces de soportar, siendo las más grandes las de mayor valor.

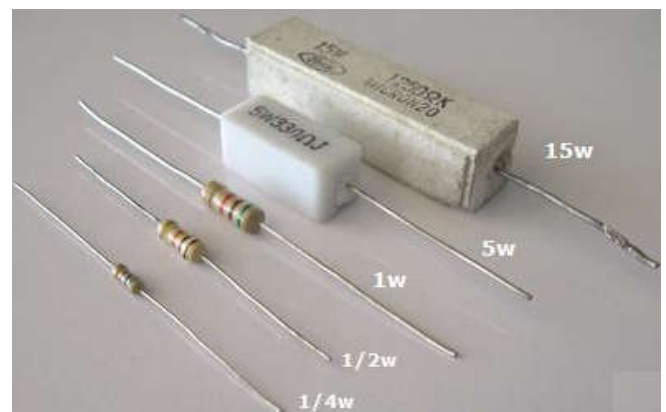


Fig. 6.1. Resistencias de distintas potencias

Tipos de resistencias

Las resistencias están construidas con diferentes materiales resistivos, en diversos tipos, formas y tamaños dependiendo de su aplicación y se clasifican en dos grandes grupos, resistencias fijas y resistencias variables.

Resistencias fijas

A este grupo pertenecen todas las resistencias que presentan un mismo valor sin que exista la posibilidad de modificarlo a voluntad.

De acuerdo con su material de construcción las resistencias fijas se clasifican en dos grandes grupos principales:

- De carbón
- De alambre

Resistencias de carbón

Hay dos tipos de resistencias fijas de carbón, las aglomeradas y las de capa o película. En las aglomeradas, el elemento resistivo es una masa homogénea de carbón, mezclada con un elemento aglutinante y fuertemente prensada en forma cilíndrica. Los terminales se insertan en la masa resistiva y el conjunto se recubre con una resina aislante de alta disipación térmica.

En el caso de las resistencias de capa o película, el método de fabricación consiste en recubrir un tubo o cilindro de porcelana con una capa o película de carbón, o haciendo una ranura en espiral sobre la porcelana y recubriéndola luego con la película de carbón, quedando parecida a una bobina. Estas son las resistencias de baja potencia como las de 1/8, 1/4, 1/3, 1/2, 1 y 2 vatios.



Fig. 6.2. Resistencia de Carbón

Resistencias de alambre

Se construyen con un alambre de aleación de níquel y cromo u otro material con características eléctricas similares. El alambre se enrolla sobre un soporte aislante de cerámica y luego se recubre con una capa de esmalte vítreo, con el fin de proteger el alambre y la resistencia contra golpes y corrosión.

Son resistencias hechas para soportar altas temperaturas sin que se altere su valor. Por tanto, corresponden a las potencias altas como 5, 10, 20, 50 y más vatios.



Fig. 6.3. Resistencia de alambre

Resistencias variables

Son aquellas resistencias cuyo valor en ohmios puede ser variado dentro de un rango ya sea de forma manual o mediante algún estímulo externo tal como la luz, el calor, el sonido, el voltaje, etc.

Los potenciómetros

Los potenciómetros son resistencias variables ampliamente utilizadas cuyo valor se puede ajustar a voluntad por medio de un eje o tomillo. En la figura 6.4. podemos observar los principales tipos de potenciómetros empleados en estos circuitos..

La aplicación más conocida de los potenciómetros la tenemos en los controles de volumen y tonos (altos y bajos) en los aparatos de sonido, en los ecualizadores o en el control de brillo y contraste en los televisores.

Los potenciómetros se fabrican depositando una capa de carbón sobre una sección circular o rectangular de fibra o material compacto y aislante. Un eje en el centro permite que un contacto móvil se deslice a través de la sección resistiva.



Fig. 6.4. Potenciómetros

Presets y Trimpots

Los presets y trimpots son una variedad de resistencias variables que se diferencian de los potenciómetros en que no tienen un eje que permita cambiar su valor. Por el contrario, tienen una pequeña muesca o la cabeza de un tornillo para poder variarlo con un destornillador. A diferencia de los potenciómetros, que se emplean para cambiar algún valor por parte del usuario de un aparato, los presets y trimpots se usan para calibrar un parámetro de forma interna en aparatos o equipos electrónicos.

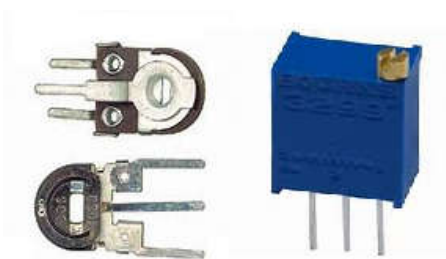


Fig. 6.5. Presets a la izquierda, trimpot a la derecha

El código de colores

En las resistencias de alambre o de carbón de 1 vatio en adelante es fácil escribir el valor en su cuerpo, ya que tienen gran tamaño, pero para las resistencias de menor potencia esto es imposible, debido a su reducido tamaño.

Para las resistencias pequeñas de carbón y película de carbón, existe un método de identificación muy versátil llamado el código de colores. Este método, que utiliza cuatro o cinco líneas de colores pintadas alrededor del cuerpo de la resistencia, sirve para indicar su valor en Ohms y su precisión.

En este código, cada color corresponde a un número en particular. Si bien hay sistemas de 4 y 5 bandas, nosotros estudiaremos en esta guía sólo el de 4 bandas.

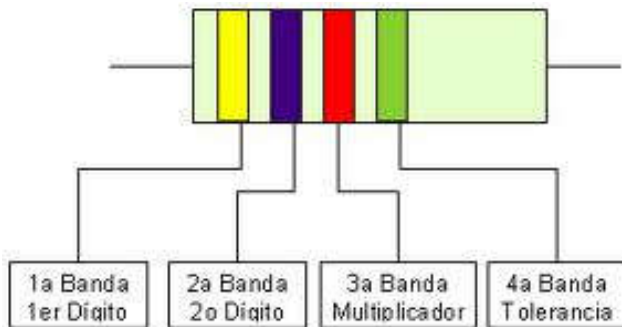


Fig. 6.6. Bandas de colores en una resistencia

Para leer el código de colores de una resistencia, ésta se debe tomar en la mano y colocar de la siguiente forma: la línea o banda de color que está más cerca del borde se coloca a la izquierda, quedando generalmente a la derecha una banda de color dorado o plateado.

leyendo desde la izquierda, el color de la primera banda es el primer dígito del valor, el segundo color es el segundo dígito, el tercer color es el número de ceros o multiplicador, y la cuarta línea o banda es la tolerancia o precisión. El concepto de tolerancia lo explicaremos más adelante.

Cuando leemos el código de colores debemos recordar:

- La primera banda representa el primer dígito.
- La segunda banda representa el segundo dígito.
- La tercera banda representa el número de ceros que siguen a los dos primeros dígitos. (Si la tercera banda es negra no hay ceros en el número, si esta banda es dorada se divide por 10 y si esta banda es plateada se divide por 100).
- La cuarta banda representa la tolerancia. Esta es usualmente dorada que representa un 5%, plateada que es del 10%, marrón indica el 1%, el rojo indica un 2%, verde un 0,5% y si no tiene banda es del 20%.

Ejemplos:

Marrón, Negro, Rojo, Plata = 10 00 ohms. 10% Tolerancia

Naranja, Gris, Negro, Oro = 39 ohms. 5% Tolerancia

Verde, Azul, Amarillo, Plata = 560.000 ohms. 10% Tolerancia

Marrón, Verde, Rojo (sin banda) = 1500 ohms. 20% Tolerancia

COLORES	Banda 1	Banda 2	Banda 3	Multiplicador	Tolerancia
Plata				x 0.01	10%
Oro				x 0.1	5%
Negro	0	0	0	x 1	
Marrón	1	1	1	x 10	1%
Rojo	2	2	2	x 100	2%
Naranja	3	3	3	x 1000	
Amarillo	4	4	4	x 10000	
Verde	5	5	5	x 100000	0.5%
Azul	6	6	6	x 1000000	
Violeta	7	7	7		
Gris	8	8	8		
Blanco	9	9	9		
--Ninguno--	-	-	-		20%

Fig. 6.7. Código de colores de las resistencias

Tolerancia

Se ha mencionado que la cuarta banda indica la tolerancia de la resistencia. Esta tolerancia o precisión significa que el valor real no es necesariamente el mismo que indica el código de colores. Un 10% de tolerancia significa que el valor real puede ser un 10% mayor o menor que el valor que indica el código.

Por ejemplo, para una resistencia de 10.000 ohmios con una tolerancia del 5% se puede tener en la práctica, cualquier valor entre 9.500 y 10.500 ohmios. El 5% de 10.000 es 500. Esta tolerancia se debe a la precisión del proceso de fabricación de esas resistencias ya que las máquinas depositan una capa ligeramente mayor o menor del compuesto resistivo.

Se fabrican resistencias con tolerancias del 20%, 10%, 5% (que son las más comunes), 2%, 1%, 0.5%, 0.1% y más.

El costo de las resistencias sube considerablemente a medida que su precisión aumenta. Debemos utilizar por lo tanto las resistencias más económicas posibles pero que no alteren la operación del circuito. Por lo general, para los circuitos y proyectos básicos se utilizan resistencias con una tolerancia del 5%.

Valores normalizados para las resistencias

Las resistencias de carbón se fabrican en ciertos valores llamados preferidos o normalizados. Esto se debe a que sería imposible tener resistencias en todos los valores posibles y no se justifica en la mayoría de los circuitos electrónicos tenerlos.

Los valores normalizados son 1, 1.1, 1.2, 1.3, 1.5, 1.6, 1.8, 2, 2.2, 2.4, 2.7, 3, 3.3, 3.6, 3.9, 4.3, 4.7, 5.1, 5.6, 6.2, 6.8, 7.5, 8.2 y 9.1 y en todos sus múltiplos.

Estos valores son los que tienen las resistencias o resistores que se encuentran en el mercado en los almacenes o distribuidores especializados y que se utilizan para toda clase de circuitos electrónicos. Así tenemos resistencias de 1K Ω , 10K Ω , 430K Ω , 82K Ω , 33 Ω , etc.

Resistores especiales

Hasta aquí hemos visto dos tipos de resistores: los fijos, fabricados para tener un valor constante y los variables como los potenciómetros o trimpots para cuando necesitamos que el valor de la resistencia sea ajustable.

Existe otra categoría de resistores, que llamaremos "especiales" que tienen la propiedad de cambiar su valor cuando cambia una magnitud física como la luz o la temperatura.

LDR

El LDR, Light Depending Resistor, o Resistor dependiente de la luz, cambia su valor de resistencia en función de la luz que incide sobre él. Mas precisamente, la resistencia **disminuye** cuando la luz **aumenta**. La curva característica, que muestra

la relación entre la resistencia y la luz incidente en un LDR típico, se puede ver en la Fig. 6.8. Como se puede ver en la gráfica, la resistencia es de unos 30 ohms cuando el LDR está bajo luz solar brillante y de unos 900 ohms en una habitación bien iluminada. En cambio la resistencia sube a varios mega ohms en la oscuridad. (no se vé en la gráfica).

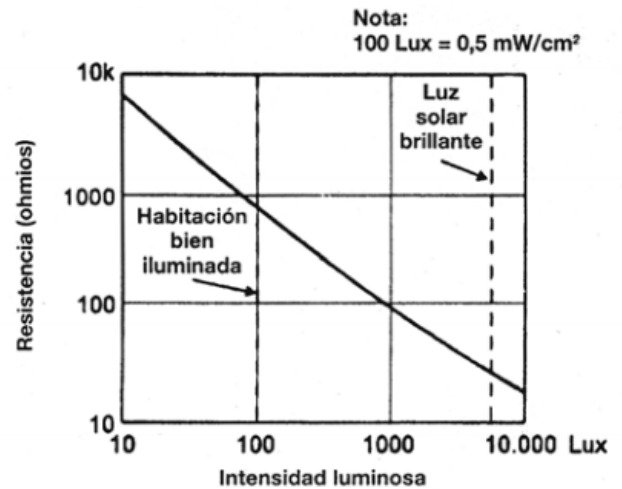


Fig. 6.8. Curva característica de un LDR

Los LDR están disponibles comercialmente en una variedad de formatos, pero el más común es el de un cilindro chato, que puede tener distintos diámetros, siendo 10 mm un valor muy común.



Fig. 6.9. Un LDR y el símbolo que lo representa

Las aplicaciones del LDR son muy variadas y en general están relacionadas con la medición del nivel de luz o la detección de su presencia o ausencia. Un ejemplo típico es el de una fotocélula para prender una lámpara cuando oscurece.

Termistores

Los termistores son resistores cuyo valor cambia con la temperatura. Existen dos tipos de termistores: los NTC (Negative Temperature Coefficient) en los que la resistencia disminuye cuando la temperatura aumenta y los PTC (Positive Temperature Coefficient) cuya resistencia aumenta cuando la temperatura aumenta. Esto puede verse en la Fig. 6.10, que muestra de manera aproximada como cambia la resistencia de los dos tipos de termistores.

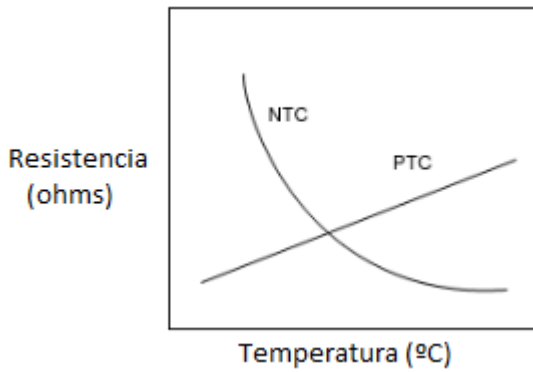


Fig. 6.10. Variación de la resistencia de los termistores con la temperatura

El aspecto físico de los termistores puede variar según la aplicación a la que estén destinados, siendo el más común el de un disco con los dos terminales de un lado. La resistencia nominal del termistor es la que posee a una temperatura de 25 grados y se marca en el cuerpo del mismo serigrafiando directamente el valor en ohms o usando el mismo sistema de código de colores de los resistores fijos. Habitualmente los valores de resistencia se encuentran entre los 100 ohms y los 100 Kilo ohms.

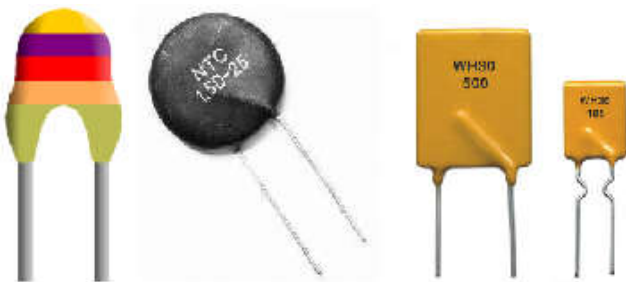


Fig. 6.11. A la izquierda dos NTC, a la derecha dos PTC

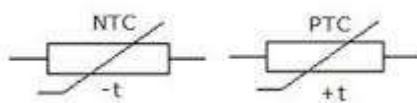


Fig. 6.12. Símbolos de los termistores

Los termistores se utilizan para medir la temperatura del aire o de fluidos, en aplicaciones industriales o en automóviles, para proteger los circuitos electrónicos del sobrecalentamiento y una gran variedad de aplicaciones relacionadas con la medición de la temperatura.

Son baratos, sencillos de usar y generalmente se los emplea en aplicaciones entre los $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $300\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Detector de temperatura resistivo

Un detector de temperatura resistivo, también llamado RTD por su nombre en inglés (Resistive Temperature Detector) basa su funcionamiento en la variación de la resistencia de un conductor cuando cambia la temperatura.

Para la construcción de RTDs se usan materiales conductores como el Cobre, Níquel o Platino, siendo este último el más utilizado por ofrecer varias ventajas, como respuesta más rápida, mayor linealidad y rango de funcionamiento más amplio.

Un RTD muy común es el Pt100, construido de platino (Pt) que presenta una resistencia de 100 ohms a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. También se fabrican Pt500 y Pt1000, ambos de platino, con resistencias de 500 y 1000 ohms respectivamente a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Fig. 6.13. Pt100 de distintos tipos

Los RTD, como el Pt100, tienen ventajas por sobre los termistores para medir temperaturas, como una mayor estabilidad, linealidad y precisión, pero son considerablemente más caros.

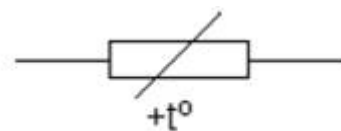


Fig. 6.14. Símbolo de un RTD

6.3. Condensadores

Los condensadores (también llamados popularmente capacitores) son muy utilizados en electricidad y electrónica ya que son elementos capaces de almacenar o guardar pequeñas cantidades de energía eléctrica para devolverla cuando sea necesaria.

Principio de funcionamiento

Un capacitor puede ser construido a partir de dos láminas o placas metálicas conductoras separadas por un material aislante denominado **dieléctrico**, tal como aire, papel, cerámica, mica, plástico, etc.

Normalmente el dieléctrico se dispone en forma de lámina muy fina para que las placas metálicas se encuentren lo más próximas unas de otras.

Si conectamos las placas de un capacitor a una fuente de tensión como una pila, veremos que hay un movimiento de cargas eléctricas desde los bornes de la pila a las placas.

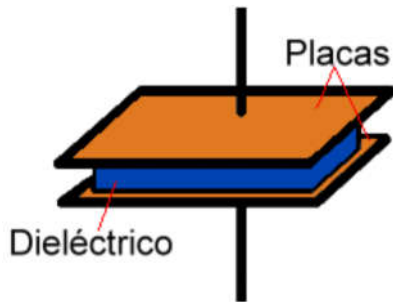


Fig. 6.15. Estructura interna de un condensador o capacitor

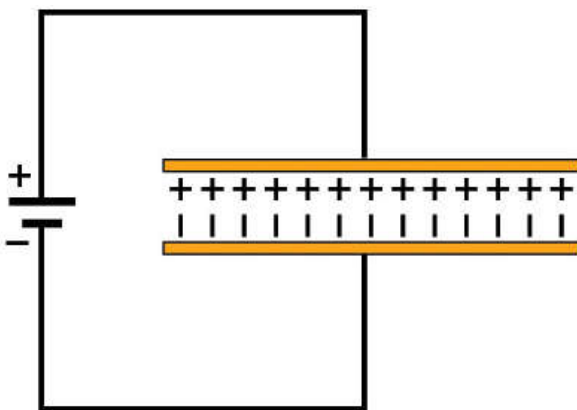


Fig. 6.16. Carga de un capacitor

Los electrones del borne negativo de la pila se irán acumulando en la placa inferior, y los que existían en la placa superior serán atraídos por el borne positivo de la pila, dejando una carga positiva. Este proceso durará un tiempo hasta que las mismas cargas de las placas impidan el movimiento de cargas desde la pila. Cuando se detiene el movimiento de cargas decimos que **el capacitor está cargado**.

Capacidad de un capacitor

Se llama **capacidad** a la propiedad de un capacitor de almacenar carga eléctrica. Mientras mas carga pueda almacenar, mayor será su **capacidad**.

La unidad de medida de la capacidad es el Faradio

Se puede decir que un capacitor tiene una capacidad de 1 Faradio cuando, al aplicarle una tensión de 1 Voltio almacena entre sus placas una carga de 1 Coulomb.

La relación entre tensión y carga puede expresarse de la siguiente forma:

$$Q = C * V$$

Donde:

Q: Carga en el capacitor (Coulombs)

C: Capacidad (Faradios)

V: Tensión (Voltios)

El Faradio es una unidad relativamente grande, por lo que habitualmente se utilizan sus submúltiplos:

1 mF = mili Faradio = 10^{-3} Faradios

1 μ F = micro Faradio = 10^{-6} Faradios

1 nF = nano Faradio = 10^{-9} Faradios

1 pF = pico Faradio = 10^{-12} Faradios

Características de los capacitores

Las características mas importantes de los capacitores, que debemos conocer a la hora de elegir o reemplazar uno, son dos:

Capacidad nominal: Es el valor de capacidad del capacitor. Se expresa en Faradios o sus submúltiplos.

Tensión de trabajo: Es la tensión a la que puede trabajar el capacitor sin sufrir daños. Se expresa en Voltios.

Por ejemplo, un capacitor usado para el arranque del motor de un ventilador de techo tiene una capacidad de 3 μ F y una tensión de trabajo de 400 Volts.



Fig. 6.17. Capacidad nominal y tensión de trabajo.

Tipos de capacitores

Según sus características, existe una gran variedad de capacitores, adecuados a las distintas aplicaciones a las que van destinados.

Capacitor cerámico

Son muy empleados en electrónica. Usan compuestos cerámicos como dieléctrico. Con ellos se consiguen valores entre unos pocos pico faradios hasta los 100 nF. Soportan poca tensión.



Fig. 6.18

Capacitor de plástico

Actualmente son muy utilizados. Utilizan como dieléctrico el poliéster, policarbonato, estiroflex, etc. Pueden conseguir capacidades relativamente elevadas (hasta algunos microfaradios) soportando tensiones que llegan a los 1000 Voltios.



Fig. 6.19

Capacitores electrolíticos de aluminio

Estos capacitores se diferencian bastante del resto por sus características constructivas. Están constituidos por una fina lámina de aluminio y otra de plomo enrolladas y sumergidas en una solución de cloruro de amonio.

Se consiguen capacidades elevadas en un volumen reducido (desde 1 μ F hasta miles de μ F). Una de las características que diferencia a los capacitores electrolíticos de los demás es que tienen polaridad, es decir, no pueden invertirse las conexiones indicadas en el mismo, a riesgo de que el capacitor se dañe.

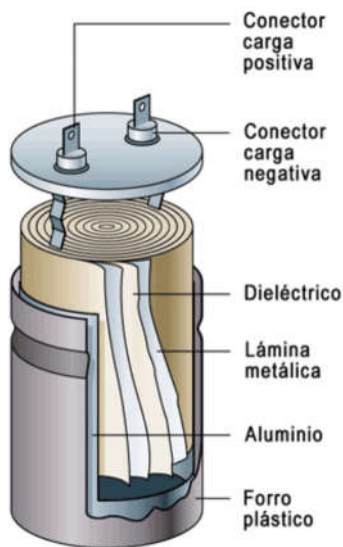


Fig. 6.20. Interior de un capacitor electrolítico.



Fig. 6.21. Capacitores electrolíticos de distintos tamaños

Simbología

Capacitores no polarizados:

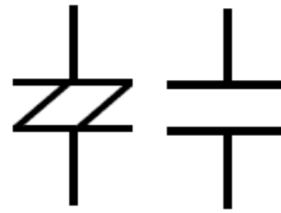


Fig. 6.22.

Capacitores polarizados:

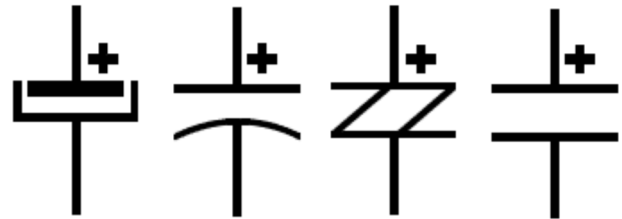


Fig. 6.23.

Capacitores variables:

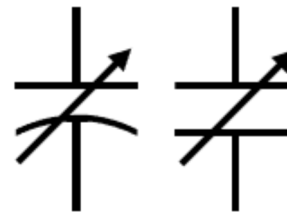


Fig. 6.24

8.6. Asociación de capacitores

Los capacitores, como cualquier otro componente eléctrico, se puede conectar con otros en serie o paralelo.

Capacitores en paralelo

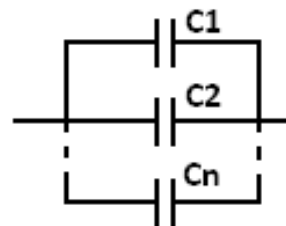


Fig. 6.25.

La capacidad equivalente a dos o mas capacitores conectados en paralelo puede hallarse aplicando la siguiente fórmula:

$$C_{\text{equivalente}} = C1 + C2 + \dots + Cn$$

Capacitores en serie

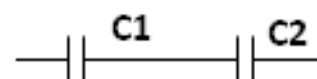


Fig. 6.26

Cuando se trata de **dos capacitores en serie** se puede usar esta fórmula simplificada:

$$C_{\text{equivalente}} = \frac{C_1 * C_2}{C_1 + C_2}$$

Cuando la cantidad de capacitores **es mayor a dos**, se debe utilizar la fórmula general:

$$C_{\text{equivalente}} = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}}$$

Circuito RC

Se denomina circuito RC a la asociación en serie de un capacitor y una resistencia. Este sencillo circuito, conectado a una fuente de tensión y un interruptor, nos servirá para estudiar con mas detalle el proceso de carga y descarga de un capacitor.

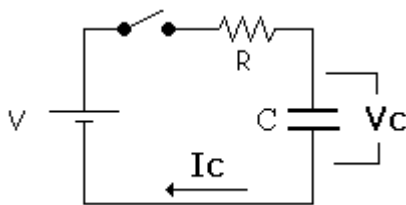


Fig. 6.27. Circuito R-C

El objetivo es analizar cómo varía en el tiempo la tensión en el capacitor (V_c) y la corriente a través del mismo (I_c).

Inicialmente, cuando el interruptor está abierto, no hay tensión aplicada, el capacitor está descargado ($V_c=0$) y tampoco hay corriente ($I_c=0$).

Al cerrar el interruptor, se aplica la tensión al capacitor a través de la resistencia R. Como sabemos, se inicia un movimiento de cargas hacia las placas, lo que constituye una corriente eléctrica. Al principio, como las placas están descargadas, este movimiento es rápido, pero al irse acumulando las mismas, la velocidad va disminuyendo hasta que el capacitor se carga y el movimiento cesa.

La tensión depende de la acumulación de cargas, así que inicialmente es cero y luego va aumentando con el tiempo.

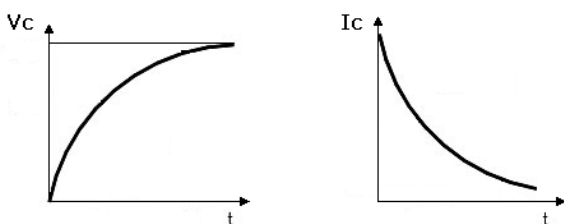


Fig. 6.28. Tensión y corriente en el capacitor durante la carga

El capacitor se carga hasta la tensión de la fuente de alimentación (V).

La corriente tiene al inicio su valor máximo, limitado sólo por la resistencia ($I = V/R$) pero va disminuyendo hasta llegar a cero.

El tiempo que tarda el capacitor en cargarse dependerá de la cantidad de cargas que puede almacenar el capacitor (su capacidad en Faradios) y la velocidad a la que se pueden mover las cargas en el circuito (que está limitada por la Resistencia R).

Se define la **constante de tiempo** como el tiempo que tarda el capacitor en llegar al 63% de su carga total. Se identifica con la letra griega τ (tau) y se expresa de la siguiente forma:

$$\tau = R * C$$

Donde:

τ (tau): Constante de tiempo (segundos)

R: Resistencia en serie (Ohms)

C: Capacidad (Faradios)

Se puede estimar que el proceso de carga ha finalizado (el capacitor está cargado al 100%) luego de un tiempo equivalente a **cinco constantes de tiempo**.

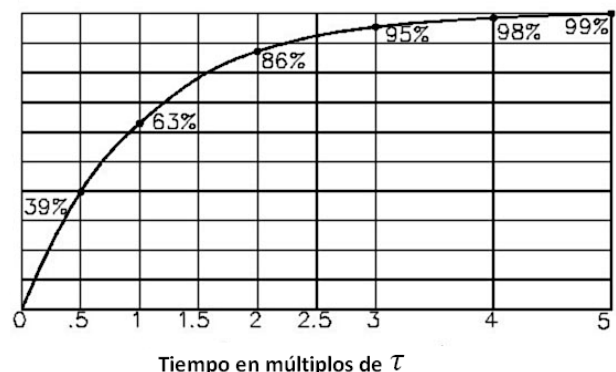


Fig. 6.29. Carga de un capacitor y la constante de tiempo

Una vez que el capacitor está cargado, si no proporcionamos un camino de descarga el mismo podría quedar en esas condiciones indefinidamente. Sin embargo, en la realidad los capacitores tienen pérdidas internas que hacen que se vayan descargando lentamente.

Si permitimos que el capacitor se descargue a través del mismo circuito RC, veremos un movimiento de cargas importante al inicio (que se traduce en una corriente elevada) y una disminución de la tensión en sus bornes.

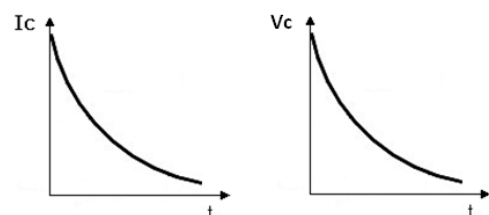


Fig. 6.30. Tensión y corriente en el capacitor en la descarga

6.4. Dispositivos semiconductores

Al iniciar el capítulo clasificamos los componentes en pasivos y activos. Dentro de los componentes activos, los más comunes son los que basan su funcionamiento en unos materiales de características especiales, los llamados materiales semiconductores.

En unidades anteriores vimos que existían dos tipos de materiales: los conductores y los aislantes. Los primeros tienen una resistencia baja, lo que permite la circulación de corriente, los segundos no.

Introduciremos aquí una nueva categoría: los semiconductores, materiales que siendo inicialmente aislantes se modifican o contaminan para que permitan la circulación de corriente. Los semiconductores más comunes están hechos a base de **Silicio**, aunque también se pueden usar el **Germanio** o el **Arseniuro de Galio**. Estos elementos son aislantes, pero si se contaminan con otros como el Arsenio o el Indio, se vuelven parcialmente conductores. Cuando la contaminación se realiza con Arsenio, se da lugar a un **semiconductor tipo "N"**, mientras que si se realiza con Indio, se genera un **semiconductor tipo "P"**.



Fig. 6.31. Distintos dispositivos semiconductores

6.5. El diodo

El diodo es el componente electrónico más simple. Se construye a partir de una barra o pastilla semiconductor que se transforma en tipo "P" en un extremo y tipo "N" en el otro. El extremo P se denomina "Ánodo" (A) y el tipo N "Cátodo" (C o K). Esto se puede ver en la siguiente imagen, junto con el símbolo que se usa para representar un diodo en un esquema.

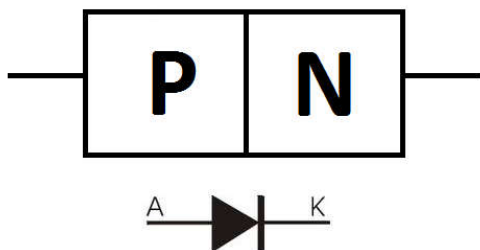


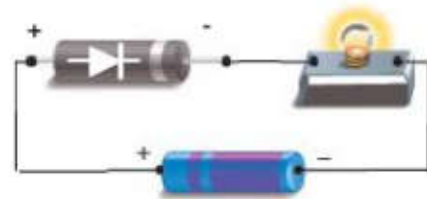
Fig. 6.32. Constitución de un diodo y su símbolo

Realicemos ahora un experimento con un diodo, conectándolo a una pila y una lamparita que se encenderá cuando circule corriente.

Veremos que, si el positivo de la pila se conecta al ánodo y el negativo al cátodo a través de la lamparita, ésta se enciende, indicando que circula corriente a través del diodo. En cambio, si invertimos la pila quedando el negativo al ánodo y el positivo al cátodo la lamparita no prende, lo que demuestra que la corriente no circula.

En el primer caso, cuando hay circulación de corriente, decimos que el diodo está **polarizado en forma directa**. En el segundo, cuando la corriente no circula, se dice que el diodo está **polarizado en forma inversa**.

Diodo en polarización directa



Diodo en polarización inversa

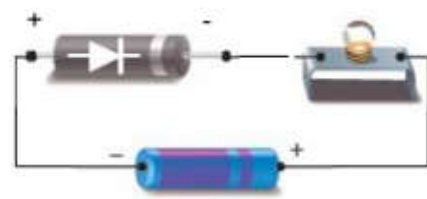


Fig. 6.33. Polarización de un diodo

Esto demuestra la característica más importante de este dispositivo:

El diodo permite la circulación de corriente sólo en una dirección.

Cuando el diodo está polarizado en forma directa y pasa corriente a través de él, se produce una caída de tensión entre sus bornes que se mantiene más o menos constante de la corriente que circula. Si el diodo es de Silicio, esta caída de tensión es de unos 0,7 Voltios, y si es de Germanio, de 0,2 V.

Tipos de diodos

Existen distintos tipos de diodos, que se emplean para distintas aplicaciones.

Diodos de baja señal

Se los utiliza en circuitos que emplean bajos valores de tensión y corriente, en aplicaciones como receptores de radio, televisión, circuitos con relés, etc. Los más comunes son los de Silicio, pero también existen algunos de Germanio. Generalmente están encapsulados en cristal transparente con una línea que marca el cátodo. Un diodo de baja señal muy utilizado es el que se denomina comercialmente como "1N4148".

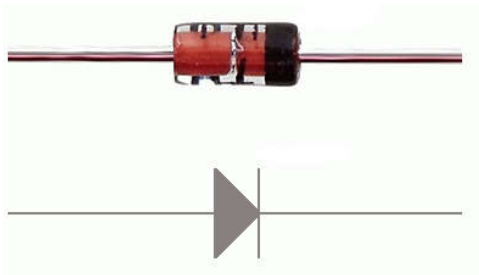


Fig. 6.34. Un diodo 1N4148 y su símbolo

Diodos rectificadores

Son diodos capaces de manejar mayores valores de tensión y corriente que los anteriores. Su empleo más frecuente es en fuentes de alimentación, para convertir la Corriente Alterna (CA) en Corriente Continua (CC), proceso denominado "rectificación". Todos los diodos rectificadores están hechos de Silicio y su encapsulado varía según la cantidad de tensión y corriente que deban soportar. Dos diodos rectificadores muy populares son el 1N4007, con una corriente máxima de 1 Amper y el 1N5408, que soporta hasta 3 Amperes.

Fig. 6.35. Un diodo rectificador 1N4007 y su símbolo

Para mayores valores de corriente y tensión existen diodos rectificadores de potencia, que pueden soportar centenares de amperes y más de 1.000 voltios.



Fig. 6.36. Diodos rectificadores de potencia

Diodos LED

Los LED (del inglés Light Emitting Diode o Diodo Emisor de Luz) son un tipo especial de diodos que se caracterizan por emitir luz cuando son atravesados por la corriente eléctrica. En sus comienzos, existían sólo leds de color rojo y baja potencia, que se empleaban en general como indicadores en equipos electrónicos, pero en la actualidad hay una enorme variedad de tipos y colores (incluyendo infrarrojo y ultravioletas) y con una potencia de hasta unos watts, lo que ha ampliado su espectro de aplicación incluyendo pantallas de TV, semáforos, iluminación ornamental y hasta alumbrado público.



Fig. 6.37. Distintos tipos de LEDs

En aplicaciones de alumbrado, los leds presentan grandes ventajas frente a las lámparas incandescentes, tales como mayor duración, menor consumo, mayor resistencia mecánica, disponibilidad en distintos colores, etc.



Fig. 6.38. Una "lámpara" de leds

Aunque en la actualidad hay leds disponibles en muchos formatos distintos, el más común consiste en un domo o cúpula de material plástico dentro del que se aloja el diodo propiamente dicho, conectado al exterior para su montaje a través de dos terminales de alambre o "patas". El material semiconductor del que está fabricado el diodo define su color, que coincide con el del plástico del "domo".

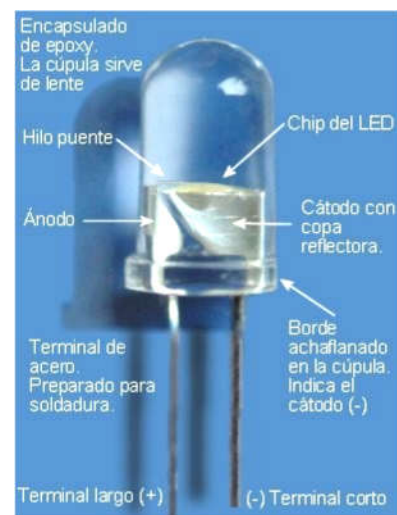


Fig. 6.39. Partes de un LED

Para que un LED encienda debe estar polarizado en forma directa, que como ya vimos, significa conectar el ánodo al positivo y el cátodo al negativo de la alimentación. El ánodo es el terminal o "pata" mas larga y el cátodo el terminal mas corto y que también coincide con el lado achaflanado del domo.

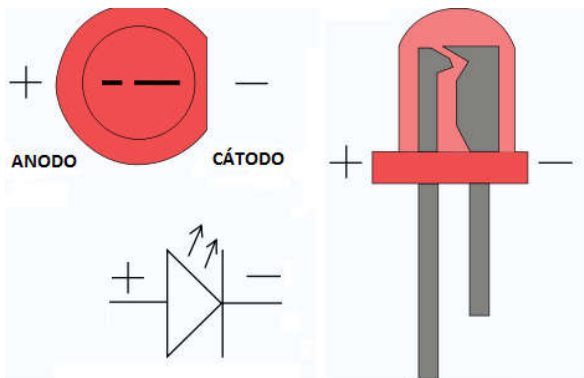


Fig. 6.40. Identificación de los terminales de un LED

Diodos Zener

Los diodos zener se caracterizan por mantener un voltaje constante entre sus terminales cuando están polarizados en forma inversa, voltaje que se puede elegir durante la fabricación del diodo. Esto los hace sumamente útiles por ejemplo en fuentes de alimentación, para obtener un valor constante de tensión de salida o como protector, para evitar que la tensión alcance un valor demasiado elevado, por ejemplo en líneas telefónicas.

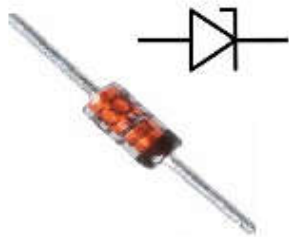


Fig. 6.41. Un diodo zener y su símbolo

Otros diodos

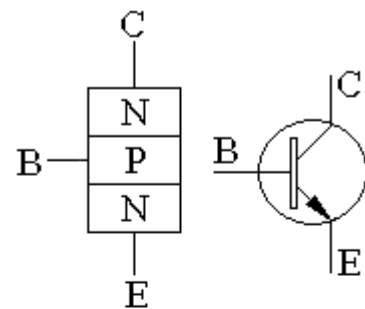
Existen mas tipos de diodos que no describiremos en detalle, tales como los láser, empleados en lectoras y grabadoras de CDs y DVDs; fotodiodos, que son sensibles a la luz, tanto visible como infrarroja y que se emplean en controles remotos; el diodo varactor o varicap, que funciona en forma similar a un capacitor y se emplea en circuitos de sintonía de radios y TVs para elegir la frecuencia o el canal; diodos Schottky, fabricados en Silicio pero que presentan una caída de tensión de sólo 0,2V y son aptos para circuitos que operan a frecuencias elevadas, por lo que son muy utilizados en las fuentes de alimentación de las PCs, que son del tipo conmutadas o "switching".

6.6. El Transistor

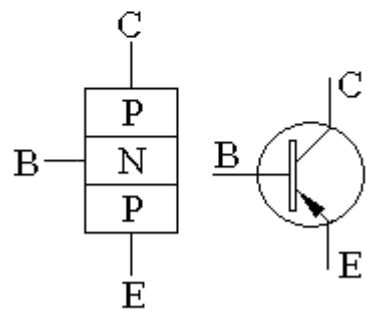
El transistor es otro dispositivo semiconductor sumamente utilizado en circuitos electrónicos para variadas aplicaciones.

Básicamente es un amplificador de corriente, pero según como se lo conecte, es útil para muchas otras funciones.

Un transistor se fabrica a partir de un material semiconductor en el que se forman tres zonas distintas, lo que da lugar a dos posibilidades: dos zonas P y una N o dos zonas N y una P. Esto da lugar a dos tipos de transistores distintos, los llamados PNP y NPN. Cada una de estas zonas se conecta al exterior a través de un terminal, por lo que los transistores tienen 3 "patas", denominadas "COLECTOR" (C), "BASE" (B) y "EMISOR" (E).



Transistor NPN



Transistor PNP

Fig. 6.42. Transistores NPN y PNP y los símbolos empleados en los circuitos.

La amplificación de corriente se da cuando se polariza en forma directa el diodo que se forma entre Base y Emisor. Cuando eso ocurre, una pequeña variación de la corriente en el circuito Base-Emisor, da lugar a una variación de corriente mucho mayor en el circuito Colector-Emisor. La relación entre estas dos corrientes y por tanto el factor de amplificación, es una característica de cada transistor y se representa con la letra β (beta).

Según el valor de la corriente de Base-Emisor (entrada), el transistor puede estar operando en tres condiciones distintas: en el corte, en forma lineal o en saturación. Veamos que significa cada una de ellas.

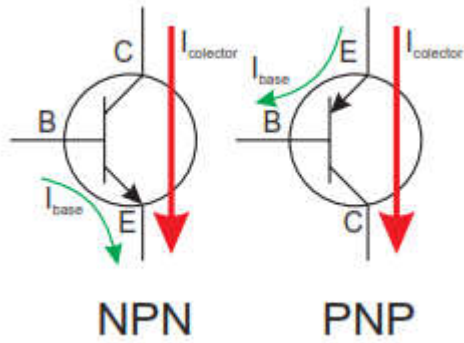


Fig. 6.43. Amplificación de corriente en un transistor NPN y otro PNP: una pequeña corriente entre Base y Emisor produce una corriente mayor entre Colector y Emisor.

Condición de corte: El transistor trabaja en esta condición cuando la corriente Base-Emisor es cero, por lo que la corriente entre Colector y Emisor también es cero.

Condición lineal: En esta condición, hay una corriente Base-Emisor y sus variaciones son amplificadas por el transistor según el valor de su ganancia (β), por lo que se cumple que:

$$I_c = \beta \times I_b$$

Es decir, la corriente de Colector (C-E) es "beta" veces mayor que la corriente de Base (B-E).

Condición de saturación: El transistor llega a trabajar en esta condición si la corriente de Base-Emisor es muy grande y ya no puede ser amplificada. Es una condición no deseada si el transistor se utiliza para amplificar audio (porque se producen distorsiones) pero si se aprovecha cuando se emplea al transistor como un "interruptor" para controlar una carga.

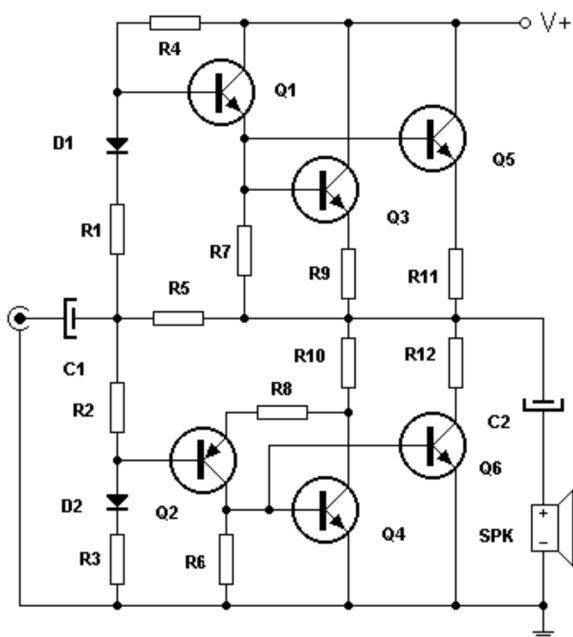


Fig. 6.44. Amplificador de audio a transistores

Forma física y encapsulados

El transistor es una pequeña pieza de silicio, pero según la potencia que deba manejar (tensión y corriente) se lo monta en el interior de distintas "cápsulas" o contenedores capaces de disipar mas o menos calor durante el funcionamiento. Cada encapsulado tiene propiedades térmicas y mecánicas propias, según el material del que esté construido, y un código que lo identifica. Así, tenemos encapsulados como el pequeño TO-92 de unos 5 mm de plástico, ampliamente usado para transistores de baja potencia o el TO-3, para transistores que deben soportar una potencia mas grande, de un par de centímetros y cuerpo metálico.

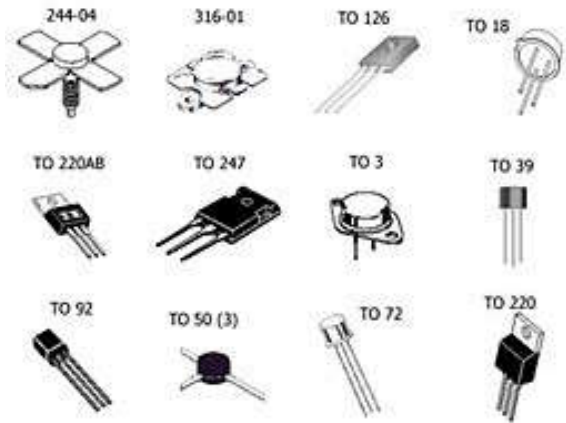


Fig. 6.45. Encapsulados de transistores

La distribución de terminales o "patas" del transistor (Colector, Base y Emisor) depende también del encapsulado, pero suele ocurrir que el mismo encapsulado tiene distintos "estilos" de distribución. Por ejemplo, dos transistores con capsula TO-92 pueden tener el Colector, Base y Emisor en posiciones diferentes. Es muy importante asegurarse cuál es la distribución correcta de los terminales cuando montamos un transistor, ya que si nos equivocamos, puede que el circuito funcione incorrectamente o que provoquemos la destrucción del transistor. Esta información, como así todas las características de cada transistor, se pueden encontrar en las hojas de especificaciones u hojas de datos (en inglés datasheet) del mismo.



Fig. 6.46. Distribución de los terminales del transistor BC337

Los transistores y el calor

Como todos los semiconductores, los transistores son susceptibles al calor, y si alcanzan una temperatura demasiado elevada se pueden destruir. Es por eso que los transistores de potencias elevadas, generalmente emplean un **disipador**, una pieza realizada generalmente en aluminio, que lo ayuda a sacar al medio ambiente el calor que se genera en su interior.

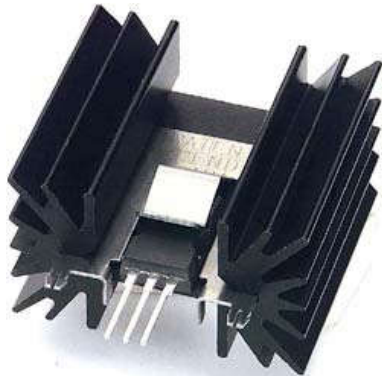


Fig. 6.47. Transistor montado sobre un disipador

El transistor como conmutador

Como ya se dijo antes, el transistor tiene una enorme cantidad de aplicaciones. Por ejemplo, en la fig. 6.44 puede verse un amplificador de audio hecho con seis transistores. Otra aplicación muy común es la de usar un transistor como conmutador, es decir, como una llave para controlar el encendido o apagado de distintos elementos, tales como un led, una lámpara o un relé que a su vez controla un elemento de mayor potencia. De esta forma y aprovechando la capacidad de amplificación del transistor, con una pequeña corriente en la base se puede controlar un elemento que requiere una corriente mayor, el que se conecta en el circuito de Colector-Emisor.

Un conmutador o interruptor tiene sólo dos posiciones o estados: "OFF" o apagado y "ON" o prendido. Cuando se usa un transistor para esta función, se lo hace trabajar en dos condiciones que ya vimos antes: al corte (no circula corriente, estado "OFF") o a la saturación (circula la máxima corriente, estado "ON").

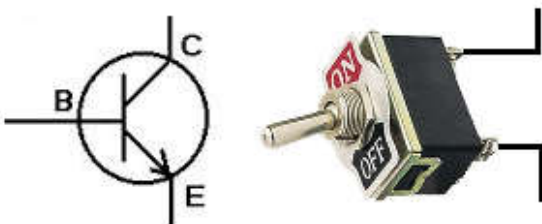


Fig. 6.48. Similitudes entre un transistor y un interruptor: El Colector y Emisor son los contactos del interruptor y la Base hace las veces de la "palanca" que lo abre y cierra.

En la siguiente figura se puede ver un circuito típico de conmutación de un relé con un transistor. La bobina se conecta en el colector del mismo con un diodo en paralelo que tiene la misión de proteger al transistor contra sobretensiones producidas por la bobina cuando es conmutada. El circuito se controla aplicando una tensión entre la Base y el Colector.

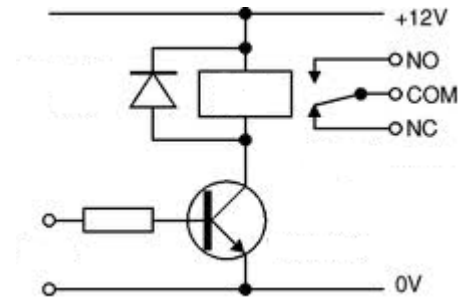


Fig. 6.49. Control de un relé con un transistor

6.7. Circuitos integrados

Hacia mediados del Siglo XX, los circuitos electrónicos estaban compuestos por distintos tipos de componentes como los que hemos visto en esta guía: diodos, transistores, resistencias, capacitores y otros que no hemos estudiado, generalmente armados sobre placas de circuito impreso o "plaquetas" que ocupaban un espacio considerable, sobre todo en circuitos complejos. Con la finalidad de reducir el tamaño de estas placas, se realizaron esfuerzos de investigación tendientes a crear lo que se denominó "circuito integrado", un dispositivo electrónico capaz de albergar en su interior una gran cantidad de componentes de dimensiones reducidas, que permitió una drástica reducción del tamaño de los dispositivos electrónicos.

El primer Circuito Integrado (CI o IC en inglés) fue diseñado por Jack Kilby en 1959 para la empresa Texas Instruments y contenía 6 transistores en su interior. En 2013, el procesador principal de una consola X-Box contiene 5.000 millones de transistores.

Esta extraordinaria reducción de tamaño es lo que ha permitido los grandes avances que se han realizado en campos como el de las computadoras, gracias a los cada vez más poderosos microprocesadores, los circuitos integrados que hacen las veces de "cerebros" de las PC y el desarrollo de los dispositivos portátiles, como teléfonos, tablets, reproductores MP3, etc.



Fig. 6.50. Un circuito integrado moderno conteniendo miles de transistores en un reducido tamaño.

Encapsulados

Los circuitos integrados se fabrican sobre una pequeña pastilla de silicio llamada "chip" sobre la que se crean los distintos componentes que lo forman. Para poder ser utilizado, los fabricantes lo montan en un receptáculo o encapsulado que lo contiene y el mismo tiempo permite conectarlo al exterior mediante terminales metálicos, llamados comúnmente "pines" o "patas".

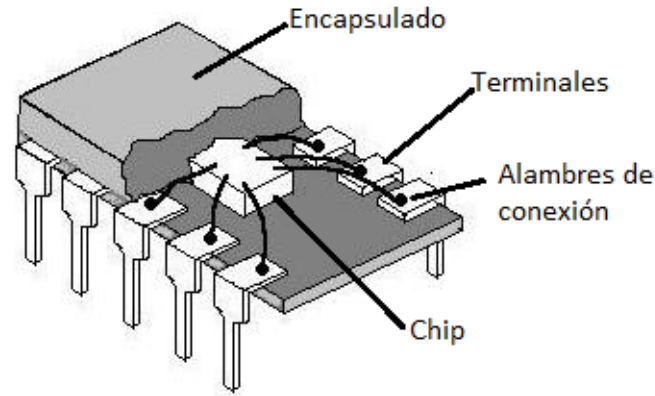


Fig. 6.51. Detalle de un chip montado en un encapsulado

Existe una enorme variedad de encapsulados para circuitos integrados, dependiendo fundamentalmente de la cantidad y distribución de los pines o terminales.

En encapsulado mas simple y sencillo para manipular, soldar y desoldar es el denominado DIP, del inglés Dual In-line Package, o encapsulado de doble línea, que tiene la forma de un rectángulo (o cuadrado) con pines a ambos lados.

Los integrados con este encapsulado generalmente tienen entre 6 y 40 pines, los que están espaciados uniformemente a 0,1" (2,54 mm).

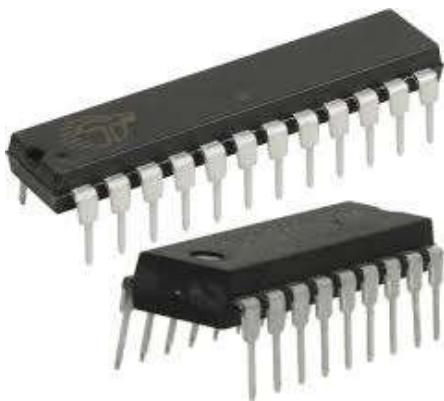


Fig. 6.52. Encapsulado tipo DIP

Cada pin tiene una función específica en un circuito integrado y está identificado con un número. En los DIP, los pines se numeran ubicando al número 1 en la parte superior izquierda y luego avanzando en sentido antihorario. Para identificar la parte superior, el encapsulado tiene una pequeña muesca o un punto.

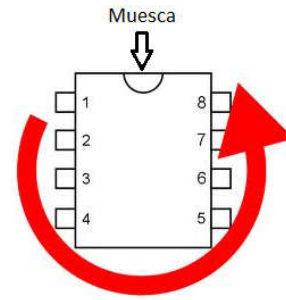


Fig. 6.53. Numeración de pines en un encapsulado DIP8.

Como se dijo al principio, existe una enorme variedad de encapsulados distintos, que no veremos aquí. Esta variedad se debe fundamentalmente a la cantidad y disposición de pines y la forma de soldado. Existen algunos que acomodan cientos de pines a los cuatro lados de un encapsulado cuadrado y otros donde los pines se ubican por debajo. En la siguiente figura se pueden ver sólo algunos de ellos.

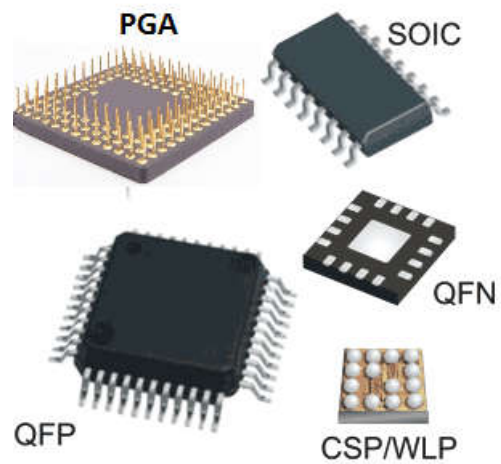


Fig. 6.54. Algunos encapsulados de circuitos integrados

En los esquemas electrónicos, los integrados generalmente se representan por rectángulos y sus pines por líneas a los lados, identificados con su número y a veces también con su función. Los pines pueden estar en orden (del 1 al último) o desordenados si esto contribuye a simplificar el resto del esquema. El código del integrado se escribe dentro o sobre el rectángulo que lo representa y si hay mas de uno se los designa con un número luego de la letra "U" (U1, U2, etc).

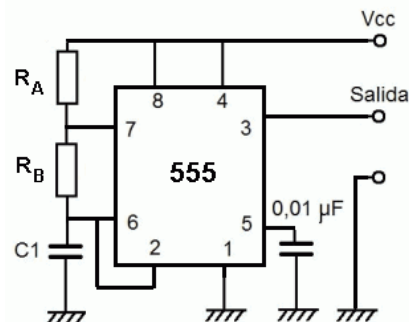


Fig. 6.55. Esquema con el circuito integrado "555".