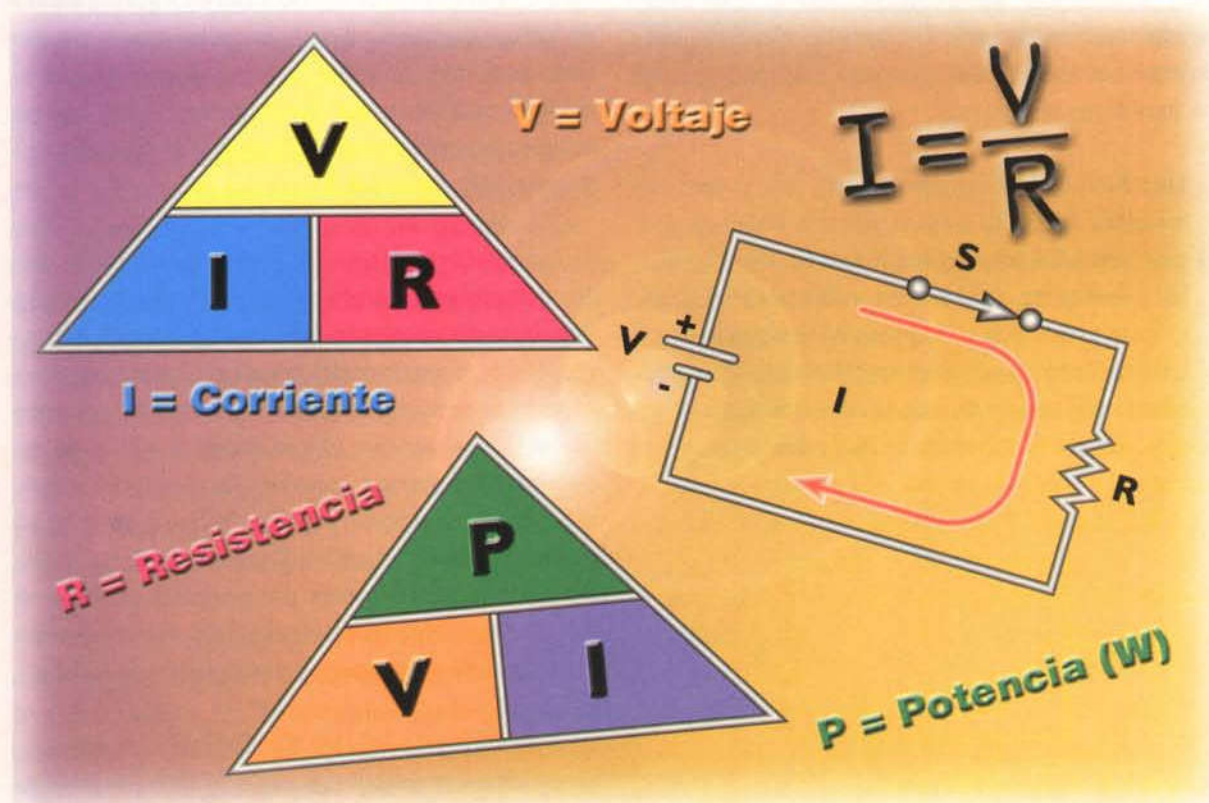


Lección 4

Leyes básicas de los circuitos eléctricos

Hasta ahora hemos estudiado los aspectos relacionados con los circuitos eléctricos, destacando los elementos que los componen (fuente, conductores, cargas) y las magnitudes físicas que los definen (voltaje, corriente, resistencia). En esta lección examinaremos la forma como están relacionadas matemáticamente estas magnitudes e introduciremos el importante concepto de potencia. Para ello será necesario conocer la ley de Ohm y la ley de Watt, dos principios básicos de la teoría eléctrica.



La ley de Ohm

La corriente y el voltaje, asociados con una resistencia, se relacionan entre sí mediante una fórmula muy útil y sencilla llamada la **ley de Ohm**. Esta ley, que examinaremos en detalle más adelante, es una de las fórmulas más utilizadas en electricidad y electrónica por parte de ingenieros, técnicos, estudiantes y principiantes, para el análisis y diseño de todo tipo de circuitos, incluyendo amplificadores, fuentes de alimentación, etc., así como para la selección apropiada de conductores, fusibles, interruptores, tomacorrientes, y otros tipos de componentes.

Antes de conocer la ley de Ohm, es conveniente recordar qué es, cómo está estructurado y cómo funciona un circuito eléctrico simple. **Figura 4.1.** Según vimos en una lección anterior, un **circuito eléctrico**, en un sentido general, es una combinación de componentes conectados de tal forma que proporcionen una trayectoria cerrada para la circulación de la corriente y permitan aprovechar la energía de los electrones en movimiento para producir otras formas de energía, por ejemplo, luz, calor, sonido, movimiento, etc. Un circuito eléctrico simple como el anterior se compone, básicamente, de los siguientes elementos:

- Una fuente de energía eléctrica (V), la cual suministra la fuerza necesaria para impulsar una corriente de electrones a través del circuito. Esta fuerza se expresa en **voltios (V)**. La corriente producida se expresa en **amperios (A)**.
- Un conjunto de conductores, los cuales proporcionan un camino de poca resistencia para la circulación de la corriente a través del circuito.

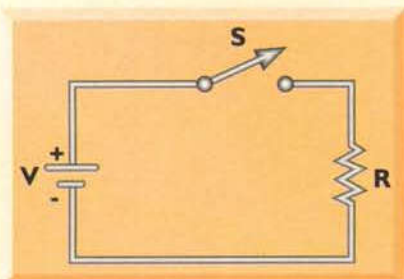


Figura 4.1. El circuito eléctrico simple

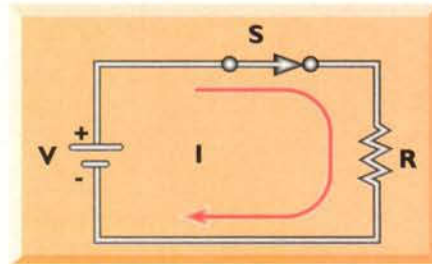


Figura 4.2. El circuito eléctrico cerrado

- Una **carga**, la cual convierte la energía de los electrones en movimiento en otras formas de energía. En este caso, la carga está representada por una **resistencia (R)**, la cual convierte energía eléctrica en calor. La resistencia se expresa en ohmios (Ω). En el resto de este capítulo asumiremos que la carga o cargas de un circuito son resistencias puras.
- Un interruptor (S), el cual actúa como elemento de control del circuito, regulando el paso de corriente hacia la carga.

Examinemos como funciona este circuito eléctrico simple. Supongamos inicialmente que el interruptor (S) está en la posición abierta (OFF). Bajo esta condición, no circula corriente alguna a través de los conductores ni de la carga porque la trayectoria está interrumpida. Se dice, entonces, que el circuito está **abierto**. Supongamos ahora que se acciona el interruptor y se pasa a la posición cerrada (ON), **figura 4.2**.

Bajo esta condición, los electrones tendrán una trayectoria por donde circular y la fuente podrá impulsar una corriente eléctrica (I). Se dice, entonces, que el circuito está **cerrado**. Considerando el sentido convencional, la corriente sale de la fuente por el borne positivo (+), se desplaza a lo largo del conductor superior, atraviesa la carga (R), continúa por el conductor superior y regresa a la fuente por el borne negativo. El proceso se repite indefinidamente mientras permanezca cerrado el interruptor. Hecho este recuento, estamos ya en capacidad de conocer y asimilar la ley de Ohm.

Enunciado de la ley de Ohm

En un circuito resistivo, o sea que solo tiene resis-

tencias, el voltaje (V), la resistencia (R) y la corriente (I) están relacionados entre sí mediante una fórmula muy útil y sencilla llamada la **ley de Ohm**, descubierta por el físico alemán Georg Simon Ohm (1789-1854) y dada a conocer públicamente en 1828. Esta ley establece lo siguiente:

“La intensidad (I) de la corriente eléctrica que circula por un circuito es directamente proporcional al voltaje aplicado (V) e inversamente proporcional a la resistencia (R) del mismo”

Matemáticamente, esta relación se puede representar en forma resumida mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Intensidad} = \frac{\text{Voltaje}}{\text{Resistencia}} \rightarrow I = \frac{V}{R}$$

El significado de cada uno de los términos de esta ecuación es el siguiente:

- V** es la tensión aplicada, expresada en voltios (V)
- I** es la corriente que circula por el circuito, expresada en amperios (A).
- R** es la resistencia u oposición al paso de la corriente, expresada en ohmios (Ω).

Para que la aplicación de esta fórmula produzca los resultados correctos, las cantidades deben expresarse en las unidades básicas o patrón, es decir el voltaje en **voltios**, la corriente en **amperios** y la resistencia en **ohmios**. Si estas magnitudes están expresadas en múltiplos o submúltiplos de las unidades básicas, las mismas deben convertirse primero a estas unidades antes de aplicar la ley de Ohm. Por ejemplo, 20mV (milivoltios) deben expresarse como 0,020 V, 10k Ω (kiloohmios) como 10.000 Ω y 30 μ A (microamperios) como 0,000030A.

Por tanto, la ley de Ohm nos permite calcular una magnitud, digamos la corriente (I), conociendo las otras dos (V, R). También nos confirma que la intensidad o cantidad de corriente de un circuito depende del voltaje aplicado por la fuente y de la

resistencia que le presenta la carga. En otras palabras, si por un circuito pasa cierta cantidad de corriente, esto se debe a la existencia de un voltaje aplicado y de una resistencia presentada por la carga. Esta última limita la cantidad de corriente que circula por el circuito. **Si la resistencia es alta, la corriente será baja, mientras que si la resistencia es baja, la corriente será alta.** Los siguientes ejemplos de aplicación de la ley de Ohm aclararán estos conceptos.

Ejemplo No. 1. En el circuito eléctrico de la **figura 4.3**, el voltaje entregado por la fuente tiene un valor de 110 voltios y la resistencia ofrecida por la carga un valor de 10 ohmios. ¿Cuál es el valor de la corriente que circula por el circuito?

Solución. Las magnitudes de este circuito son:

$$\begin{aligned} V &= 110V \\ R &= 10\Omega \\ I &= ?A \end{aligned}$$

Para calcular la corriente (I), aplicamos la ley de Ohm ($I=V/R$), reemplazando las letras que representan los parámetros del circuito por sus valores numéricos, expresados en unidades básicas. Esto es:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{110V}{10\Omega} = 11A$$

Por tanto, la corriente a través del circuito es de 11 amperios.

Ejemplo No. 2. Consideremos el mismo circuito de la **figura 4.3**, pero ahora aumentemos el voltaje, por ejemplo al doble, es decir 220 voltios, dejando el mismo valor de resistencia, es decir 10 ohmios. ¿Qué sucederá con la intensidad? **Figura 4.4**

Solución. Las nuevas magnitudes del circuito son las siguientes:

$$\begin{aligned} V &= 220V \\ R &= 10\Omega \\ I &= ?A \end{aligned}$$

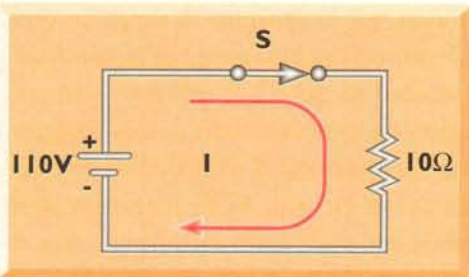


Figura 4.3. Ejemplo No. 1

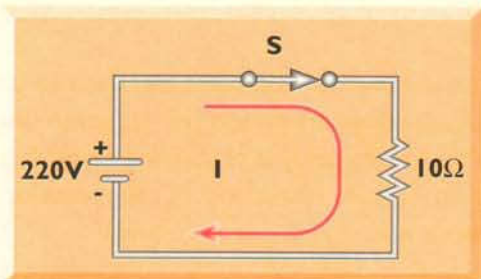


Figura 4.4. ejemplo No. 2

Aplicando la ley de Ohm ($I=V/R$) y reemplazando las letras por sus valores, tenemos:

$$I = \frac{220V}{10\Omega} = 22A$$

Por tanto, la nueva corriente a través del circuito es de 22 amperios. Como conclusión, al aumentar el voltaje al doble, la intensidad también aumenta el doble. Este resultado confirma el siguiente enunciado, derivado de la ley de Ohm:

La intensidad de la corriente es directamente proporcional al voltaje aplicado

Ejemplo No. 3. Consideremos nuevamente el circuito de la **figura 4.3**, pero ahora cambiemos la resistencia al doble, es decir 20 ohmios y mantengamos el valor de la fuente en 110 voltios. ¿Qué sucederá con la intensidad? **Figura 4.5**

Solución. Las nuevas magnitudes del circuito son las siguientes:

$$\begin{aligned} V &= 110V \\ R &= 20\Omega \\ I &= ?A \end{aligned}$$

Aplicando la ley de Ohm ($I=V/R$) y reemplazando las letras por sus valores, tenemos:

$$I = \frac{110V}{20\Omega} = 5,5A$$

Por tanto, la nueva corriente a través del circuito es 5,5 amperios. Como conclusión, al aumentar la resistencia al doble, la intensidad disminuye a la mitad. Este resultado confirma el siguiente enunciado, derivado de la ley de Ohm:

La intensidad de la corriente es inversamente proporcional al valor de la resistencia

Como se puede observar a partir de los ejemplos anteriores, al modificar las condiciones del circuito, cambiando el valor del voltaje o la resistencia, cambia también el valor de la corriente, lo cual explica el comportamiento del circuito ante estas situaciones. De ahí la importancia de la ley de Ohm. Por esta razón le recomendamos memorizarla y tenerla muy en cuenta en lo sucesivo, puesto que la misma le será de gran ayuda para resolver un buen número de problemas reales que se presentan en la práctica de la electricidad y la electrónica. De todas formas, recuerde siempre que la ley de Ohm relaciona el voltaje, la resistencia y la intensidad en circuitos eléctricos **cerrados**, es decir por donde puede circular una corriente eléctrica.

Otras formas de representar la ley de Ohm

Matemáticamente la ley de Ohm, originalmente expresada como $I=V/R$, se puede representar mediante otras dos ecuaciones equivalentes así:

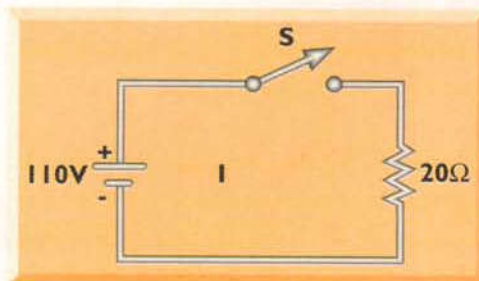


Figura 4.5. Ejemplo No. 3

Voltaje = Intensidad x Resistencia

$$\rightarrow V = I \times R$$

Mediante esta fórmula se puede obtener el valor del voltaje (V) de la fuente de alimentación, conociendo la intensidad (I) de la corriente y la resistencia (R).

$$\text{Resistencia} = \frac{\text{Voltaje}}{\text{Intensidad}} \rightarrow R = \frac{V}{I}$$

Mediante esta fórmula se puede obtener el valor de la resistencia (R), conociendo la intensidad de la corriente (I) y el voltaje (V).

Los siguientes ejemplos aclararán estos conceptos.

Ejemplo No. 4. En el circuito de la **figura 4.6** se tiene como carga una resistencia de 6 ohmios y se ha medido una corriente de 2 amperios. ¿Cuál será el voltaje de la fuente de alimentación?

Solución. En este caso tenemos los siguientes valores:

$$\begin{aligned} I &= 2 \text{ A} \\ R &= 6 \Omega \\ V &= ? \text{ V} \end{aligned}$$

Aplicando la ley de Ohm en la forma $V = I \times R$ y reemplazando las letras por sus valores, tenemos:

$$V = 2 \text{ A} \times 6 \Omega = 12 \text{ V}$$

Por tanto, la fuente debe tener un voltaje de 12 voltios.

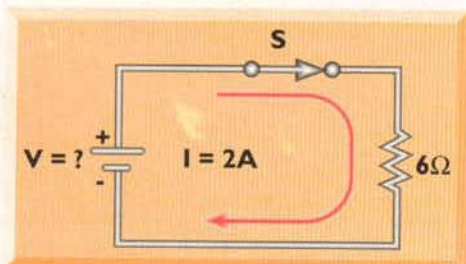


Figura 4.6. Ejemplo No.4

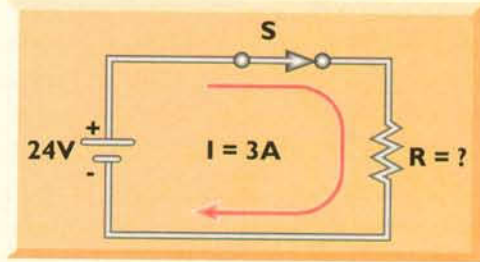


Figura 4.7. Ejemplo No. 5

Ejemplo No. 5. En el circuito de la **figura 4.7** se tiene una fuente de alimentación de 24 voltios y se mide una corriente de 3 amperios. ¿Cuál será el valor de la resistencia en ohmios?

Solución. En este caso tenemos los siguientes valores:

$$\begin{aligned} V &= 24 \text{ V} \\ I &= 3 \text{ A} \\ R &= ? \Omega \end{aligned}$$

Utilizando la ley de Ohm en la forma $R = V/I$, obtenemos:

$$R = \frac{V}{I} = \frac{24 \text{ V}}{3 \text{ A}} = 8 \Omega$$

Por tanto, el valor de la resistencia es de 8 ohmios.

El triángulo de la ley de Ohm

Las diferentes formas de expresar la ley de Ohm, examinadas hasta el momento, se pueden recordar con facilidad utilizando el triángulo de la **figura 4.8**, donde se encuentran representadas, en forma gráfica, las tres magnitudes de cualquier circuito, es decir el voltaje (V), la intensidad de la corriente (I) y la resistencia (R). Para la utilización

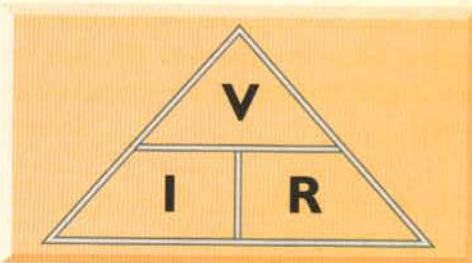


Figura 4.8. El triángulo de la ley de Ohm

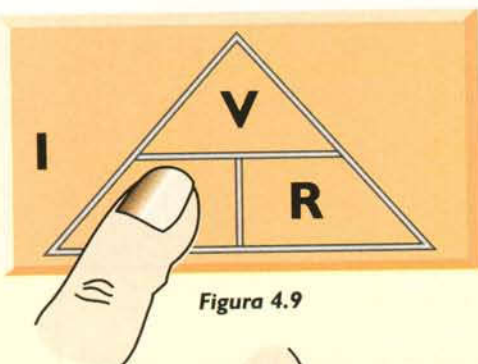


Figura 4.9

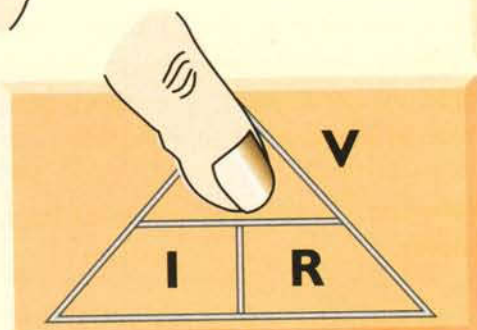


Figura 4.10

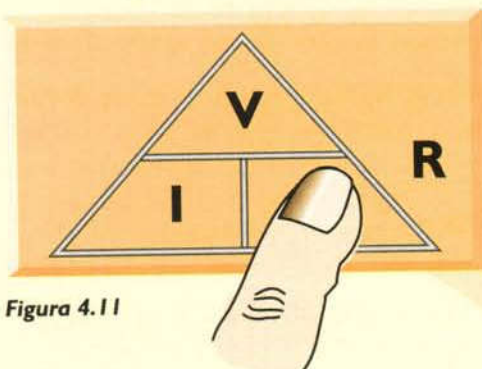


Figura 4.11

de esta ayuda, simplemente tape con un dedo en el triángulo la magnitud de interés y efectúe la multiplicación o división que quede indicada. Esto es:

1. Si quiere hallar la intensidad (**I**), tape con un dedo la letra **I**, **figura 4.9**. Obtendrá entonces **V/R**.
2. Si quiere hallar el voltaje (**V**), tape con un dedo la letra **V**, **figura 4.10**. Obtendrá entonces **I x R**.
3. Si quiere hallar la resistencia (**R**), tape con un dedo la letra **R**, **figura 4.11**. Obtendrá entonces **V/I**.

Análisis de un circuito eléctrico mediante la ley de Ohm

La ley de Ohm es siempre válida en todo circuito

eléctrico y en cada parte del mismo. Esto significa que si en una parte de un circuito eléctrico se conocen los valores particulares de dos de las tres magnitudes fundamentales (**I**, **V**, **R**), la tercera magnitud debe tener un valor tal que satisfaga la ecuación matemática descrita por la ley de Ohm. Para comprobar esta afirmación, consideremos el circuito eléctrico de la **figura 4.12**.

En este caso, si el interruptor **S** se encuentra cerrado, como se muestra en la figura, el amperímetro nos indicará la magnitud de la corriente (**I**) que circula a través del circuito. Esta corriente está dada por:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{9V}{3\Omega} = 3A$$

Verifiquemos ahora la ley de Ohm en otra parte del circuito, por ejemplo en la resistencia. En este caso, el voltímetro nos indicará el voltaje o diferencia de potencial en los extremos de la resistencia. Este voltaje (**V1**) está dado por:

$$V1 = I \times R = 3A \times 3\Omega = 9V$$

Es decir, toda la tensión de la fuente aparece en la resistencia, como era de esperarse. Incluso si el interruptor de la **figura 4.12**, se abre, la ley de Ohm sigue teniendo validez porque al ser infinita la resistencia del interruptor, deja de circular la corriente en el circuito. Bajo esta condición, la corriente medida por el amperímetro (**I**) será cero (0), lo mismo

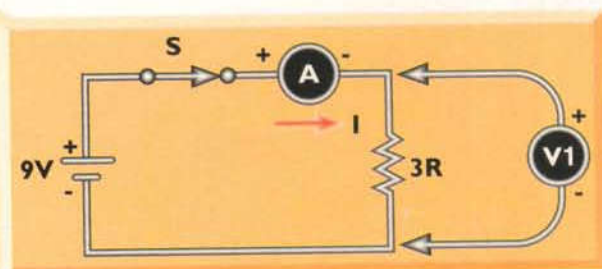


Figura 4.12. Circuito eléctrico simple para la demostración de la ley de Ohm

el voltaje en la resistencia medido con el voltímetro (V1). Este voltaje estará dado por:

$$V1 = I \times R = 0A \times 3\Omega = 0V$$

A continuación examinaremos otros problemas que nos permitirán apreciar la utilidad y versatilidad de la ley de Ohm.

Problemas de aplicación de la ley de Ohm

Problema No. 1. Un equipo eléctrico que tiene una resistencia interna de 8 ohmios se debe conectar a una fuente de 110 voltios. Calcular:

- La corriente que circula por el equipo.
- El calibre mínimo del conductor o cordón eléctrico que se debe utilizar para que el equipo funcione en forma segura.

Solución. El problema nos ofrece los siguientes datos:

$$\begin{aligned} V &= 110V \\ R &= 8\Omega \\ I &= ?A \end{aligned}$$

Aplicando la ley de Ohm obtenemos los siguientes resultados:

$$a. \quad I = \frac{V}{R} = \frac{110V}{8\Omega} = 13,75A$$

Esto es, la corriente que circula por el equipo es de 13,75 amperios.

- Con el valor de corriente obtenido anteriormente, nos apoyamos con la tabla de conductores eléctricos de la página N°17 de la sección de componentes para determinar el calibre mínimo del cable de potencia. Para ello, localicemos en la columna de ampacidad cual es el valor más cercano a 13,75 amperios. Notaremos que este valor es 15

amperios, el cual corresponde, en la columna de calibres, a un conductor número 14. Por tanto, podemos concluir que el cordón de alimentación para el equipo debe ser, como mínimo, de calibre N° 14.

Problema No. 2. Una resistencia de 300 ohmios perteneciente a un receptor de radio es atravesada por una corriente de 40 miliamperios. ¿Qué voltaje existe en los extremos de la resistencia?

Solución. El problema nos ofrece los siguientes datos:

$$\begin{aligned} I &= 40 \text{ mA} \\ R &= 300 \Omega \\ V &= ?V \end{aligned}$$

Antes de aplicar la ley de Ohm, es necesario tener las magnitudes en unidades en forma homogénea, es decir expresadas en unidades patrón. Note que la resistencia sí lo está (en ohmios), pero no la corriente, la cual está expresada en un submúltiplo (miliamperios o milésimas de amperio).

Por tanto, debemos convertir los 40 miliamperios en amperios. Para convertir miliamperios en amperios dividimos por 1000 así:

$$\frac{40\text{mA}}{1000} = 0,040A$$

Ahora sí, aplicando la ley de Ohm, obtenemos:

$$\begin{aligned} V &= I \times R \\ V &= 0,040A \times 300\Omega \\ V &= 12 \text{ voltios} \end{aligned}$$

Para fijar de una manera práctica la relación que existe entre el voltaje aplicado a un circuito y la intensidad de corriente que circula por él, vamos a practicar a continuación un experimento sencillo.

Experimento N° 5. La ley de Ohm

Objetivo: comprobar en forma experimental la ley de Ohm.

Materiales necesarios

2 resistencias de 820Ω , 5W

1 interruptor de codillo

4 pilas de 1,5 voltios

1 multímetro digital

1 metro de conductor eléctrico No. 22

Práctica N° 1. En esta práctica comprobaremos que la corriente (I) en un circuito eléctrico es igual a la relación entre el voltaje aplicado (V) y la resistencia de la carga (R). Esto es: $I=V/R$. Para ello, siga estos pasos:

- Efectúe el montaje de la **figura 4.13**, situando inicialmente el interruptor en la posición abierta (OFF) y utilizando un voltaje de alimentación de 3V (2 pilas de 1,5V conectadas en serie).
- Sin cerrar el interruptor y con la ayuda del multímetro digital, efectúe las siguientes mediciones:

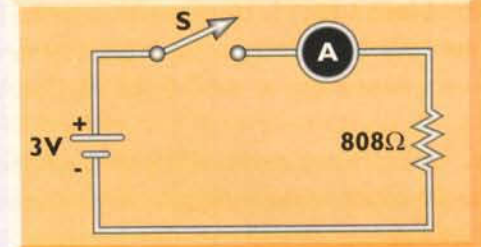


Figura 4.13

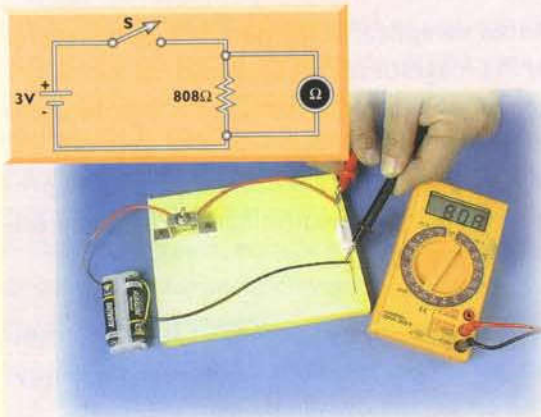


Figura 4.14

- Mida el valor de la resistencia. Utilice el multímetro como óhmímetro. **Figura 4.14.** Anote el valor leído ($R=808\Omega$).
- Mida el voltaje entregado por las pilas. **Figura 4.15.** Utilice el multímetro como voltímetro de CC. Anote el valor leído ($V=3,12V$).

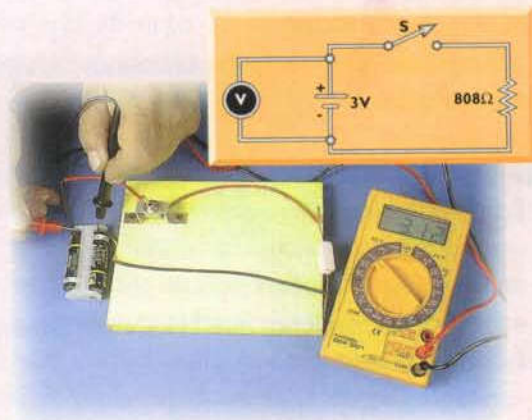


Figura 4.15

- Con los valores obtenidos, calcule la corriente del circuito. Aplique la ley de Ohm. En nuestro caso:

$$I = V / R = 3,12V / 808\Omega = 0,0038A = 3,8mA$$
 ¿Que valor obtuvo usted ?

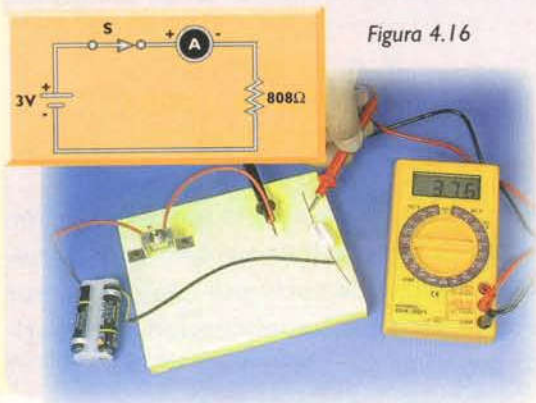


Figura 4.16

- Configure el multímetro como amperímetro de CC en la escala de 20mA y conéctelo como se muestra en la **figura 4.16**. Cierre el interruptor y tome la lectura. Teóricamente, el valor medido debería ser igual o muy parecido al calculado matemáticamente (3,8mA en nuestro caso).

Práctica No. 2. En esta práctica comprobaremos que, si en un circuito eléctrico se aumenta o disminuye el voltaje aplicado (V) y se mantiene constante la resistencia (R), la corriente producida (I) aumenta o disminuye en la misma proporción. Para ello, siga estos pasos:

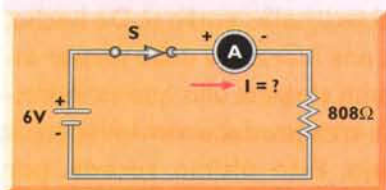
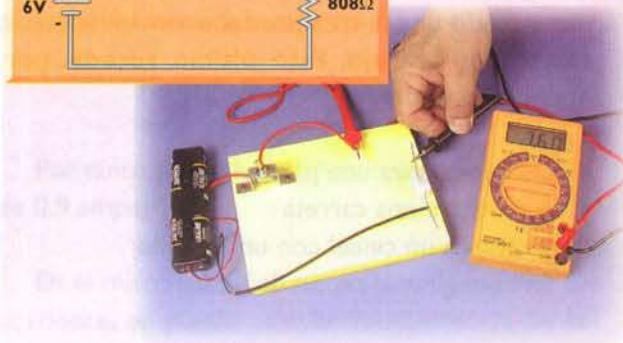


Figura 4.17



- Efectúe nuevamente el montaje de la figura 4.13, pero cambiando el valor del voltaje de alimentación a 6 voltios (4 pilas de 1,5V conectadas en serie). Siga los mismos pasos de la Práctica 1 para medir la resistencia y el voltaje de la fuente. Calcule la corriente a través del circuito. En nuestro caso, obtuvimos $R=808\Omega$, $V=6,14V$ e $I = V / R = 6,14V / 808\Omega = 0,0075A = 7,5mA$.
- Cierre ahora el interruptor y tome la lectura del amperímetro. **Figura 4.17.** Anote el valor leído en el amperímetro ($I = 7,6mA$).

Práctica No. 3. En esta práctica comprobaremos que, si en un circuito eléctrico se aumenta o disminuye la resistencia de la carga (R) y se mantiene constante el voltaje aplicado (V), la corriente producida (I) disminuye o aumenta en la misma proporción. Para ello, siga estos pasos:

- Efectúe nuevamente el montaje de la **figura 4.13**, pero utilizando dos resistencias en lugar de una. De este modo, la resistencia del circuito aumentará al doble. Siga los mismos procedimientos de la Práctica 1 para medir la resistencia y el voltaje de la fuente. Calcule la corriente a través del circuito. En nuestro caso, obtuvimos $R=1.616\Omega$, $V=3,12V$ e $I = V / R = 3,12V / 1.616\Omega = 0,0019A = 1,9mA$.

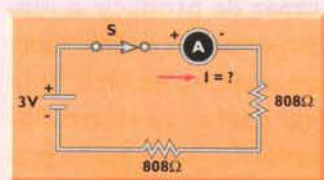
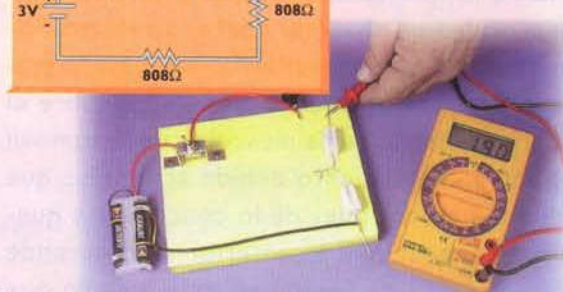


Figura 4.18

- Cierre ahora el interruptor y tome la lectura del amperímetro. **Figura 4.18.** Anote el valor leído en el amperímetro ($I=1,9mA$). ¿Coincide este valor con el calculado teóricamente?



Conclusiones

En este experimento hemos comprobado, en forma práctica, que:

- La corriente en un circuito es igual a la relación entre el voltaje aplicado y la resistencia
- Si se aumenta o disminuye el voltaje aplicado a un circuito, manteniendo constante la resistencia, la corriente aumenta o disminuye en la misma proporción. En nuestro caso, aumentamos el voltaje al doble (de 3V a 6V). Por esta razón, la corriente también aumentó al doble (0,38mA a 0,76mA)
- Si se aumenta o disminuye la resistencia de un circuito, manteniendo constante el voltaje aplicado, la corriente disminuye o aumenta en la misma proporción. En nuestro caso, aumentamos la resistencia al doble (de 808Ω a 1.616Ω). Por esta razón, la corriente disminuyó a la mitad (de 3,8mA a 1,9mA)

Concepto de potencia eléctrica

Como ya sabemos, en todo circuito eléctrico simple, cuando se cierra un interruptor, hay un movimiento de electrones y un desplazamiento de carga debido a la *fuerza* que le transmite la fuente de voltaje; esto representa un trabajo. Por tanto, la corriente eléctrica produce un trabajo, consistente en trasladar una carga a través de un conductor.

El término *potencia* se asocia a cualquier dispositivo capaz de hacer un trabajo útil. Por ejemplo, un motor eléctrico es potente cuando es capaz de mover una máquina. La idea de potencia eléctrica surge del hecho que la electricidad es una forma de energía que puede ser convertida en un trabajo útil, como encender una lámpara, calentar una resistencia de una estufa eléctrica, mover la hélice de un ventilador, etc. Antes de hablar de potencia eléctrica, es conveniente analizar primero el significado de los siguientes cuatro conceptos fundamentales de la física clásica: fuerza, trabajo, energía y potencia.

Concepto de fuerza

Fuerza es toda causa capaz de producir o modificar un movimiento. Sin embargo, definir exactamente lo que es una fuerza no es fácil, aunque sí podemos observar cual es su efecto. Por ejemplo: podemos mover un objeto pesado gracias a la fuerza de *empuje* que ejerce sobre el mismo nuestro sistema muscular; un automóvil se pone en movimiento debido al impulso que recibe del motor, pues de lo contrario se quedaría en reposo. De lo anterior se desprende otra definición de fuerza: es todo aquello que produce una variación de la velocidad de un cuerpo. La unidad de medida de la fuerza es el newton (N)

Concepto de trabajo

Cuando una fuerza mueve un cuerpo, se desarrolla un **trabajo**, equivalente al producto de la fuerza por la distancia a lo largo de la cual actúa la misma.

La unidad de medida del trabajo es el julio (J), equivalente a 1 Nm (newton por metro).

Los conceptos de fuerza y trabajo, son muy distintos, pero están ligados entre sí. De hecho, cuando se ejerce una fuerza, se debe pensar inmediatamente en un trabajo, o lo que es lo mismo: cuando una fuerza produce movimiento, se efectúa un trabajo. Esto último sucede, por ejemplo, cuando:

- Un atleta lanza una jabalina
- Se arrastra una carreta
- Se golpea un cincel con un martillo
- Se hace girar el timón de un barco

En estos y en muchos casos más se consigue el movimiento de un cuerpo cuando aplicamos una fuerza. Esto implica que si un cuerpo permanece en reposo, sobre él no se está ejecutando trabajo alguno.

Concepto de energía

La energía es la capacidad para efectuar un trabajo. Por tanto, en cada trabajo que se produzca siempre hay una forma de energía involucrada. Algunas de las formas más comunes de energía son las siguientes:

Energía potencial

Es la energía que posee un cuerpo debido a su posición. Ejemplo: el agua que se encuentra almacenada en un tanque de reserva está en posición de reposo cuando las llaves están cerradas. Por tanto tiene una energía potencial asociada.

Energía cinética

Es la que posee un cuerpo cuando está en movimiento. Ejemplo: si se abren las llaves del tanque de reserva mencionado, entonces el agua corre por las tuberías. Por tanto, el flujo de agua lleva una energía cinética.

Energía calórica

Es la producida por la fricción o el roce de dos o

más cuerpos. Ejemplo: la acción de frotarse las manos genera necesariamente energía calórica.

Energía radiante

Es la energía asociada con las ondas que viajan por el aire y el vacío. Ejemplo: las ondas sonoras, las señales de radio, la luz del sol, etc., poseen una energía radiante.

Energía química

Es la energía producida por la reacción de dos o más sustancias para formar nuevas sustancias.

Energía eléctrica

Es la energía producida por el flujo o movimiento de electrones dentro de un material. La corriente eléctrica no se puede ver, pero sí se puede comprobar su existencia por medio de los efectos que produce al circular por un circuito o convertirse en otras formas de energía (calor, movimiento, sonido, luz, etc.)

Concepto de potencia

Si usted tuviera que escoger entre dos computadoras para llevar a cabo un trabajo complicado, ¿cuál elegiría? Lo más lógico es que usted escogería la de manejo más sencillo y, lo más importante, la más rápida. En esta última decisión juega un papel importante el factor *tiempo* y por tanto en la misma está implícito el concepto de **potencia**, definida como el trabajo realizado en la unidad de tiempo. En nuestro caso, el equipo de cómputo más potente es el que hace su trabajo en el menor tiempo.

En un principio establecimos que la corriente eléctrica produce un trabajo cuando traslada una carga por un conductor. Luego, este trabajo supone la existencia de una potencia que dependerá del tiempo que dure desplazándose la carga. La unidad de medida de la potencia es el **vatio (W)**, equivalente a 1 J/s (julio por segundo) y denominada así en honor de James Watt (1736-1819), inventor de la máquina de vapor. La potencia en un circuito eléctrico se determina con ayuda de la **ley de Watt**, la cual estudiaremos a continuación.

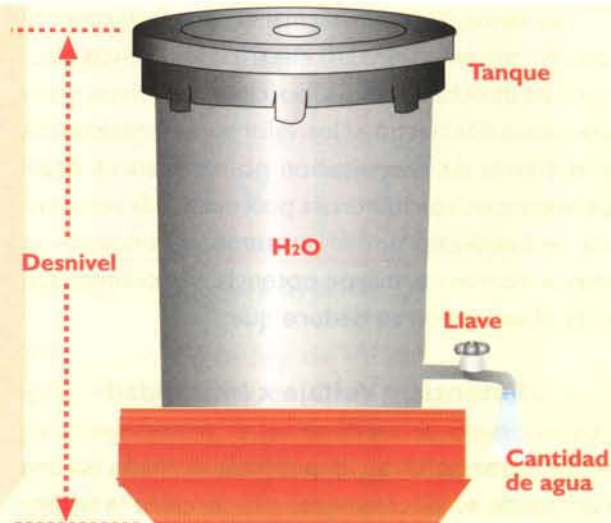


Figura 4.19. Tanque de reserva de agua

La ley de Watt

Examinemos nuevamente el caso del tanque de reserva. **Figura 4.19.** La potencia eléctrica se compara aquí con el tanque, el cual almacena agua y nos suministra una potencia hidráulica. En este caso, la potencia de la corriente de agua es directamente proporcional al desnivel del tanque, es decir su altura con respecto al suelo, así como a la cantidad de agua por unidad de tiempo que sale cuando se abre la llave.

Comparemos ahora el tanque de reserva de la figura 4.19 con un circuito eléctrico simple, **Figura 4.20.** Podemos establecer las siguientes analogías:

- El desnivel se asemeja al voltaje de la fuente (V).
- La cantidad de agua que sale por la llave en un segundo es semejante a la corriente (I).

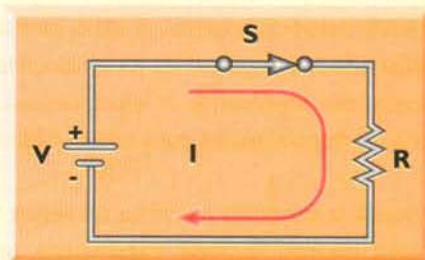


Figura 4.20. Circuito eléctrico

Por tanto, podemos afirmar, como efectivamente ocurre, que en un circuito eléctrico la potencia eléctrica es directamente proporcional al voltaje y a la corriente. De hecho, si los valores de la resistencia y el voltaje de alimentación no cambian, es decir permanecen constantes, la potencia en la resistencia se manifiesta por el consumo de amperios: a mayor corriente, mayor potencia, y viceversa. De esta observación se deduce que:

Potencia = Voltaje x Intensidad

En otras palabras, la potencia disipada en una resistencia es directamente proporcional a la tensión aplicada y a la cantidad de corriente que circula en el circuito. Este enunciado se puede expresar matemáticamente como una ecuación así:

$$P = V \times I$$

donde:

P es la potencia disipada, en vatios (W)

V es la tensión aplicada, en voltios (V)

I es la cantidad de corriente que circula, en amperios (A)

La fórmula $P=V \times I$ se conoce como la **ley de Watt**. Para que su empleo produzca los resultados correctos las cantidades se deben expresar en unidades patrón: vatios, voltios y amperios. Si, por algún motivo se toman cantidades múltiplos o submúltiplos, estas unidades se deben convertir en unidades básicas antes de usar la fórmula representada por la ley de Watt.

Como se mencionó anteriormente, la unidad de medida de la potencia es el **vatio** y para su representación se utiliza la letra **W** (mayúscula). Igual que sucede con el voltio y el amperio, las unidades de voltaje y corriente respectivamente, el vatio también tiene múltiplos, usados principalmente en electricidad, y submúltiplos, muy empleados en electrónica. La tabla 1 relaciona las equivalencias para estas unidades.

Para medir la potencia eléctrica en vatios se emplea un instrumento llamado **vatímetro**, utilizado principalmente en electricidad. En electrónica se uti-

Múltiplos y submúltiplos	Símbolo	Equivalencia
Megavatio	MW	1.000.000 W
Kilovatio	kW	1.000 W
Vatio	W	1 W
Milivatio	mW	0,001 W
Microvatio	μW	0,000001 W

Tabla 1. Equivalencia de unidades de potencia

liza con más frecuencia el multímetro. Para ello, se efectúan primero mediciones de voltaje y de corriente. A continuación, para hallar la potencia, basta con obtener el producto de estas dos magnitudes. Los siguientes ejemplos aclaran el uso de la ley de Watt.

Ejemplos de aplicaciones de la ley de Watt

Ejemplo No. 1. En el circuito de la **figura 4.21**, la fuente tiene un valor de 110 voltios y por la resistencia circulan 11 amperios. Calcular el valor de la potencia entregada por la fuente y absorbida por la resistencia.

Solución. En este caso tenemos:

$$V = 110 \text{ voltios}$$

$$I = 11 \text{ amperios}$$

$$P = ? \text{ vatios}$$

Aplicando la ley de Watt: $P = V \times I$

Reemplazando las letras por sus valores

$$P = 110V \times 11A$$

$$P = 1.210 \text{ vatios}$$

$$P = 1,21kW$$

Por tanto la potencia disipada en la resistencia es 1.210 vatios.

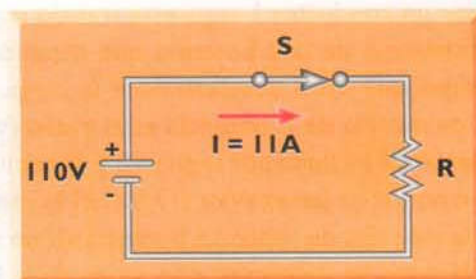


Figura 4.21. Ejemplo No. 1

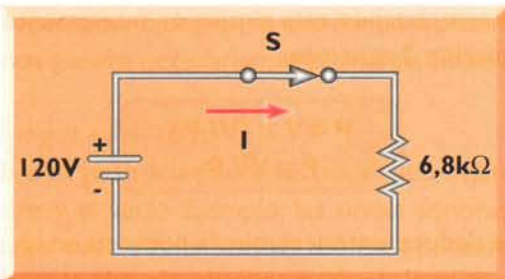


Figura 4.22. Ejemplo No. 2

Ejemplo No. 2. En el circuito de la figura 4.22, la fuente de alimentación suministra 120 voltios y la resistencia es de 6,8 kΩ. Calcular:

- La corriente que circula por el circuito
- La potencia disipada en la resistencia

Solución

- En este caso tenemos:

$$\begin{aligned} V &= 120 \text{ voltios} \\ R &= 6,8 \text{ kilohmios} \\ I &= ? \end{aligned}$$

Antes de aplicar cualquier fórmula, se deben convertir los 6,8 kΩ a ohmios (Ω). En este caso basta con multiplicar por mil:

$$6,8\text{k}\Omega \times 1.000 = 6.800\Omega$$

Ahora sí podemos aplicar la ley de Ohm para hallar I:

$$I = V/R = 120\text{V} / 6.800\Omega = 0,0014 \text{ amperios}$$

- Puesto que acabamos de hallar la corriente del circuito, podemos entonces aplicar la ley de Watt para calcular la potencia. Tenemos:

$$\begin{aligned} V &= 120 \text{ voltios} \\ I &= 0,0014 \text{ amperios} \\ P &= ? \text{ vatios} \\ P &= V \times I \\ P &= 120 \times 0,0014 \text{ A} \\ P &= 0,168 \text{ W} \end{aligned}$$

Es decir la potencia disipada en la resistencia es de 0,168 vatios

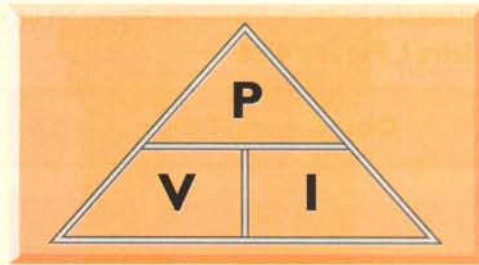


Figura 4.23. Triángulo de la ley de Watt

Triángulo de la ley de Watt

Igual que con la ley de Ohm existe un triángulo para representar la ley de Watt. Su objeto es recordar con facilidad las relaciones entre V, I y P y así poder encontrar la magnitud que se desee, conociendo dos de las tres magnitudes involucradas.

Figura 4.23. Para usar esta ayuda, se tapa con un dedo la magnitud que se quiere encontrar y se hace la división o multiplicación que quede indicada, así:

- Si necesita hallar la potencia, tape con un dedo la letra P. **Figura 4.24**

Obtenemos: $P = V \times I$

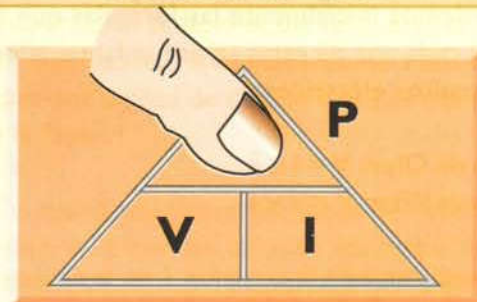


Figura 4.24

- Se necesita hallar el voltaje tape con un dedo la letra V. **Figura 4.25**

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

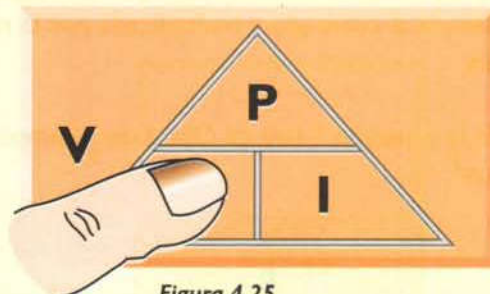


Figura 4.25

3. Si necesita hallar la corriente, tape con un dedo la letra I. **Figura 4.26**

$$\text{Obtenemos: } I = \frac{P}{V}$$

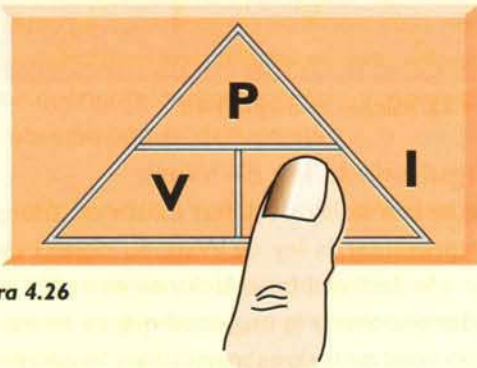


Figura 4.26

Combinación de las leyes de Ohm y Watt

Las leyes de Ohm y de Watt se pueden combinar matemáticamente para obtener otras relaciones útiles que nos permiten calcular la potencia, el voltaje, la corriente o la resistencia en un circuito, conociendo otras dos magnitudes. Recordemos inicialmente las fórmulas que describen cada una de estas leyes fundamentales de los circuitos eléctricos:

1. Ley de Ohm: $V = I \times R$
2. Ley de Watt: $P = V \times I$

Reemplazando la ecuación 1 en la ecuación 2 tenemos:

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

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

Es decir, la potencia en un circuito es directamente proporcional a la corriente que circula por éste, elevada al cuadrado y multiplicada por la resistencia.

Si de la ecuación 1 (ley de Ohm) despejamos I, tenemos:

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

Reemplazando esta expresión nuevamente en la ecuación 2 tenemos:

$$P = V \times (V / R)$$

$$P = V^2 / R$$

Se deduce, entonces, que la potencia en un circuito es igual al voltaje aplicado, elevado al cuadrado y dividido por la resistencia.

Resumen

Para hallar la potencia en vatios de un circuito disponemos de tres expresiones:

1. $P = V \times I$, si se conocen el voltaje (V) y la corriente (I).
2. $P = I^2 \times R$, si se conocen la corriente (I) y la resistencia (R)
3. $P = V^2 / R$, si se conocen el voltaje (V) y la resistencia (R)

De estas tres ecuaciones, se puede despejar V, I ó R, y así encontrar otras expresiones para hallar el voltaje, la corriente y la resistencia en función de la potencia. En los siguientes problemas veremos como aplicar estos conceptos.

Problemas de aplicación de la ley de Watt

Problema No. 1. Una bombilla de uso doméstico se compra en el mercado con las siguientes especificaciones: voltaje de alimentación = 110 voltios, potencia = 100 W. Calcular la corriente que circula por la bombilla, así como su resistencia interna. **Figura 4.27**

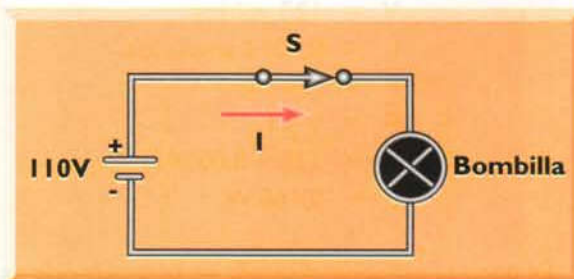


Figura 4.27. Problema No. 1

Solución: En este caso tenemos:

$$V = 110 \text{ voltios}$$

$$P = 100 \text{ vatios}$$

$$I = ? \text{ amperios}$$

Del triángulo de la ley de Watt: $I = P / V$. Reemplazando las letras por valores

$$I = 100 \text{ W} / 110 \text{ V} = 0,9 \text{ A}$$

Por tanto, por la bombilla circula una corriente de 0,9 amperios.

En el mismo problema, después de conocer la corriente, se puede calcular la resistencia de la bombilla aplicando la ley de Ohm así:

$$R = V / I$$

$$R = 110 \text{ V} / 0,9 \text{ A}$$

$$R = 122,2 \text{ ohmios}$$

Por tanto, la resistencia interna de la bombilla es $122,2\Omega$

Problema No. 2. Calcular la potencia que absorbe y transforma en calor una resistencia de 800Ω cuando se aplica una tensión de 12 voltios. **Figura 4.28**

Solución. Tenemos:

$$V = 12 \text{ voltios}$$

$$R = 800 \text{ ohmios}$$

$$P = ? \text{ vatios}$$

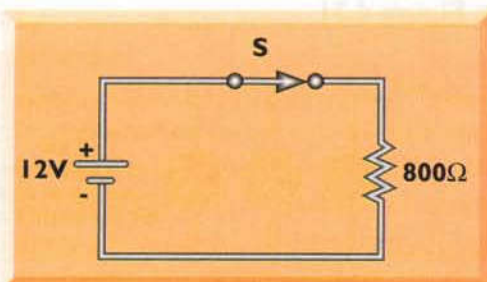


Figura 4.28. Problema No. 2

Según la ecuación No. 3 del resumen: $P = V^2 / R$. En este caso, conocemos los valores de V y R . Reemplazando los valores, tenemos:

$$P = \frac{(12 \text{ V})^2}{800 \Omega} = 0,18 \text{ W}$$

La resistencia absorbe una potencia eléctrica de 0,18 vatios, la cual se convierte en potencia calórica.

Problema No. 3. En el circuito de la **figura 4.29**, la resistencia tiene un valor de 2.200 ohmios y a través de ella circula una intensidad de 2 amperios. Calcular la potencia asociada con la resistencia.

Solución: La ecuación No. 2 del resumen nos permite calcular la potencia, conociendo la corriente (I) y la resistencia (R). Esto es: $P = I^2 \times R$. Reemplazando las letras por sus valores tenemos:

$$P = (2 \text{ A})^2 \times 2.200 \Omega$$

$$P = 8.800 \text{ W}$$

Es decir, la potencia de la resistencia es de 8.800 vatios.

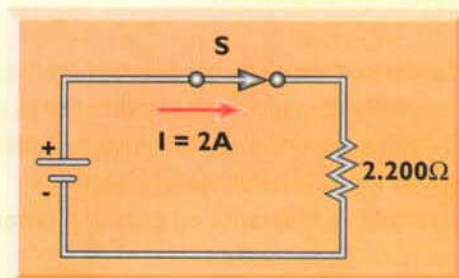


Figura 4.29. Problema No. 3

Como hemos visto, estas dos leyes son fundamentales para hacer los cálculos de las cuatro magnitudes más comúnmente empleadas en electricidad y electrónica, a saber: I , V , R y P . En la siguiente circunferencia hay un resumen de las fórmulas vistas hasta ahora. **Figura 4.30.**

La circunferencia se ha dividido en 4 cuadrantes. En cada uno de estos (en el centro de la circunferencia) tenemos el factor desconocido o lo

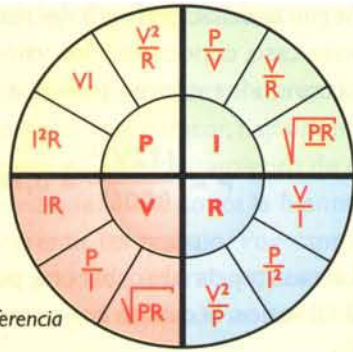


Figura 4.30. Circunferencia de ecuaciones

que queremos hallar. Además, cada cuadrante a su vez, se ha dividido en 3; donde hemos incluido las soluciones para cada factor a partir de las cantidades conocidas. Utilicemos la circunferencia con un ejemplo práctico.

Para las fiestas de Navidad usted desea hacer un arreglo para la casa con bombillas de colores; y para el caso, vienen varios interrogantes.

- ¿Qué tipo de bombillas se pueden emplear?
- ¿Qué corriente circula por cada una?
- ¿Qué resistencia tiene cada una?
- ¿Cuántas se pueden conectar?
- ¿Qué potencia consumen las bombillas instaladas?
- ¿Qué calibre de conductor se debe emplear para un buen funcionamiento?

Le ayudaremos a resolver estos interrogantes:

- Las bombillas de color comercialmente se compran de una potencia de 25 vatios para ser conectados a una tensión de 110 voltios.
- Para calcular la corriente en cada una, tenemos como valores conocidos:
 $V = 110V$
 $P = 25W$

Observemos la circunferencia, vamos al cuadrante de corriente (I) y busquemos la fórmula donde estén los valores conocidos y encontramos:

$$I = P / V$$

Reemplazando las letras por sus valores.
 $I = 25W / 110V = 0,227$ amperios.

Entonces, por cada bombilla circula una corriente de 0,227 amperios.

- Para calcular el valor de la resistencia de cada bombilla, tenemos como valores conocidos:
 $V = 110V$
 $P = 25W$
 $I = 0,227 A$

En la circunferencia, observamos en el cuadrante de resistencia (R) y buscamos las fórmulas:

$$R = V / I \quad \text{y} \quad R = V^2 / P$$

Cualquiera de las fórmulas que empleemos debe dar el mismo valor:

$$R = V / I = 110V / 0,227 A = 484\Omega$$

$$R = V^2 / P = (110V)^2 / 25W = 12.100 / 25 = 484\Omega$$

- El número de bombillas que se van a conectar depende de factores como: espacio donde se quieren instalar, costo de las mismas, etc. Tomemos como ejemplo la instalación de 50 bombillas.
- La potencia total consumida por las 50 bombillas es: $25W$ (de cada una) $\times 50 = 1.250W$
- Calibre del conductor: tomando como base $1.250W$ debemos calcular la corriente total que circula por el circuito. Utilizando la circunferencia, conocemos:

$$V = 110V$$

$$P = 1250W$$

Observamos el cuadrante de corriente (I) y la fórmula que incluye los valores conocidos es:

$$I = P / V \text{ Reemplazando los valores.}$$

$$I = 1.250W / 110V = 11,36 \text{ amperios}$$

Ahora nos apoyamos en la tabla de conductores que usted ya conoce. En la página No. 17 de la sección de componentes, en la columna de ampericidad se busca el valor más cercano a 11,36 amperios, es 15 amperios, que corresponde al No.14 en la columna de calibre del conductor. Con el siguiente diagrama le ayudamos a terminar su instalación navideña. **Figura 4.31**

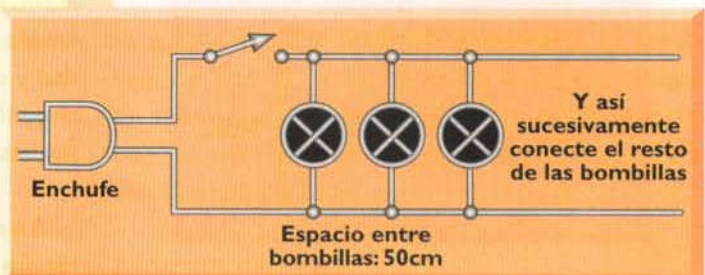


Figura 4.31. Circuito para instalación navideña