



Componente formativo

**Principios de circuitos eléctricos**

**Breve descripción:**

La electricidad es la más flexible y versátil de todas las formas de energía existentes. En el hogar la electricidad proporciona energía y comodidad en la refrigeración, la cocina, el televisor y muchos otros servicios. Conocer el concepto de circuito eléctrico y comprender la relación entre los parámetros fundamentales permitirá entender cómo funcionan las numerosas aplicaciones tanto domésticas como industriales que tiene la electricidad.

**Área ocupacional:**

Ciencias Naturales, aplicadas y relacionadas

---

**Junio 2023**

## Tabla de contenido

Introducción.....	4
1. Circuitos eléctricos.....	5
1.1. Circuitos en serie y paralelo.....	5
1.2. Ley de Ohm .....	8
1.3. Ley de Watt.....	10
1.4. Leyes de Kirchhoff .....	13
1.5. Respuesta transitoria circuitos de primer orden.....	18
1.6. Fasores.....	20
2. Potencia eléctrica.....	22
2.1. Potencia activa .....	22
2.2. Potencia reactiva .....	24
2.3. Potencia aparente.....	25
2.4. Factor de potencia .....	26
2.5. Facturas de energía eléctrica .....	27
3. Circuitos trifásicos.....	30
3.1. Conexión "Y".....	32
3.2. Conexión "Δ".....	36
3.3. Equivalente monofásico.....	42
4. “Software” de simulación de circuitos eléctricos .....	44
4.1. Biblioteca de componentes.....	45
4.2. Conexión de componentes .....	46

4.3. Parametrización de componentes .....	51
4.4. Visualización de resultados .....	52
Síntesis .....	55
Material complementario .....	56
Glosario .....	57
Referencias bibliográficas .....	59
Créditos .....	60

## Introducción

Para dar cuenta de las generalidades de este componente de formación consulte el siguiente video.

### Video 1. Principios de circuitos eléctricos



[Enlace de reproducción del video](#)

#### Video 1. Síntesis del video: Principios de circuitos eléctricos

La Electricidad es la más flexible y versátil de todas las formas de energía existentes, son numerosas las aplicaciones tanto domésticas como industriales de la electricidad, en el hogar proporciona energía y comodidad en la refrigeración, la cocina el televisor entre muchos otros, es la fuente que proporciona luz para las lámparas, calor para la calefacción y energía para los aparatos de televisión y radio.

Puede hacer que se encienda cualquier dispositivo eléctrico tan solo con oprimir un botón. ¿Sabe por qué se encienden los dispositivos? Para que funcione se necesita una trayectoria o un circuito eléctrico. En esta unidad se presenta el funcionamiento de un circuito eléctrico, configuraciones básicas y las leyes que lo rigen.

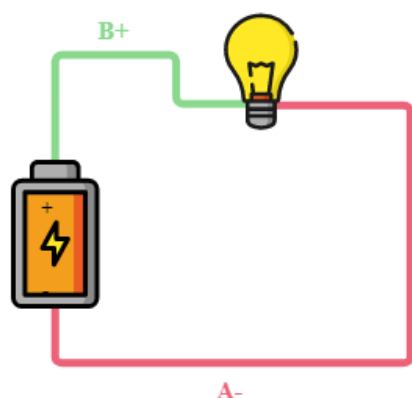
## 1. Circuitos eléctricos

Los circuitos son interconexiones de varios componentes eléctricos que permiten el flujo de la electricidad, cada uno se distingue según su configuración lográndose diferenciar entre circuitos en serie y paralelos o incluso el mixto. A su vez, hay leyes e información que se debe conocer a la hora de entender cómo funcionan los mismos, los cuales se abordarán a continuación.

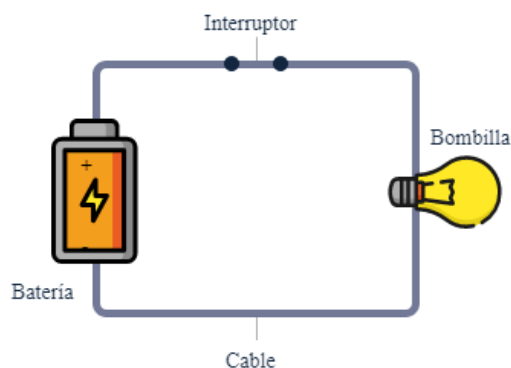
### 1.1. Circuitos en serie y paralelo

Como se observó un circuito eléctrico es la interconexión de dos o más componentes eléctricos; dichos componentes son básicamente los conductores por los cuales fluye la corriente, la fuente o generador y el receptor o elemento que actúa como resistencia.

**Figura 1.** Circuito eléctrico simple.



**Figura 2.** Diagrama circuito eléctrico simple.



Interruptor

Batería

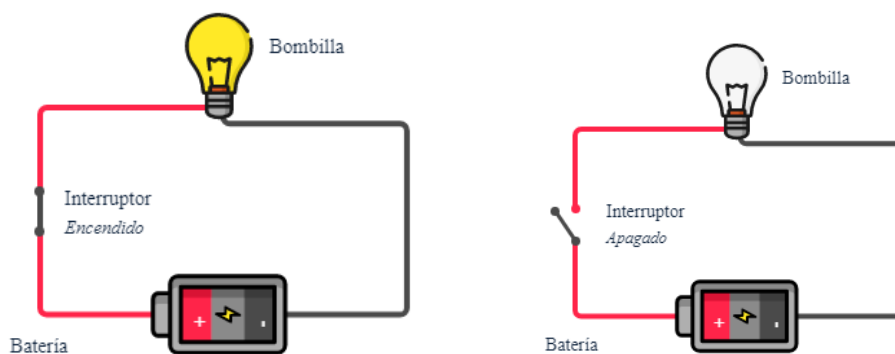
Cables

Bombilla.

Para que exista una corriente eléctrica se requiere la conexión entre la fuente y la resistencia formando así un circuito cerrado, por ejemplo, una bombilla conectada a una pila forma un circuito cerrado. La corriente va desde el terminal negativo (-), pasa por la lámpara, llega al borde positivo (+), continúa su recorrido por dentro de la pila desde este terminal positivo (+) hasta el terminal negativo (-).

Mientras esta trayectoria no esté interrumpida se trata de un circuito cerrado y la corriente fluye. Si se interrumpe el camino en cualquier punto no hay flujo de corriente eléctrica y se trata de un circuito abierto. En este caso la corriente eléctrica es igual a cero, esto es lo que sucede cuando se abre un interruptor "switch" o cuando se quema una de las cargas, todas las cargas dejarán de trabajar, pues no hay manera de que la corriente complete el circuito de regreso a la fuente.

**Figura 3.** Circuito eléctrico cerrado – abierto



Interruptor - encendido, batería y Bombilla.

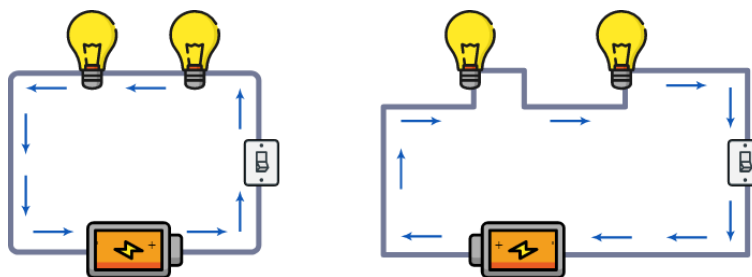
Interruptor - apagado, Batería y Bombilla.

Ahora, en un circuito eléctrico la resistencia también es conocida como carga eléctrica, la cual representa cualquier dispositivo eléctrico que se conecte a una fuente de voltaje. Por lo tanto, en un circuito puede haber más de una carga o resistencia y estas se pueden conectar de dos maneras: en serie y en paralelo. A continuación, se explican estos dos tipos de conexiones.

## Circuitos en serie

En un circuito en serie los aparatos receptores (cargas o resistencias) están conectados uno tras otro, de tal manera que existe solamente una trayectoria para los electrones. Esto hace que la misma corriente fluya a través de todas las resistencias; sin embargo, el voltaje se dividirá entre ellas. Así pues, al sumar los voltajes de todas las cargas, el resultado debe equivaler al voltaje de la fuente.

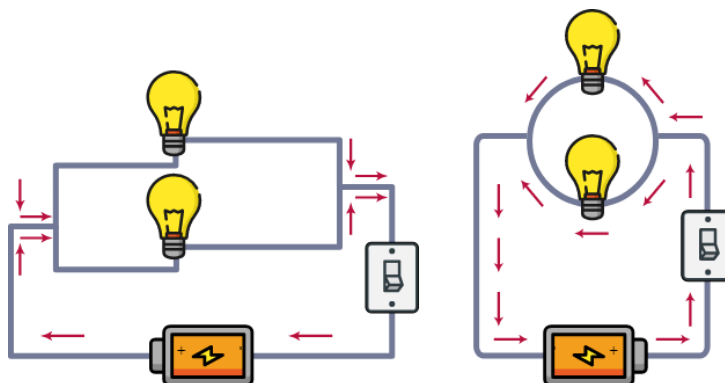
Un circuito en serie es de "todos o ninguno", en el que funciona todo o nada. Todos están familiarizados con las series de bombillos para el árbol de navidad, ejemplo clásico de este tipo de conexión. Cuando uno de ellos se funde se apagan todos los bombillos y cambiando el bombillo defectuoso se permite nuevamente el paso de la corriente por todo el circuito.



## Circuitos en paralelo

Cuando dos o más aparatos se conectan a una fuente de energía de tal manera que la corriente total se divide, circulando los electrones a través de cada aparato en una trayectoria separada, se dice que los aparatos (cargas o resistencias) están conectados en paralelo. Se caracteriza porque los extremos de las resistencias van unidos a un mismo punto y el voltaje es el mismo en todas ellas. Así pues, la suma de la corriente de cada resistencia es igual a la corriente que entrega la fuente.

Todo el mundo usa circuitos en paralelo. Las diferentes lámparas y aparatos eléctricos de una casa se conectan en paralelo para poder operar independientemente. Si los aparatos tienen que ponerse a funcionar y desconectarse por separado, sin afectar a otros, tienen que conectarse en paralelo.



## 1.2. Ley de Ohm

La Ley de Ohm muestra la relación entre la tensión (o voltaje), la corriente y la resistencia en un circuito eléctrico. (Mantilla Q., 1983, p. 21). Esta relación fue enunciada por el físico alemán Georg Simon Ohm (García Á., 2005), y establece que:

La diferencia de potencial (tensión) a través de una resistencia es directamente proporcional a la corriente que circula por la misma.

### Ley de Ohm

Conozca cómo se representa matemáticamente la ley de Ohm. Enlace Web. [Dando clic en este enlace.](#)

A continuación, se verán dos puntos importantes al hablar de la Ley de Ohm, su aplicación a los circuitos de serie y a los circuitos en paralelo:

### Ley de Ohm en los circuitos en serie

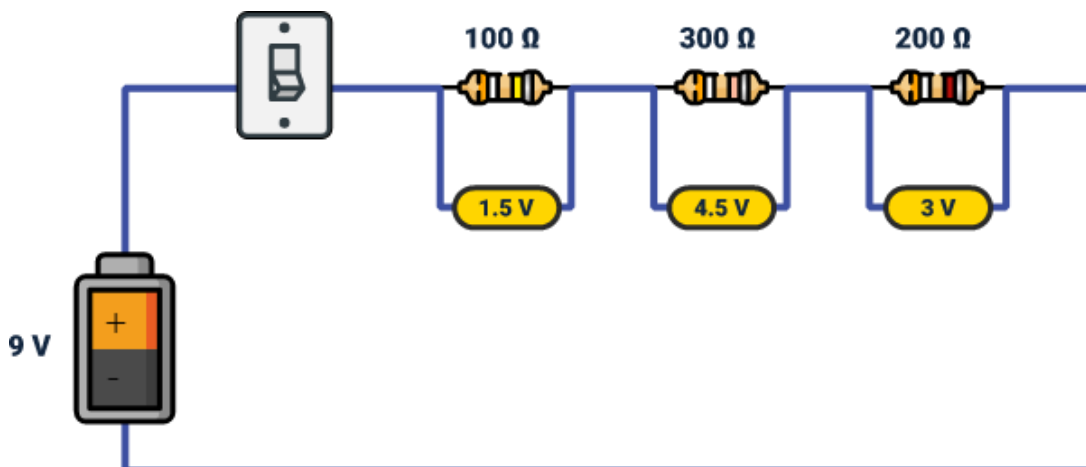
De acuerdo con la Ley de Ohm el voltaje en una resistencia es igual al producto de la corriente por la resistencia ( $V=IR$ ). La corriente del circuito depende del voltaje de la fuente y de la resistencia. En este caso, por tratarse de una conexión en serie de varias resistencias, con corriente constante, el voltaje en cada una de ellas depende del valor de su resistencia. Así pues, cuando hay varias resistencias en serie, el voltaje de la fuente se divide entre ellas. Entre mayor sea la resistencia mayor es el voltaje que le toca; se cumple que:



La suma de los voltajes individuales es igual al voltaje total aplicado a la línea.

La resistencia total del circuito en serie es la suma de las resistencias de todas las cargas.

En la siguiente imagen se tienen tres cargas de  $100\ \Omega$ ,  $300\ \Omega$  y  $200\ \Omega$  que han sido conectadas en serie:



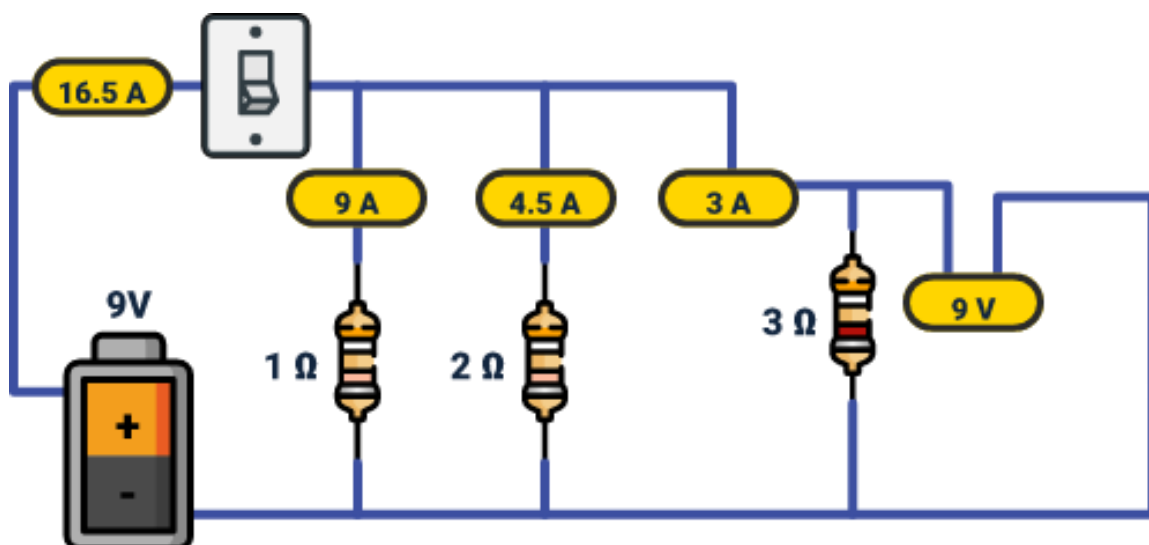
### Ley de Ohm en los circuitos paralelos

De acuerdo con la ley de Ohm el voltaje es igual al valor de la corriente multiplicada por la resistencia ( $V=IR$ ). La corriente en cada una de las resistencias es inversamente proporcional al valor de su resistencia. En este caso, hay varias resistencias en paralelo y el voltaje en ellas es el mismo, la corriente de la fuente se divide entre ellas y la suma de las corrientes individuales es igual a la que viene de la fuente.

A menor resistencia mayor corriente y a mayor resistencia menor corriente.

La corriente total en un circuito en paralelo es la suma de las corrientes individuales.

De acuerdo con la siguiente imagen la corriente total del circuito será entonces de  $9\text{ A} + 4.5\text{ A} + 3\text{ A} = 16.5\text{ A}$



### 1.3. Ley de Watt

James Watt realizó los trabajos que llevaron al establecimiento de los conceptos de potencia (Mantilla Q., 1985, p. 20), la cual indica que:

La potencia eléctrica suministrada por un receptor es directamente proporcional a la tensión de alimentación (U) del circuito y a la intensidad (I) que circule por él.

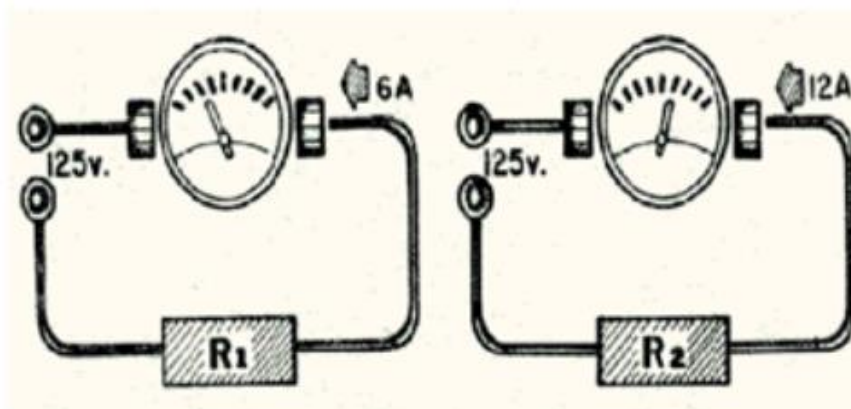
Matemáticamente se expresa como:

$$W = V \times I$$

En donde (W) Potencia en vatios | (V) Tensión en voltios | (I) Intensidad en amperios

Pues bien, suponga que tiene dos circuitos, cada uno con una resistencia R de diferente valor, conectada con un amperímetro o una fuente de tensión de 125 V, como se muestra en la siguiente figura.

**Figura 4.** Configuración de dos circuitos eléctricos con diferente valor de resistencia.



Nota. Tomado de Mantilla (1985).

En estas condiciones, el amperímetro del primer circuito marca 6 A, es decir, a través de la resistencia R1 ha pasado en un segundo una carga de 6 culombios. Se puede decir que en el primer circuito se ha realizado un trabajo de 6 culombios en un tiempo (t) de 1 segundo. Por otra parte, en el segundo circuito el amperímetro marca 12 A, es decir, en este circuito el trabajo es de 12 culombios en un tiempo (t) de 1 segundo.

Observe que en un mismo tiempo (t), de 1 segundo, en la resistencia del segundo circuito se ha realizado el doble del trabajo que se realiza en la resistencia del primer circuito. De manera que se puede decir que el segundo circuito es el de mayor potencia.

Se acaba de ver que, para una misma diferencia de potencial, la potencia de una resistencia se manifiesta por el consumo de amperios, a mayor intensidad, mayor potencia. Por otra parte, para una resistencia determinada, la intensidad variará al variar la tensión, aumentará cuando aumente la tensión y disminuirá cuando disminuya la tensión, por lo cual se deduce que:

$$\text{Potencia} = \text{Tensión} \times \text{Intensidad}$$

$$P = V \times I$$

La unidad de potencia empleada en electricidad es el vatio que se representa con la letra W, siendo su equivalente mecánico el julio por segundo.

Un vatio es la potencia de un receptor que consume 1 amperio cuando se le aplica una tensión de 1 voltio.

Ahora algunos ejemplos:

### Ejemplo 1

Una resistencia que consume 12 A cuando la tensión es de 100 V desarrolla una potencia de:

$$P = V \times I$$

$$P = 100 \text{ V} \times 12 \text{ A} = 1200 \text{ W}$$

### Ejemplo 2

Al suponer que se tiene un circuito en el que una tensión de 120 voltios impulsa una corriente de 1 A, ¿cuál es el valor de la potencia producida?

Se tiene:

$$V = 120 \text{ V}$$

$$I = 1 \text{ A}$$

$$P = ?$$

Aplicando la Ley de Watt se obtiene:

$$P = V \times I = (120 \text{ V}) \times (1 \text{ A}) = 120 \text{ W}$$

El valor de la potencia será de 120 vatios.

De la fórmula  $V \times I$  se puede deducir otras dos:

$$V = \frac{W}{I} \quad I = \frac{W}{V}$$

Estas fórmulas permiten la solución de muchos casos de índole práctico, por ejemplo:

Una lámpara tiene los siguientes datos en su placa de características  $V = 125 \text{ V}$  y  $P = 100 \text{ W}$

¿Cuál será el valor de la intensidad?

$$I = \frac{W}{V} = \frac{100 \text{ W}}{125 \text{ V}} = 0.8 \text{ A}$$

La intensidad será de 0.8 amperios.

#### 1.4. Leyes de Kirchhoff

Para analizar circuitos eléctricos no basta con aplicar la Ley de Ohm, es necesario utilizar otras herramientas para resolverlos completamente, como son las Leyes de Kirchhoff. Estas leyes permiten obtener los valores de intensidad de corriente en ramas de un circuito y potencial eléctricos en cada punto del circuito (McAllister, 2020). Reciben su nombre en honor al físico alemán Gustav Kirchhoff y son fundamentales para analizar y resolver circuitos eléctricos.

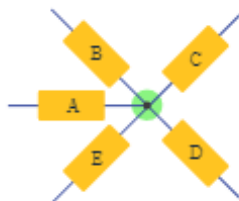
Para comenzar a usar las Leyes de Kirchhoff, se debe familiarizar primero con las siguientes definiciones. De acuerdo con (Vila Casado, 2008, 32):

##### Nodo

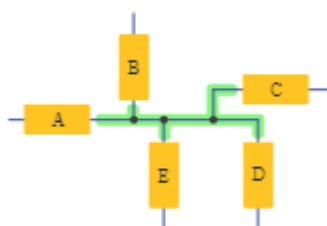
Es el punto donde se conectan dos o más elementos de un circuito.

En el esquema a se ve un nodo (punto negro) en el que se conectan cinco elementos (rectángulos anaranjados), el cual se puede representar también como se observa en el esquema b.

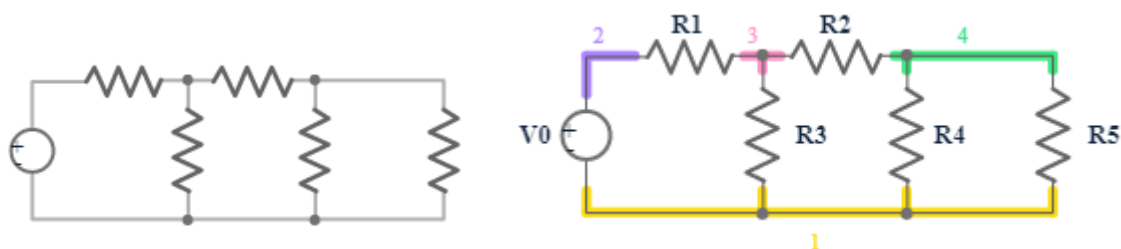
Esquema a



Esquema b



En circuitos eléctricos se va a encontrar con esquemas como el que se muestra a continuación, que consta de 4 nodos.



El **nodo 1** es la unión entre la fuente de voltaje,  $V_0$  y la parte inferior de  $R_3$ ,  $R_4$  y  $R_5$ .

El **nodo 2** es la unión entre la fuente de voltaje,  $V_0$  y el resistor  $R_1$ .

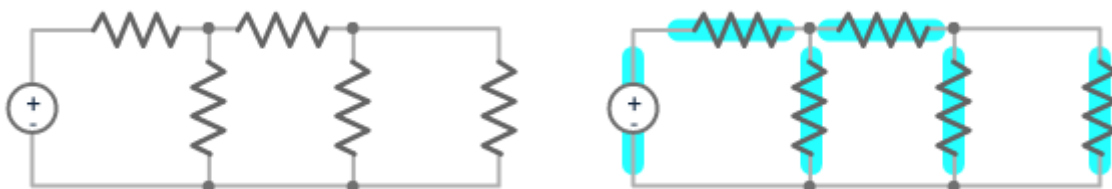
El **nodo 3** es la unión entre los resistores  $R_1$ ,  $R_2$  y  $R_3$ .

El **nodo 4** es la unión entre los resistores  $R_2$ ,  $R_4$  y  $R_5$ .

### Rama

Es el tramo de circuito eléctrico comprendido entre dos nodos consecutivos, es decir, las ramas son las conexiones entre los nodos y pueden ser elementos del circuito (resistor, capacitor, fuente, etc.).

¿Cuántas ramas hay en el siguiente esquema?

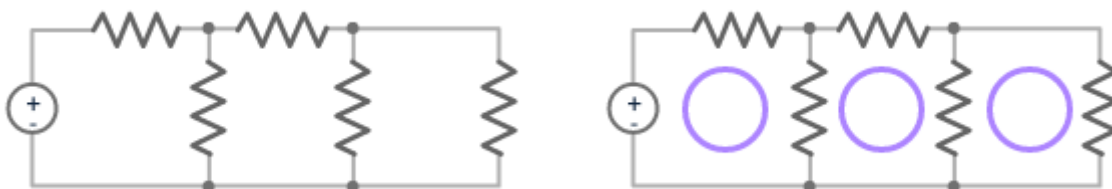


Hay 6 ramas en este circuito, una por cada elemento.

### Malla

Es un recorrido cerrado del circuito que resulta de recorrer el esquema eléctrico en un mismo sentido regresando al punto de partida, pero sin pasar dos veces por la misma rama.

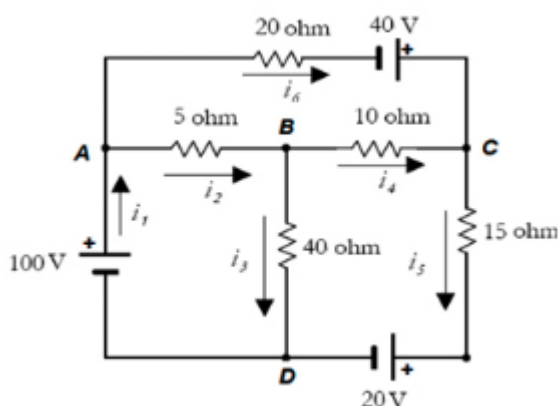
Por ejemplo, en el siguiente circuito tenemos 3 mallas.



### Ejemplo

A continuación, un ejemplo para repasar lo presentado. En la imagen se representa un circuito resistivo que tiene las siguientes características:

- a. 5 resistencias
- b. 3 fuentes de fuerza electromotriz
- c. 4 nudos
- d. 6 ramas
- e. 6 corrientes en rama
- f. 7 mallas



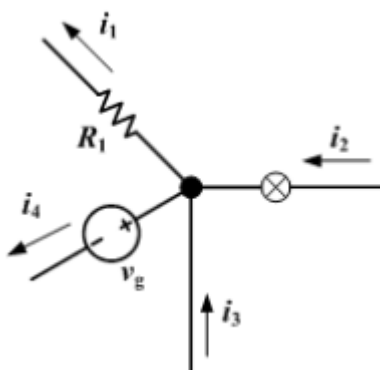
## Ley de la intensidad

También es llamada ley de nodos o primera Ley de Kirchhoff, que dicta:

“La suma algebraica de las corrientes que entran o salen de un nodo es igual a cero.”

(Vila C., 2008, p. 32)

De forma equivalente, la suma de todas las corrientes que entran a un nodo es igual a la suma de las corrientes que salen del nodo.



Matemáticamente esta ley se expresa de la siguiente manera:

$$\sum_{k=1}^n I_k = I_1 + I_2 + I_3 \dots + I_n = 0$$

Donde:



$n$ = Número de ramas conectadas al nodo.

$i_n$ =  $n$ -ésima corriente que entra o sale del nodo.

### Ley de tensiones

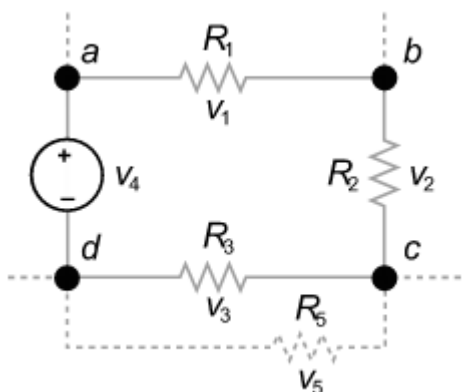
Esta ley es llamada también segunda Ley de Kirchhoff o ley de mallas de Kirchhoff.

Dicta que:

“La suma algebraica de las diferencias de potencial eléctrico (tensiones) en una malla es cero”

(Vila C., 2008, p. 32)

Un enunciado alternativo es: en una malla, la suma de todas las caídas de tensión (voltajes en las resistencias) es igual a la tensión total suministrada (suma de todas las fuerzas electromotrices).



Matemáticamente esta ley se expresa de la siguiente manera:

$$\sum_{k=1}^n V_k = V_1 + V_2 + V_3 \dots + V_n = 0$$

Donde:

$n$ = Número de tensiones presentes en la malla.

$i_n$ =  $n$ -ésima tensión en la malla

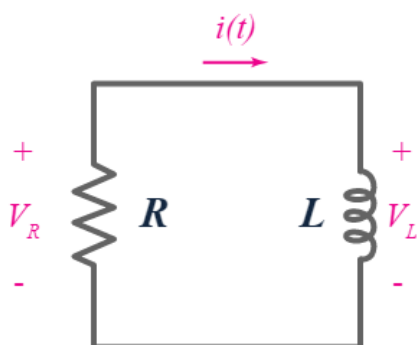
## 1.5. Respuesta transitoria circuitos de primer orden

Como se mencionó, las bobinas y los condensadores son elementos que no disipan potencia, ellos almacenan energía en el campo magnético, las bobinas y en el campo eléctrico, los condensadores.

Debido a esta energía almacenada es posible encontrar voltajes y corrientes en circuitos que contengan bobinas y/o condensadores sin estar conectados a ninguna fuente. A esta forma de respuesta se le conoce como respuesta natural o transitoria del circuito porque no depende de la fuente sino de la topología de conexión de los elementos acumuladores de energía. La forma más sencilla de respuesta natural se encuentra en los llamados circuitos de primer orden, que corresponden a circuitos que pueden ser reducidos a una resistencia en serie con una bobina (RL) o a una resistencia en serie con un condensador (RC).

Las gráficas que siguen fueron tomadas y adaptadas del texto “Análisis de circuitos en Ingeniería” de Hayt & Kemmerly.

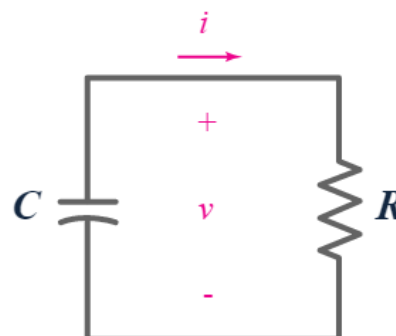
Circuitos de primer orden.



$$V_R + V_L = 0$$

$$Ri + L \frac{di}{dt} = 0$$

$$i(t) = Ae^{-\frac{R}{L}t}$$



$$iC + iR = 0$$

$$C \frac{dv}{dt} + \frac{v}{R} = 0$$

$$v(t) = Ae^{-\frac{t}{RC}}$$

$$V_R + V_L = 0$$

$$R_i + L \frac{di}{dt} = 0$$

$$i(t) = Ae^{-\frac{R}{L}t}$$

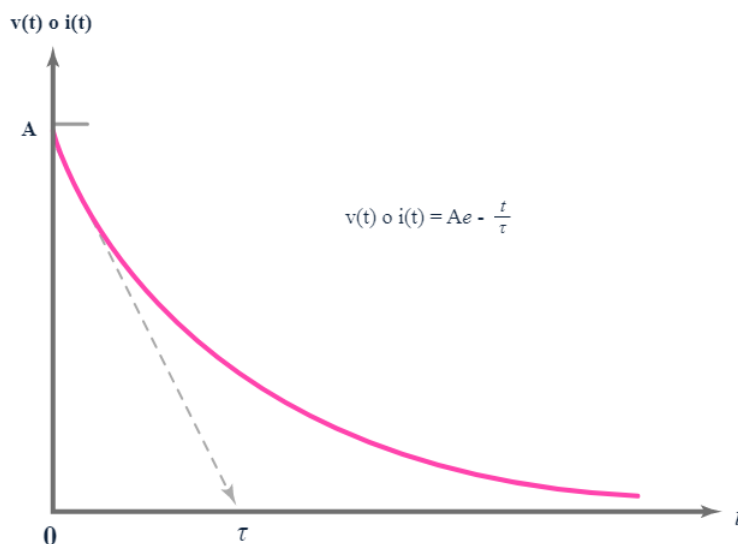
$$iC + iR = 0$$

$$C \frac{dv}{dt} + \frac{v}{R} = 0$$

$$v(t) = Ae^{-\frac{t}{RC}}$$

En ambos casos la forma de onda es una exponencial decreciente que tiende a cero como era de esperarse, ya que la energía almacenada en la bobina o condensador es una cantidad finita que termina siendo transformada en calor en la resistencia. La rapidez con que esta respuesta desaparece se denomina constante de tiempo del circuito ( $\tau$ ) y es igual a  $L/R$  y a  $RC$  respectivamente. El significado físico de  $\tau$  se puede observar en la gráfica:

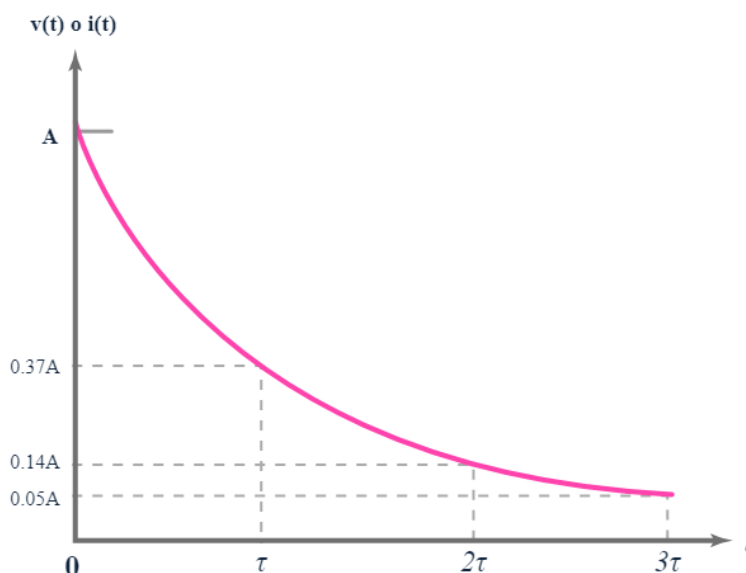
**Figura 5.** Significado físico de  $\tau$ .



$$v(t) \text{ o } i(t) = Ae^{-\frac{t}{\tau}}$$

La constante de tiempo del circuito es la rapidez de cambio del voltaje o corriente en  $t = 0$ . Si la forma de respuesta fuera lineal demoraría exactamente  $\tau$  segundos en caer a 0. También podemos evaluar el valor del voltaje o corriente para valores de tiempo múltiplos de  $\tau$  así:

**Figura 6.** Valor del voltaje o corriente para valores de tiempo múltiplos de  $\tau$



Como puede observarse en 3 constantes de tiempo la respuesta ya ha disminuido al 5% de su valor inicial y para 5 constantes de tiempo cae al 0.67% de su valor inicial. Por esta razón, se considera en la práctica que después de transcurridas 5 constantes de tiempo la respuesta transitoria ha desaparecido.

## 1.6. Fasores

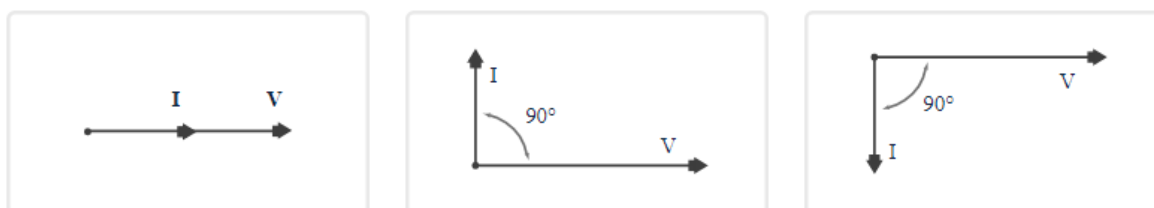
Antes de presentar el concepto fasores se debe primero recordar que un vector es una representación gráfica y matemática de una variable física; se compone de una magnitud y una dirección expresada, por lo general, de forma cuantitativa con un ángulo. Para los

circuitos eléctricos de corriente alterna, el voltaje y la corriente poseen características similares; para el voltaje y la corriente, en corriente continua por la naturaleza de las ondas al no presentarse oscilaciones, el ángulo de ellas es igual a cero.

En los circuitos eléctricos un fasor es una representación matemática de un vector que se utiliza para caracterizar las propiedades de amplitud y ángulo para una onda senoidal de voltaje o de corriente. Para efectos prácticos, el valor resultante de la diferencia (resta) de los ángulos entre el fasor de voltaje y corriente, están determinados por el tipo de carga o impedancia del circuito.

A continuación, se muestra la diferencia del ángulo entre el voltaje y la corriente para tres tipos de cargas diferentes:

**Figura 7.** Diferencia del ángulo entre el voltaje y la corriente para diferentes tipos de carga.



Carga Resistiva.

Carga Capacitiva.

Carga inductiva.

Como se puede observar, para el caso de una resistencia, la diferencia de fase entre el voltaje y la corriente es de cero, es decir, para una carga totalmente resistiva el voltaje y la corriente se encuentran en la misma fase.

Para el caso de una carga totalmente inductiva, la onda de corriente está “atrasada” 90 grados con respecto a la onda de voltaje, por lo tanto, la diferencia del ángulo entre el fasor del voltaje y el de corriente es de 90 grados en atraso.

Finalmente, para una carga totalmente capacitiva, la onda de corriente está “adelantada” 90 grados con respecto a la onda de voltaje, por lo tanto, la diferencia del ángulo entre el fasor de voltaje y el de corriente es de 90 grados en adelante.

En las instalaciones eléctricas reales en las que existe una combinación de cargas de diferente naturaleza (resistivas, inductivas y capacitivas) es muy poco probable que la diferencia de fase entre el ángulo de la onda de voltaje y la onda de corriente sea exactamente 90 grados. Por lo tanto, para determinar dicha diferencia se utilizan instrumentos de medida que permiten en tiempo real su cálculo; más adelante se mostrará la aplicación práctica de estos conceptos.

## **2. Potencia eléctrica**

La potencia o energía eléctrica que se mide en vatios (watts) es la velocidad con que la energía eléctrica es convertida en otra forma de energía.

En un molino de agua, entre más agua fluya, mayor será la velocidad de las vueltas del molino o entre mayor sea el torque (momento de torsión) ejercido por su eje, mayor será el trabajo que realiza en un tiempo determinado. Igualmente, entre mayor sea la potencia o energía eléctrica suministrada a un motor, medida en vatios, mayor será el trabajo que el motor realice en un determinado tiempo.

La potencia (P) o energía eléctrica, o sea, la tasa a la cual la energía eléctrica se convierte en otra forma de energía es, simplemente, la corriente (I) multiplicada por el voltaje (V). Un voltaje de un voltio, al impulsar una corriente de un amperio, produce un vatio de potencia.

$$(P) = (I) * (V)$$

### **2.1. Potencia activa**

Cuando se conecta un equipo o consumidor eléctrico a un circuito alimentado por una fuente de fuerza electromotriz (F.E.M) como puede ser una batería, la energía eléctrica que suministra fluye por el conductor, permitiendo que, por ejemplo, una bombilla de alumbrado transforme esa energía en luz y calor o un motor pueda mover una maquinaria, esta energía consumida se mide kWh. De acuerdo con la definición de la física, “la energía ni se crea ni se

destruye, se transforma”, en el caso de la energía eléctrica, esa transformación se manifiesta en la obtención de luz, calor, frío, movimiento o en otro trabajo útil que realice cualquier dispositivo conectado a un circuito eléctrico cerrado.

Cuando se tiene una carga resistiva conectada en un circuito eléctrico se le llama carga activa, y en este caso, cuando se conoce el valor de la tensión eléctrica y la corriente que circula por la resistencia. También se llama potencia media, real o verdadera, debido a los dispositivos resistivos, su unidad de medida es el vatio (W) y se calcula como:

$$P = V \cdot I \cdot \cos(\varphi)$$

Donde:

P Potencia (W)

V Voltaje (V)

I Intensidad de corriente (A)

$\Phi$  Ángulo Phi: es el ángulo de desfase entre la tensión y la intensidad.

Siendo  $\varphi$ :

$$\Phi = \arctang(X/R)$$

Donde X es la reactancia y R es la resistencia de la carga conectada, siendo la impedancia:

$$Z = R + jX$$

También puede obtenerse como:

$$P = R \cdot I^2 = V^2/R$$

En las cargas activas como la resistencia, lámparas de iluminación incandescentes o halógenas, calentadores eléctricos con resistencias de alambre nicromo (NiCr), el factor de potencia es igual a "1", que es el valor ideal de un circuito eléctrico y por eso en la fórmula normalmente no se ve, ya que toda cantidad multiplicada por uno queda igual.

## 2.2. Potencia reactiva

Para calcular la potencia en determinados equipos que trabajan con corriente alterna es necesario tener en cuenta el valor del factor de potencia que poseen. Es el caso de los equipos que trabajan con carga reactiva, que son consumidores de energía eléctrica que utilizan bobinas de alambre de cobre, por ejemplo, los motores. Estos equipos se llaman reactivos o inductivos, ya que tienen una inductancia en vez de una resistencia.

Los equipos que tienen cargas inductivas, como el caso de los motores eléctricos, tienen un factor de potencia inferior a "1", en general entre 0,8 y 0,98, por lo que la eficiencia de trabajo es menor y producen un gasto de energía mayor.

Por eso las compañías de electricidad multan a las empresas que tienen un factor de potencia bajo. Las empresas para evitar esas multas utilizan cargas capacitivas, que compensan a las cargas inductivas; se usan capacitores que aumentan el factor de potencia, tratando de llevarlo a valores cercanos a "1". También en las chapas de los motores está indicado el factor de potencia, además de la tensión de alimentación, la frecuencia, la corriente nominal, la potencia y la velocidad nominal.

En resumen, potencia reactiva (Q) es la potencia que necesitan las bobinas y los condensadores para generar campos magnéticos o eléctricos, que no se transforma en trabajo efectivo, sino que fluctúa por la red entre el generador y los receptores, su unidad de medida es el voltamperio reactivo (VAr). Para calcular la potencia de un equipo que trabaja con corriente alterna monofásica se tiene:

$$Q = V \cdot I \cdot \text{Sen}(\varphi)$$

También puede obtenerse como:

$$Q = X \cdot I^2 = V^2 / X$$

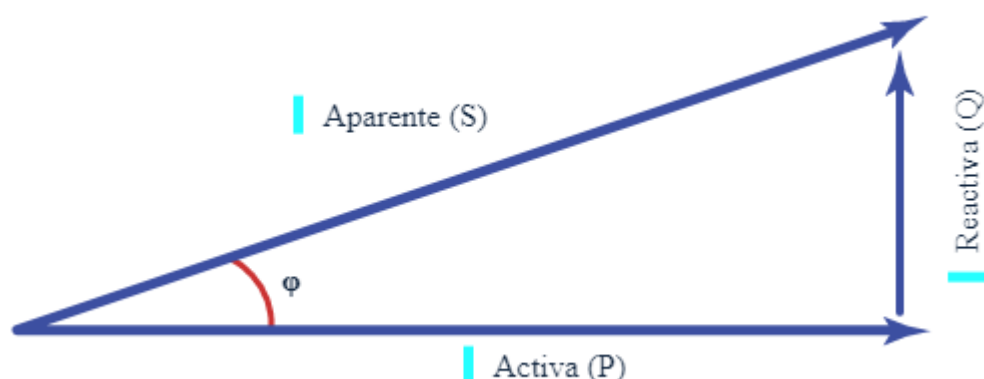
La potencia reactiva es positiva si el receptor es inductivo y negativa si el receptor es capacitivo, coincidiendo en signo con la parte imaginaria de la impedancia.



### 2.3. Potencia aparente

Es potencia compleja de un circuito eléctrico de corriente alterna, cuya magnitud se conoce como potencia aparente y se identifica con la letra S; es la suma vectorial de la potencia que disipa dicho circuito y se transforma en calor o trabajo, conocida como potencia promedio, activa o real, que se designa con la letra P y se mide en vatios (W) y la potencia utilizada para la formación de los campos eléctrico y magnético de sus componentes, que fluctúa entre estos componentes y la fuente de energía, conocida como potencia reactiva, que se identifica con la letra Q y se mide en voltamperios reactivos (VAR). Como se muestra en la figura 8.

**Figura 8.** Triángulo de potencias.



Aparente (S)

Activa (P)

Reactiva (Q)

Esto significa que la potencia aparente representa la potencia total desarrollada en un circuito con impedancia Z, su unidad de medida es el voltamperio (VA) y se calcula como:

$$S = V \cdot I$$

Al ser la suma vectorial de P y Q, que son los catetos de un triángulo rectángulo en el que S es la hipotenusa, según la figura 8, también puede calcularse como:

$$S = \sqrt{(P^2 + Q^2)}$$

Estas potencias se representan en el denominado triángulo de potencias que se ve en la figura 8; para comprender mejor dicho triángulo es conveniente partir del triángulo de impedancias de un circuito pasivo en serie, tomando como origen de fases la intensidad y multiplicando por la intensidad los tres lados del triángulo, obteniendo el triángulo de tensiones. Si se vuelve a multiplicar los tres lados del triángulo de tensiones por la intensidad se obtiene el triángulo de potencias.

#### 2.4. Factor de potencia

Es la razón entre la potencia real o activa y la potencia aparente, también es la razón entre la parte resistiva de la impedancia y la impedancia total.

Es un número adimensional que se obtiene al dividir la potencia activa entre la aparente. Un valor igual a la unidad indica que la tensión y la intensidad están en fase y, por tanto, no hay energía reactiva; su valor máximo es uno y cuanto más cerca esté de la unidad, más trabajo se puede producir para una determinada tensión e intensidad.

$$F_p = \frac{P}{S}$$

Cuando la impedancia de la carga no es puramente resistiva el factor de potencia es igual a 1, y hay una corriente fuera de fase en las líneas que no funciona. Esta corriente extra aumenta las pérdidas en la línea, por ello, se necesitan generadores y conductores más grandes para producirla y enviarla. Las compañías eléctricas a veces imponen un recargo por la corriente fuera de fase y los usuarios de la energía tratan de mantener el factor de potencia lo más cercano a 1, en lo posible.

El factor de potencia se puede leer directamente con un medidor de factor de potencia, también se puede calcular con las lecturas de los medidores de voltaje, corriente y energía, por ejemplo, si el medidor de vatios mostró que un motor consume 1920 vatios, pero el amperímetro y el voltímetro midieron 5 amperios a 480 voltios, el factor de potencia sería 0.8.

$$F_p = \frac{1920 \text{ W}}{(5 \text{ A} * 480 \text{ V})} = 0.8$$

La mayoría de las cargas reactivas en la industria son las bobinas, en las cuales la corriente va detrás del voltaje, con el fin de acercar más el factor de potencia se instalan capacitores de valor adecuado, en paralelo con los circuitos del motor; su reactancia capacitiva, en la que la corriente va adelante del voltaje, neutraliza la reactancia inductiva de las bobinas.

## **2.5. Facturas de energía eléctrica**

En la parte frontal de la factura se puede encontrar los valores totales a pagar por servicio de energía, impuesto de alumbrado público, aseo y otras empresas; la suma de cada uno de estos valores se denomina valor por pagar. Es importante tener en cuenta que ese valor total a pagar no corresponde solamente al servicio de energía.

Los demás ítems que se relacionan son aseo, alumbrado público y otros, todos ellos son conceptos no relacionados con el servicio de energía que presta la empresa en su predio, pero que por expresa disposición legal debe ser cobrado por medio de la factura de energía.

### **Impuesto de alumbrado público**

Es un impuesto cuyo recaudo se traslada al municipio donde se está brindando el servicio, la forma como se cobra y la tarifa monetaria es creada por el concejo municipal bajo acuerdos.

### **Servicio de aseo**

Es un concepto que cobra la empresa designada para este contrato, correspondiente al servicio de barrido y recolección de basura de la ciudad.

## Otros conceptos

Pertenece a valores cobrados por empresas o son entidades con las cuales el usuario ha adquirido créditos y financiaciones de cobro de servicios retrasados, este recaudo es trasladado a cada entidad.

## Controlar el consumo de energía

Es muy normal que entre un mes y otro existan diferencias moderadas de consumos, ya sea porque el número de días facturados sea menor o mayor al del mes anterior, o porque no siempre se usa con la misma frecuencia los electrodomésticos en el hogar, si se encuentra que la diferencia en consumo ha sido significativa y no ha tenido cambios en el uso habitual de sus electrodomésticos, como se muestra en la siguiente Imagen.



## Concepto de servicio de energía

Si el aumento significativo del valor de su factura corresponde al servicio de energía, al interior de la factura podrá encontrar la descripción de los valores facturados por este servicio. Normalmente el valor facturado por el servicio de energía puede aumentar por:

- a. Fugas internas de energía por deterioro de conductores, empalmes, interruptores, tomacorrientes, etc., situación que se debe corregir con un técnico electricista particular.
- b. Uso de electrodomésticos que tienen altos consumos en el hogar por kilovatios/hora (kWh), a raíz de su uso frecuente.
- c. Aumento en el costo del kWh.
- d. Financiación solicitada por el usuario por el servicio de energía.
- e. Financiación por cobro de medidores, mano de obra o normalización.
- f. Cobro de reconexiones por haberse suspendido el servicio el mes anterior.

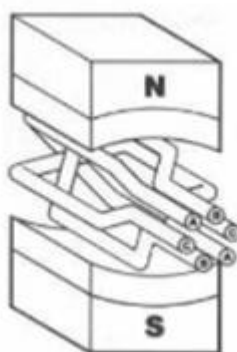
### **7 Tips para el uso eficiente de la energía**

- 01. **Televisor:** utilice la función de programación en su televisor para que se apague automáticamente cuando no lo esté utilizando.
- 02. **Bombillos:** cambie sus bombillos tradicionales por bombillas LED y ahorre más del 85% del consumo de energía correspondiente a la iluminación del hogar.
- 03. **Conectores:** desconecte los cargadores de los aparatos electrónicos de su hogar cuando no los utilice.
- 04. **Microondas:** utilice el microondas para calentar sus comidas, ya que este consume 50% menos energía que un horno convencional.
- 05. **Plancha:** mantenga limpia su plancha para que el calor pase de manera más eficiente y consuma menos energía.
- 06. **Lavadora:** cargue la lavadora a su máxima capacidad en cada lavada.
- 07. **Nevera:** asegúrese de que su nevera cierre bien, para que pueda conservar el frío en su interior.

### 3. Circuitos trifásicos

Es un sistema compuesto por una fuente de alimentación, como su nombre lo indica trifásica, además da cuenta de las líneas de alimentación y de una o varias cargas. Ahora, se profundizará en el tema:

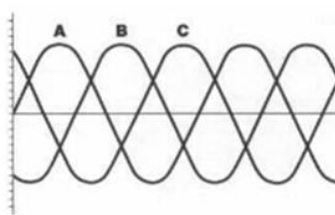
**Figura 9.** Generador trifásico.



Fuente: Repositorio SENA.

La mayor parte de la energía se distribuye en la forma de CA trifásica. En este caso, básicamente se tiene que, en vez de una sola bobina rotando dentro de un generador, existen tres bobinas, espaciadas entre sí 120 grados, como se puede ver en la figura 10.

**Figura 10.** señal trifásica.

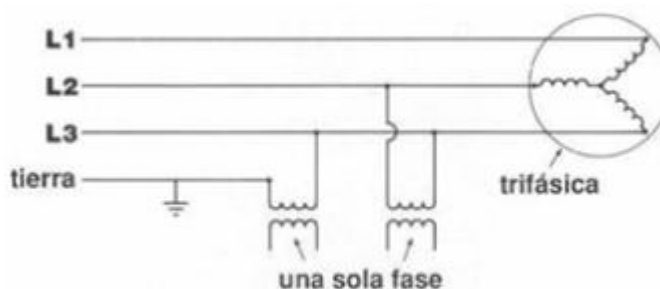


Fuente: Repositorio SENA.

Mientras las bobinas giran dentro del campo magnético se envía energía por tres líneas. Se originan, así, tres ondas sinusoidales de corriente y de voltaje, las cuales tienen

entre sí una diferencia de fase de 120 grados. Cada onda sinusoidal representa el voltaje o la corriente de una de las fases.

**Figura 11.** Líneas trifásicas.



Fuente: Repositorio SENA.

La electricidad trifásica energiza las grandes cargas industriales con más eficiencia, que la electricidad de una sola fase. Cuando se necesite electricidad de una sola fase, esta se encuentra disponible entre dos fases cualesquiera o, en algunos sistemas, entre una de las fases y tierra.

Todo equipo de energía eléctrica debe conectarse en forma correcta para evitar riesgos y daños. La energía trifásica conlleva más problemas potenciales, pues sencillamente hay más alambres que conectar: tres conductores de energía y algunas veces un conductor neutro conectado a tierra. Los transformadores trifásicos producirán diferentes voltajes de salida, dependiendo de la manera como estén conectados. Los motores trifásicos funcionan hacia atrás, si se invierte la secuencia de las fases y la inversión de la polaridad del voltaje puede ocasionar serios daños.

Para evitar estos problemas es necesario tener gran familiaridad con los circuitos trifásicos de suministro y, con la relación existente entre el voltaje y la corriente en ellos.

El sistema trifásico presenta una serie de ventajas como son la economía de sus líneas de transporte de energía (hilos de menor sección que en una línea monofásica equivalente) y de los transformadores utilizados, así como su elevado rendimiento de los

receptores, especialmente motores, a los que la línea trifásica alimenta con potencia constante.

### **Código de colores**

- a. El alambre neutro conectado a tierra siempre es blanco o gris.
- b. Los alambres energizados generalmente son blancos o rojos.
- c. Si se usa algún alambre para conectar a tierra es verde o sin aislar.

### **Magnitudes de fase**

Se denominan tensiones y corrientes de fase de un sistema trifásico de tres elementos, de tres generadores o tres cargas, a las tensiones que hay entre sus extremos y a las corrientes que circulan por cada uno de los tres elementos, respectivamente. Las magnitudes de fase dependen de la forma en que estén conectados los tres elementos de un sistema trifásico, estrella o triángulo, como se verá en los apartados siguientes.

Los valores eficaces de las tensiones y de las corrientes de fase en un sistema equilibrado se van a denominar  $V_F$  e  $I_F$ , respectivamente. En el caso de un sistema trifásico de impedancias, dado que estas magnitudes son las tensiones entre sus extremos y las corrientes que circulan por ellas, se guarda la Ley de Ohm entre las tensiones y corrientes de fase. Luego, trabajando con los módulos de estas magnitudes se obtiene que en un sistema equilibrado:

$$V_F = Z \cdot I_F$$

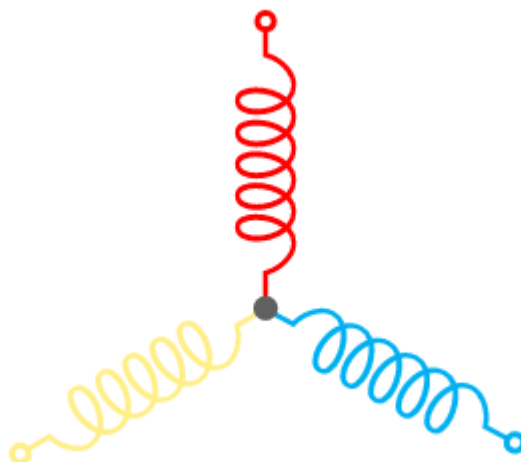
Además, entre la tensión y la corriente de una fase existe el desfase, idéntico al argumento de la impedancia ( $Z$ ), como sucede en los circuitos monofásicos. Evidentemente, en circuitos equilibrados este ángulo es el mismo en las tres fases.

### **3.1. Conexión "Y"**

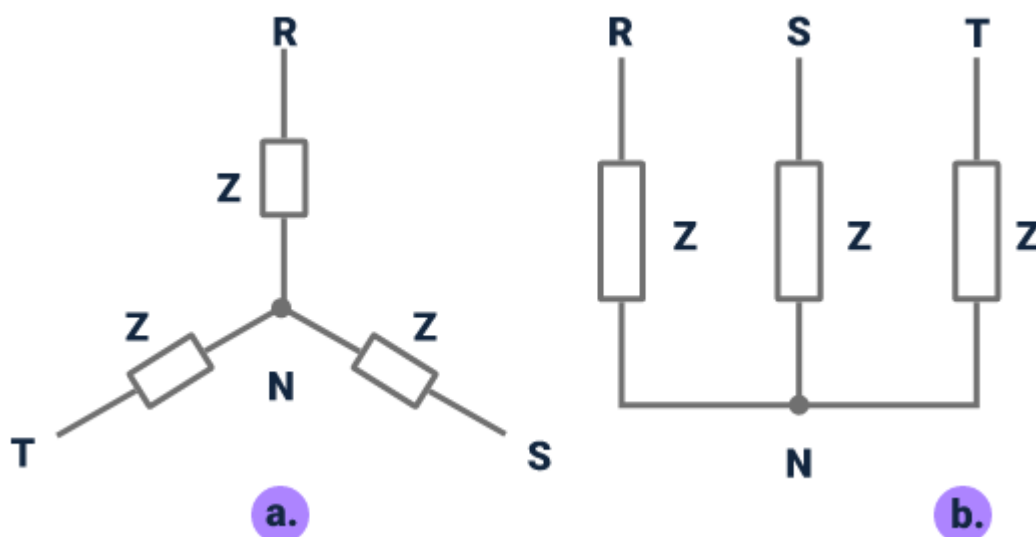
Para poder comprender una conexión "Y" se debe comprender lo indicado a continuación:



Se muestran tres impedancias iguales conectadas formando una estrella equilibrada. Ambas imágenes son equivalentes y son dos formas de representar la misma conexión.

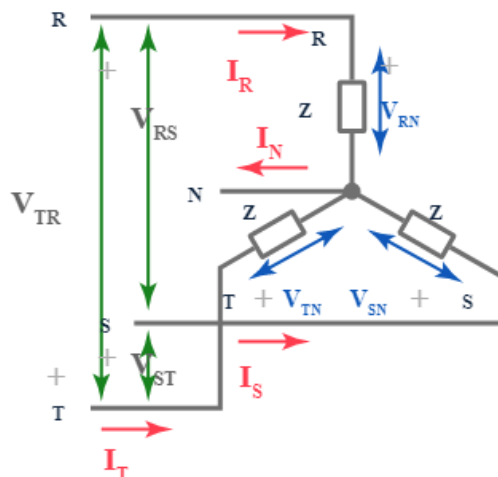


Conexión trifásica Y



Conexión de tres impedancias formando una estrella equilibrada.

El neutro de la estrella puede estar unido al conductor neutro de la red trifásica o estar aislado. En ambos casos el comportamiento de una estrella equilibrada es el mismo.



Tensiones y corrientes en una estrella equilibrada.

Como se puede apreciar en la imagen, cada fase de la estrella está sometida a la tensión fase-neutro y está recorrida por la corriente de línea correspondiente.

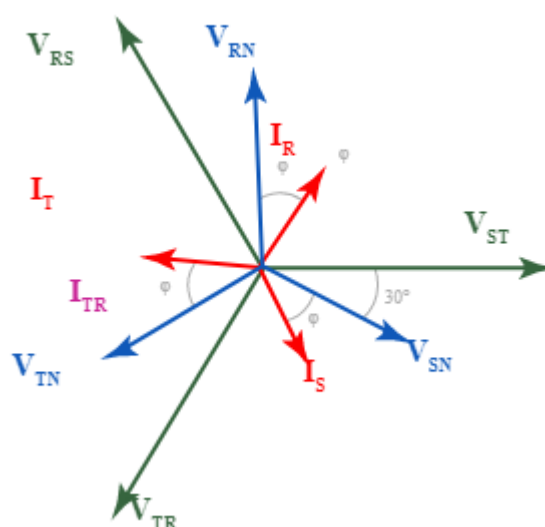
Estas son, pues, las magnitudes de fase en la estrella y, en consecuencia, se cumple que:

$$\text{Conexión estrella} \left\{ \begin{array}{l} V_F = V_{FN} = \frac{V_L}{\sqrt{3}} \\ I_F = I_L \end{array} \right.$$

Además, aplicando la Ley de Ohm, como en la relación de  $V_F$ , se deduce que:

$$\text{Conexión estrella } I_F = \frac{V_F}{Z} = \frac{V_{FN}}{Z} = \frac{V_L}{\sqrt{3}Z}$$

Si las impedancias tienen al ángulo como argumento ( $Z$ ), las corrientes de fase están desfasadas el mismo ángulo con respecto a sus respectivas tensiones de fase, de lo cual se obtiene el diagrama fasorial, en esta imagen se supone que es positivo (inductivo):



Si se mantiene, como hasta ahora, a  $V_{ST}$  como referencia del diagrama fasorial, como sucede en la imagen las corrientes de fase iguales a las corrientes de línea son:

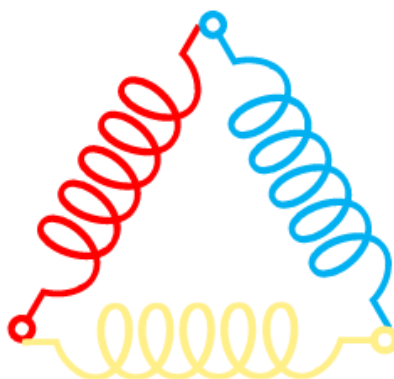
$$\begin{aligned} \bar{I}_R &= \frac{\bar{V}_{RN}}{\bar{Z}} \rightarrow \bar{I}_R = I_L \angle 90^\circ - \\ \text{Conexión estrella: } \bar{I}_S &= \frac{\bar{V}_{SN}}{\bar{Z}} \rightarrow \bar{I}_S = I_L \angle -30^\circ - & (I_L = I_F) \\ \bar{I}_T &= \frac{\bar{V}_{TN}}{\bar{Z}} \rightarrow \bar{I}_T = I_L \angle -150^\circ - \end{aligned}$$

Y, evidentemente, en una estrella equilibrada la corriente en el neutro es nula:

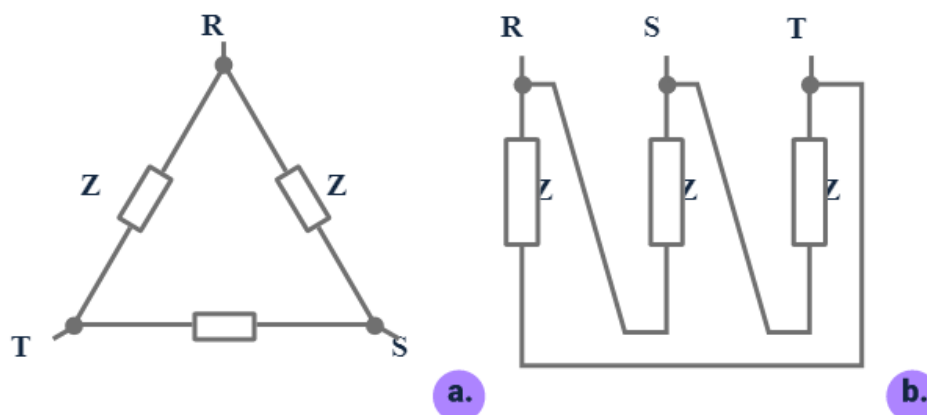
$$I_N = I_R + I_S + I_T = 0$$

### 3.2. Conexión " $\Delta$ "

Para poder comprender una conexión " $\Delta$ " se debe comprender lo indicado a continuación:

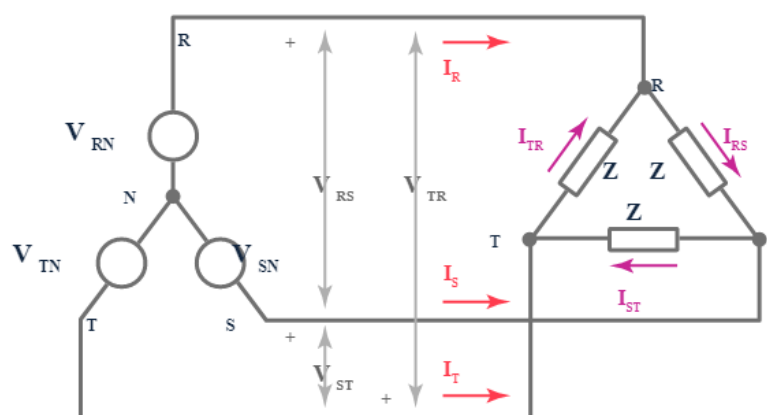


Además de la conexión estrella estudiada hasta ahora, en la que cada elemento de un sistema trifásico se conecta entre una fase y el neutro, existe también la conexión triángulo, que ya apareció en el estudio de la transformación de "Kennelly" en los circuitos monofásicos. En la conexión triángulo cada elemento de un sistema trifásico se conecta entre dos conductores de fase, por lo que en esta conexión no se utiliza el conductor neutro.



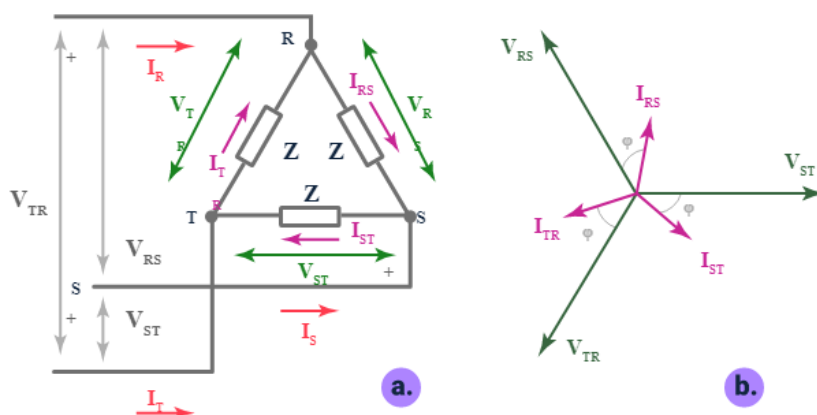
Conexión de tres impedancias formando un triángulo equilibrado

Así pues, en el caso de un sistema de tres impedancias la conexión triángulo se realiza como se muestra en la imagen. Ambas imágenes son equivalentes y son dos formas de representar la misma conexión que, al tratarse de impedancias iguales, se trata de un triángulo equilibrado.



Sistema trifásico equilibrado con los generadores conectados en estrella y las cargas en triángulo.

En la imagen se muestra una instalación trifásica donde ahora las impedancias se han conectado en triángulo, mientras que se ha mantenido la conexión estrella para los generadores.



Tensiones y corrientes de fase en un triángulo equilibrado

En la imagen se muestran las tensiones y corrientes para un triángulo de impedancias equilibrado. Se aprecia que las tensiones en bornes de las impedancias (tensiones de fase) son iguales a las tensiones fase-fase o tensiones de línea, pero las corrientes de fase, que son las que circulan por las impedancias ( $i_{RS}$ ,  $i_{ST}$  e  $i_{TR}$ ) son diferentes de las corrientes de línea ( $i_R$ ,  $i_S$  e  $i_T$ ).

En consecuencia, de momento se puede afirmar que los valores eficaces  $V_F$  e  $I_F$  de las tensiones y de las corrientes de fase, respectivamente, de un triángulo equilibrado cumplen lo siguiente:

$$V_F = V_L \quad I_F \neq I_L$$

Si las impedancias tienen al ángulo como argumento ( $Z$ ), debido a la Ley de Ohm las corrientes de fase están desfasadas el mismo ángulo con respecto a sus respectivas tensiones de fase, de lo cual se obtiene el diagrama fasorial de la imagen, en esta imagen se supone que el ángulo es positivo (inductivo). Luego, aplicando la Ley de Ohm a las magnitudes de fase y trabajando, como hasta ahora, con  $V_{ST}$  como referencia se obtiene que:

$$I_F = \frac{V_F}{Z} = \frac{V_L}{Z}$$

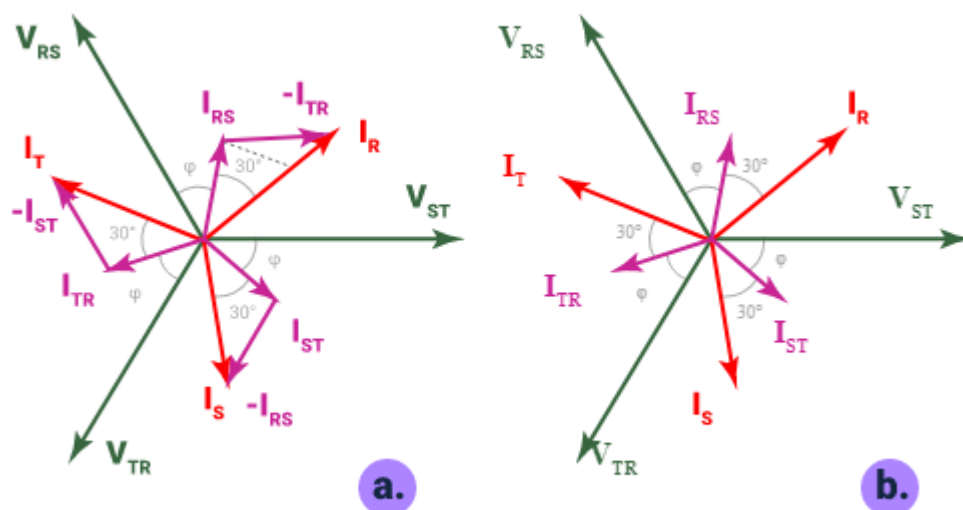
Conexión triángulo:

$$\bar{I}_{RS} = \frac{\bar{V}_{RS}}{Z} \rightarrow \bar{I}_{RS} = I_F \angle 120^\circ -$$

$$\bar{I}_{ST} = \frac{\bar{V}_{ST}}{Z} \rightarrow \bar{I}_{ST} = I_F \angle -$$

$$\bar{I}_{TR} = \frac{\bar{V}_{TR}}{Z} \rightarrow \bar{I}_{TR} = I_F \angle -120^\circ -$$

$$\bar{I}_{RS} + \bar{I}_{ST} + \bar{I}_{TR} = 0$$



Corrientes de fase y de línea en un triángulo equilibrado (se supone que es positivo)

Si se aplica el primer lema de Kirchhoff en nudo R del triángulo se obtiene que:

$$I_{TR} + I_R = I_{RS} \rightarrow I_R = I_{RS} - I_{TR}$$

Luego, operando de igual manera en los nudos S y T del triángulo se deducen las relaciones que permiten expresar las corrientes de línea ( $i_R$ ,  $i_S$  e  $i_T$ ) en función de las corrientes de fase ( $i_{RS}$ ,  $i_{ST}$  e  $i_{TR}$ ):

$$I_R = I_{RS} - I_{TR} \quad I_S = I_{ST} - I_{RS} \quad I_T = I_{TR} - I_{ST}$$

De la misma imagen anterior se muestran gráficamente las relaciones ( $I_R$ ,  $I_S$  e  $I_T$ ). Si se ve, por ejemplo, en la fase R se aprecia que los módulos  $I_F$  de  $i_{RS}$  e  $i_{ST}$  e  $I_L$  de  $i_R$  verifican lo siguiente:

$$\bar{I}_R = \bar{I}_{RS} - \bar{I}_{TR} \rightarrow I_L = 2 I_F \cos 30^\circ = \sqrt{3} I_F$$

$$I_L = \sqrt{3} I_F$$

Luego, se pueden completar las relaciones (  $V_F = V_L$  ,  $I_F \neq I_L$  ) y se escribe:

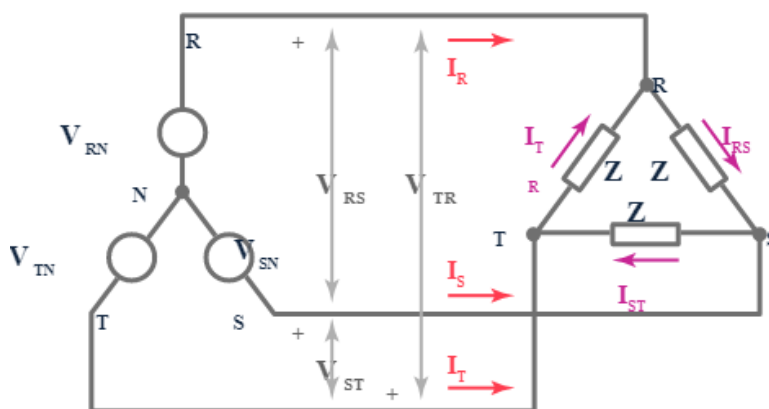
$$\text{Conexión triángulo} \begin{cases} V_F = V_L \\ I_F = \frac{I_L}{\sqrt{3}} \end{cases}$$

Además, también se aprecia que las corrientes de línea ( $i_R$ ,  $i_S$  e  $i_T$ ) están retrasadas  $30^\circ$  con respecto a sus correspondientes corrientes de fase ( $i_{RS}$ ,  $i_{ST}$  e  $i_{TR}$ ). Si se mantiene a  $V_{ST}$  como referencia, de las relaciones ( $i_{RS}$ ,  $i_{ST}$  e  $i_{TR}$ ) se obtienen las corrientes de línea, tal como se refleja.

$$\begin{aligned} \text{Conexión triángulo: } \bar{I}_R &= I_L \angle (120^\circ - ) - 30^\circ \rightarrow \bar{I}_R = I_L \angle 90^\circ - \\ \bar{I}_S &= I_L \angle ( - ) - 30^\circ \rightarrow \bar{I}_S = I_L \angle - 30^\circ - \\ \bar{I}_T &= I_L \angle ( - 120^\circ - ) - 30^\circ \rightarrow \bar{I}_T = I_L \angle - 150^\circ - \end{aligned}$$

Si bien en un triángulo no se utiliza el neutro, la red a la que está conectado sí puede tener neutro, bien porque los generadores están conectados como una de las imágenes anteriores y que se colocan a continuación, o porque exista otra carga equilibrada en estrella en paralelo con el triángulo.

Se sabe entonces que las tensiones simples o fase-neutro tienen un módulo  $\sqrt{3}$  menor que las tensiones de línea y están retrasadas  $30^\circ$  con respecto a estas.





Así, añadiendo las tensiones simples al diagrama visto y mostrado a continuación, se obtiene el representado en el diagrama fasorial de abajo.

$$\begin{array}{l} \text{Conexión triángulo: } \bar{I}_R = I_L \angle (120^\circ - ) - 30^\circ \rightarrow \bar{I}_R = I_L \angle 90^\circ - \\ \bar{I}_S = I_L \angle ( - ) - 30^\circ \rightarrow \bar{I}_S = I_L \angle - 30^\circ - \\ \bar{I}_T = I_L \angle ( - 120^\circ - ) - 30^\circ \rightarrow \bar{I}_T = I_L \angle - 150^\circ - \end{array}$$

En este diagrama fasorial se observa que las tensiones de línea, que en un triángulo son también las tensiones fase y las corrientes de fase forman el ángulo. Además, las tensiones simples están retrasadas  $30^\circ$  con respecto a las de línea y también sucede que las corrientes de línea se retrasan  $30^\circ$  con respecto a las corrientes de fase. De ahí, se observa en la imagen de la izquierda, que el ángulo entre una tensión fase-neutro y la corriente de línea correspondiente es también el ángulo.

En un triángulo equilibrado el ángulo es también el desfase entre una corriente de línea y la tensión fase-neutro correspondiente, al igual que sucede en la conexión estrella equilibrada (se supone que es positivo).

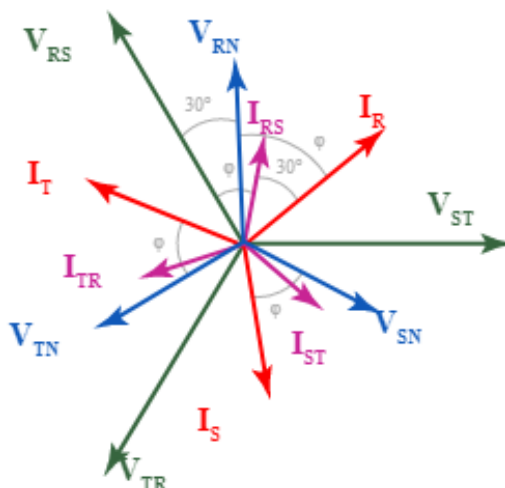


Diagrama fasorial de un triángulo equilibrado (se supone que es positivo).

Luego, se deduce que hay una regla general, válida tanto para la conexión triángulo como para la conexión estrella, que dice que el desfase entre una tensión simple o fase-neutro y su correspondiente corriente de línea es el ángulo. Por esta razón, si se examina la relación ( $I_R$ ,  $I_S$  e  $I_T$ ) obtenida para la conexión estrella, y la relación ( $I_R$ ,  $I_S$  e  $I_T$ ) obtenida para la conexión triángulo, se observa que en ambas los argumentos de las corrientes de línea son los mismos.

### **3.3. Equivalente monofásico**

En ingeniería eléctrica un sistema monofásico es un sistema de producción, distribución y consumo de energía eléctrica formado por una única corriente alterna o fase y por lo tanto, todo el voltaje varía de la misma forma. La distribución monofásica de la electricidad se suele usar cuando las cargas son principalmente de iluminación y de calefacción, y para pequeños motores eléctricos.

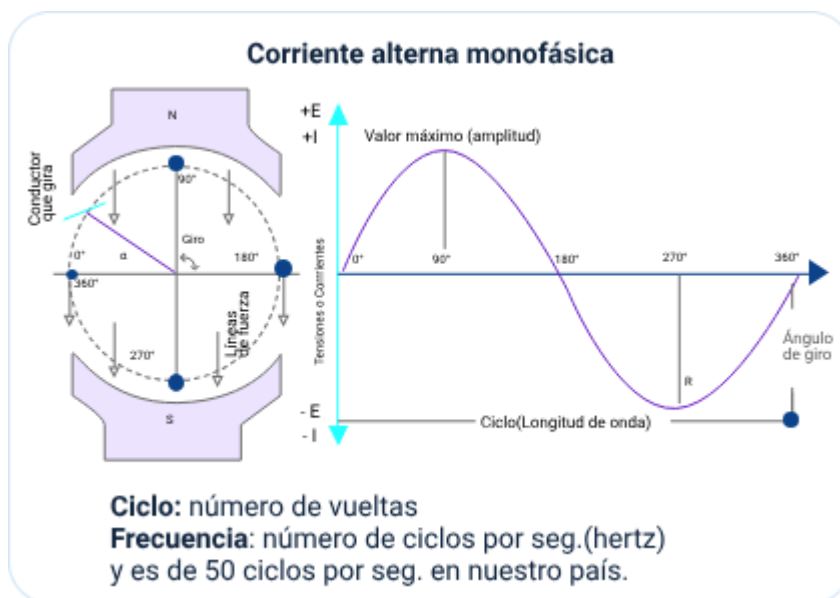
#### **Equivalente monofásico**

Un suministro monofásico conectado a un motor eléctrico de corriente alterna no producirá un campo magnético giratorio, por lo que los motores monofásicos necesitan circuitos adicionales para su arranque, y son poco usuales para potencias por encima de los 10 kW.

El voltaje y la frecuencia de esta corriente dependen del país o región, siendo 115 y 230 los valores más extendidos para el voltaje (siendo dominante el de 230, debido a la recarga de vehículos eléctricos) y 50 o 60 hercios para la frecuencia.

La corriente circula en un sentido u otro 50 veces por seg. y se denomina monofásica por que gira en un solo conductor o bobina.

**Figura 12.** Corriente alterna monofásica

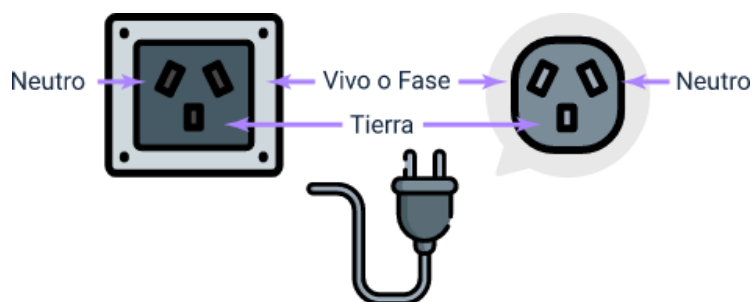


### Neutro y tierra

La corriente alterna que llega a los hogares es monofásica. En corriente monofásica existe una única señal de corriente, que se transmite por el cable de fase (R, color marrón) y retorna por el cable de neutro que cierra el circuito (N, color azul). El cable de tierra es siempre verde y amarillo.

El sistema monofásico usa una tensión de 230V entre fase y neutro. El neutro en realidad es un cable de potencial cero, esto es, que no tiene voltaje. Se debe recordar que el cable a tierra es un conductor, el cual está destinado a conducir la descarga a tierra de algún artefacto en mal estado o mal manejo de estos por parte del usuario.

**Figura 13.** Neutro y tierra.



#### **4. “Software” de simulación de circuitos eléctricos**

Es una herramienta de “software” utilizada por profesionales en el campo de la electricidad y por estudiantes de las carreras del área eléctrica y afines. Ayuda a crear algún circuito que se desee ensamblar, ayudando a entender mejor el mecanismo y a ubicar las fallas dentro del mismo, de manera sencilla y eficiente.

##### **Características generales**

Los simuladores de circuitos cuentan con múltiples herramientas que permiten realizar casi cualquier circuito, se puede instalar circuitería básica como resistores, condensadores, bobinas, relés mecánicos, interruptores, fuentes de voltaje AC y DC, fuentes de corrientes AC y DC, lámparas, entre otros; también se pueden usar semiconductores como diodos, tiristores, relés de estado sólido, entre otros. Igualmente, dispone de un ser de herramientas de medición como voltímetros, amperímetros, vatímetros y osciloscopios.

El diseño de este tipo de “software” lleva varios años y con ello cada vez se van mejorando sus características, haciéndolos más robustos y reales, uno de los primeros simuladores creados fue SPICE, desarrollado por “Donald Pederson” en la Universidad de California en “Berkeley” en 1975. El funcionamiento de este programa se basa en la línea de órdenes, las cuales no son tan fáciles de utilizar al momento de diseñar todo un circuito complejo y el usuario debe tener un conocimiento correcto sobre cómo utilizar las instrucciones correctas; sin embargo, SPICE es fundamental para otros programas con mayor interactividad con el usuario, tales como Orégano o GEDA.

En la actualidad, existen cada vez más programas dedicados al diseño asistido por computadora o CAD (“Computer-Aided Design”) para diferentes áreas de desarrollo, y la electrónica no podía quedarse atrás. Dentro de este contexto, en los últimos años han surgido gran cantidad de programas orientados a los expertos en electrónica para ayudarlos en el diseño de circuitos.

Los programas tipo CAD enfocados en la electrónica en general tienen las siguientes características: dibujo de diagramas de circuitos, simulación de circuitos electrónicos y

diseño de circuitos impresos (PCB). Algunos poseen solo una de estas características, pero otros pueden realizar las tres en un único paquete.

## **Ventajas**

Utilizar un simulador de circuitos le permite al ingeniero eléctrico o de carrera afín hacer pruebas sin correr el riesgo de dañar algún circuito, si eso llegase a ocurrir, implicaría mayor gasto de material.

Cuando un circuito trabaje correctamente en el simulador será más fácil armarlo, y se puede tener la seguridad de que el circuito funcionará correctamente. Con el simulador se puede hallar de manera más fácil los errores y problemas que surgen a la hora de ensamblar los circuitos eléctricos, con algunas herramientas que los programas ya cuentan como, por ejemplo, multímetros, generadores de voltaje u osciloscopios.

Algunos programas cuentan con diferentes vistas al circuito que se está armando. Se puede observar como si se estuviera conectando realmente o como un diagrama de conexiones.

## **Desventajas**

Algunos simuladores de circuitos no están lo suficientemente actualizados, y no cuentan con todos los chips del mercado, y eso sería un contratiempo para el diseñador, ya que deberá darse a la tarea de fabricar su propio semiconductor. Cuando no se sabe cómo manejar el programa de simulación, genera retrasos en los diseños, se debe estudiar de manera completa todos los componentes y opciones que tiene el programa, para poder realizar el trabajo de manera correcta.

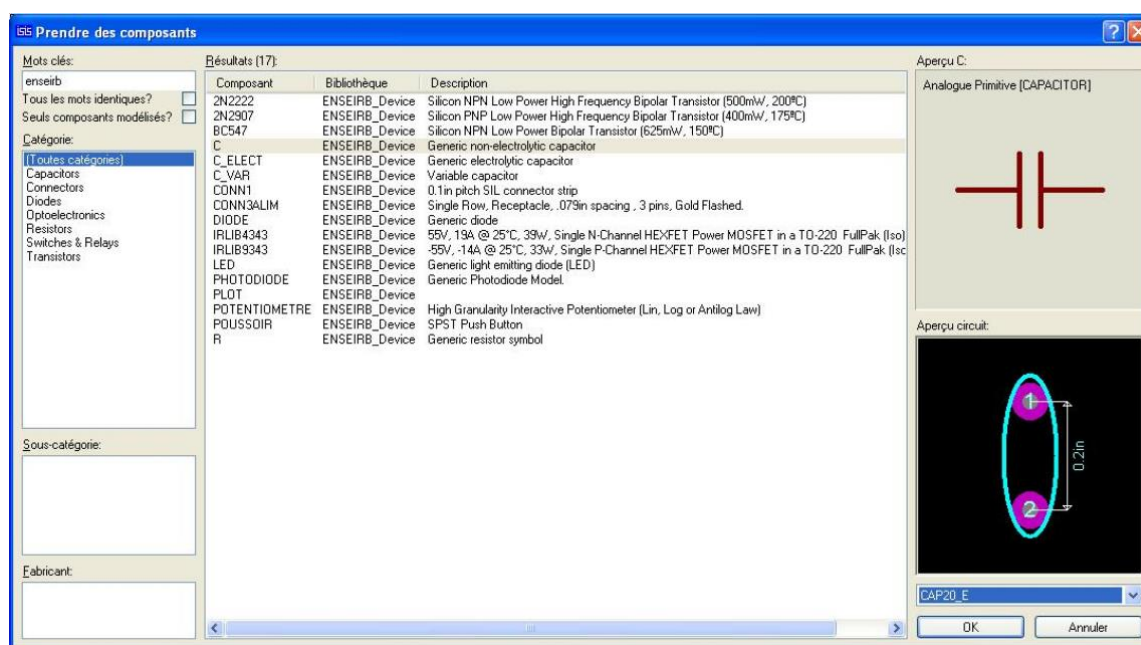
### **4.1. Biblioteca de componentes**

Es la parte dentro del programa de simulación donde se eligen los componentes de las librerías o elegir los componentes que formarán los circuitos eléctricos.

Para seleccionar los componentes se debe estar en el modo donde se habiliten las funciones de esta opción, para lo cual, simplemente, se presiona un botón o algo por el estilo en la barra de herramientas del “software”.

Cuando se acude a la biblioteca se observa algo como una ventana para la selección de objetos, allí se puede apreciar el nombre y una breve descripción de cada uno de los componentes contenidos. El aspecto visual de esto difiere dependiendo del “software” de simulación, en algunas es muy simple y los componentes se aprecian a simple vista, pero cuando la aplicación es muy robusta trae una gran variedad de componentes, lo que conlleva a agruparlos por categorías, lo que hace necesario brindar opciones para que se pueda navegar por las librerías de componentes para elegir los que formarán el diseño y también es posible hacer una búsqueda concreta. Un ejemplo de esto se puede apreciar a continuación:

**Figura 14.** Biblioteca de componentes.



Fuente: SENA

## 4.2. Conexión de componentes

Después de haber aprendido cómo buscar y escoger los componentes dentro de la biblioteca es fundamental saber cómo se realizan las conexiones entre ellos dentro de un circuito. Para realizar las conexiones se debe estar en un modo donde se habiliten las herramientas de conexión, aunque en algunos simuladores es posible efectuarlas desde

otros modos también. En el siguiente paso a paso se conocerá en detalle cómo es el procedimiento para conectar componentes.

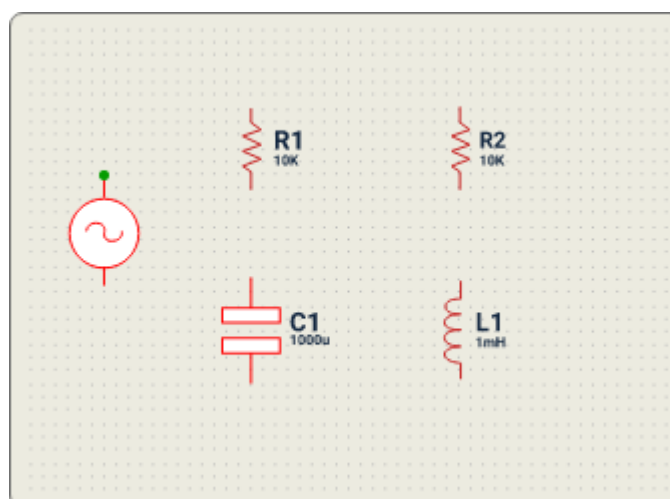
### Paso 1



Componentes escogidos ya ubicados en el área de trabajo.

Para comenzar debe tener ubicados algunos componentes en la ventana de diseño, como, por ejemplo, una fuente de voltaje alterno, un capacitor, una bobina y un par de resistores.

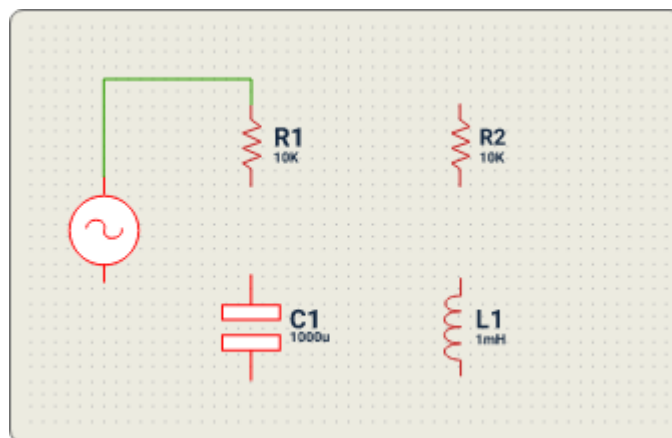
### Paso 2



Lugar correcto de conexión de componente inicial.

Luego, entre en el modo donde se habiliten las herramientas de conexión. Coloque el cursor en la punta de la terminal de la fuente de poder AC; observe que el cursor toma la forma de un lápiz de color verde y aparece un cuadro de color rojo en la terminal, lo cual indica que está en el lugar correcto para hacer una conexión.

### Paso 3



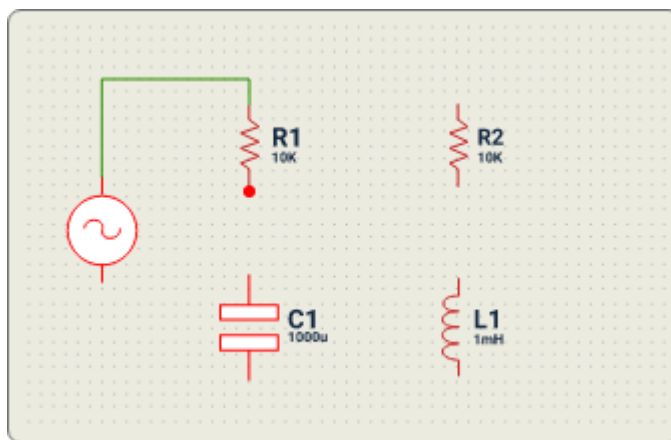
Lugar correcto de conexión de componente final.

Haga un clic en ese lugar y desplace el cursor del “mouse” hacia la terminal donde se hará la conexión, en este caso, una terminal de una de las resistencias R1. Al llegar a la terminal de la resistencia, el cursor volverá a tomar la forma de un lápiz verde, y un pequeño cuadro rojo indicará que se puede hacer la conexión. Haga un “clic” y la conexión quedará hecha.

### Paso 4

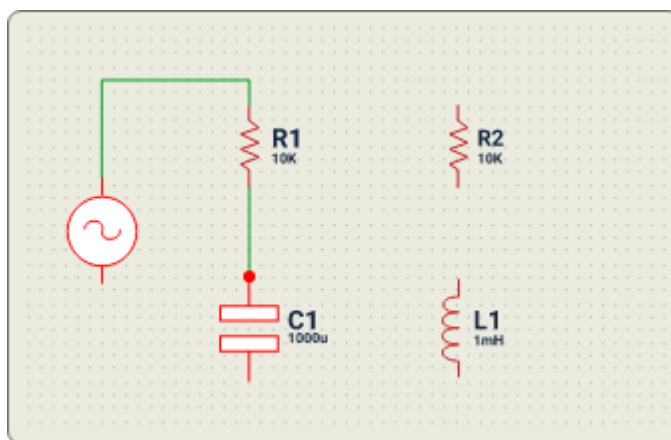
Para hacer la conexión entre el otro terminal de la resistencia R1 y un terminal del capacitor C1, lleve el cursor a la terminal de la resistencia R1 (también puede empezar por la terminal del capacitor, si lo desea).





Lugar correcto de conexión de R1 y C1.

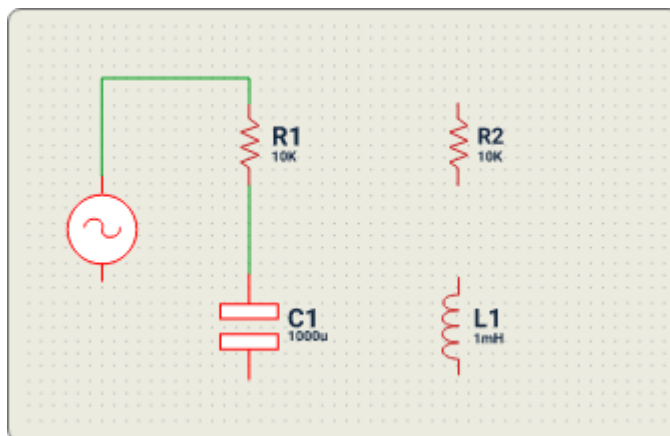
### Paso 5



Conexión de R1 y C1.

Haga un clic para comenzar la conexión y desplace hacia abajo, hasta la terminal del capacitor C1. Puede hacer un clic en ese punto para indicar un cambio de dirección o trasladar la conexión directamente a la terminal del capacitor, y el simulador calculará automáticamente la trayectoria de la conexión.

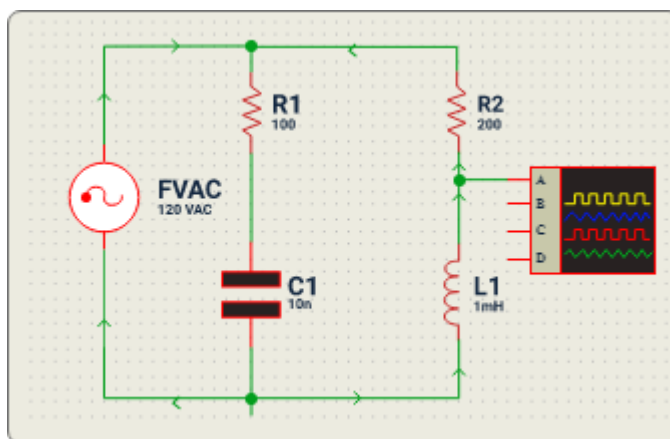
## Paso 6



Conexión de R1 y C1.

Al alcanzar la terminal del resistor, haga un “clic”, y la conexión quedará completa.

## Paso 7



Fin de Conexión de componentes.

Como se puede notar, hacer conexiones en los simuladores de circuitos eléctricos es simple y rápido. Se puede hacer así las conexiones entre las terminales de los componentes, y también es posible llevar las conexiones de una terminal a una línea de conexión ya existente o de una línea a otra.

Para conectar los demás componentes repetir los pasos anteriores y finalmente muestra cómo queda el circuito totalmente conexionado.

## **Mover y borrar conexiones**

Después de realizar las conexiones se pueden mover para ajustarlas y así mantener el diseño ordenado. Para esto, seleccione la línea de conexión por modificar, esta quedará en rojo; si se pone el cursor sobre ella, este cambiará de forma.

Haga clic sobre la línea seleccionada y arrastre el cursor en la dirección deseada sin soltarlo, a la izquierda o derecha para un segmento vertical, hacia arriba o abajo para uno horizontal, o en cualquier dirección si es una esquina de la conexión. Suelte el botón del mouse para que la línea o la esquina tomen su nueva posición. Mediante este sencillo procedimiento se reorganizan las conexiones para que todo quede ordenado como se quiere, también es posible seleccionar más de una línea de conexión a la vez y moverlas juntas para acelerar la tarea.

### **4.3. Parametrización de componentes**

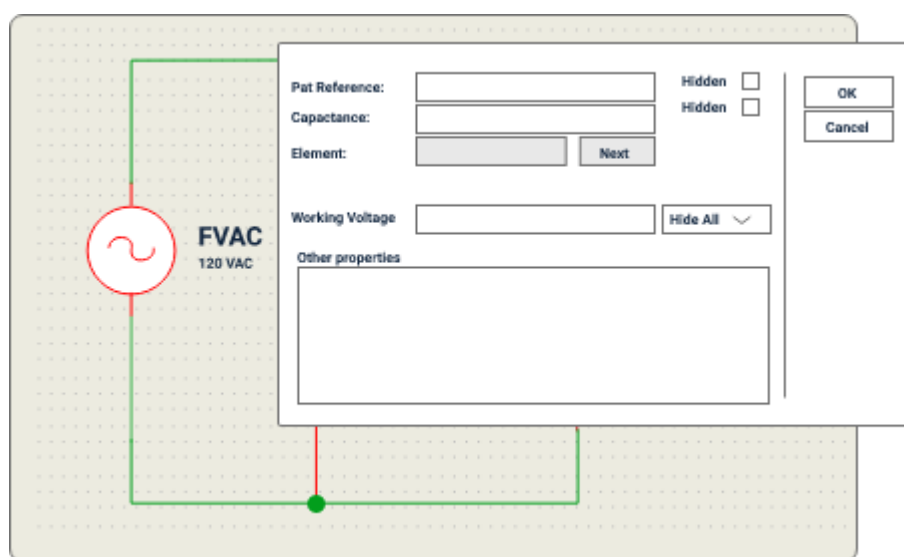
Las propiedades de los diferentes componentes presentan un formato donde se editan o ajustan sus valores, aunque los campos dependen de cada simulador y de los componentes en particular. Algunos podrán tener más elementos y más variables, en los cuales es posible definir parámetros como resistencia, capacitancia, voltajes, tolerancias, tiempos, frecuencias, inductancias, entre otros; conforme se vayan utilizando algunos de los componentes se va aprendiendo a cómo manejar sus propiedades en cada caso.

La mayoría de estas propiedades serán útiles al momento de realizar la simulación del circuito, ya que definen los valores y los parámetros de funcionamiento del componente. Algunas otras propiedades se utilizan solo para etiquetar los componentes dentro del circuito, por ejemplo, la referencia que se mostrará en el diagrama para identificar al componente dentro de él.

Ahora que se sabe cómo editar las propiedades de los componentes se presenta un ejemplo de un oscilador. Al dibujar el oscilador por primera vez se dejan los valores por defecto del resistor y del capacitor  $R = 10 \text{ kohm}$  y  $C = 1 \text{ nF}$ . Con estos valores, el oscilador generará una señal de aproximadamente 120 kHz, lo cual es muy alto y no se puede apreciar

en detalle, entonces, para lograr una mejor visualización se cambiarán los valores a  $R = 15 \text{ kohm}$  y  $C = 47\mu\text{F}$ ; con esto el oscilador tendrá una frecuencia aproximada de 1 Hz y se podrá ver su funcionamiento con más claridad al correr la simulación. De manera que se puede realizar este circuito como práctica y analizar los resultados, como se muestra a continuación:

**Figura 15.** Parametrización de componentes.



Fuente: SENA

#### 4.4. Visualización de resultados

Se puede observar mejor el funcionamiento de los circuitos cambiando algunas opciones de animación, para hacerlo, buscar en el simulador la ubicación de la configuración de las animaciones y visualizaciones del simulador. Se abrirá el cuadro de diálogo de “Animated Circuits Configuration” con dos secciones principales, velocidad de simulación para controlar está en el circuito a simular y opciones de simulación para configurar la forma en que se verá la simulación.

Las opciones de velocidad y de animación permiten ver la simulación de diferentes maneras, siguiendo algunas recomendaciones. Las opciones “Frames per Second” y “Timestep per Frame” determinan la velocidad de animación del circuito; los valores por

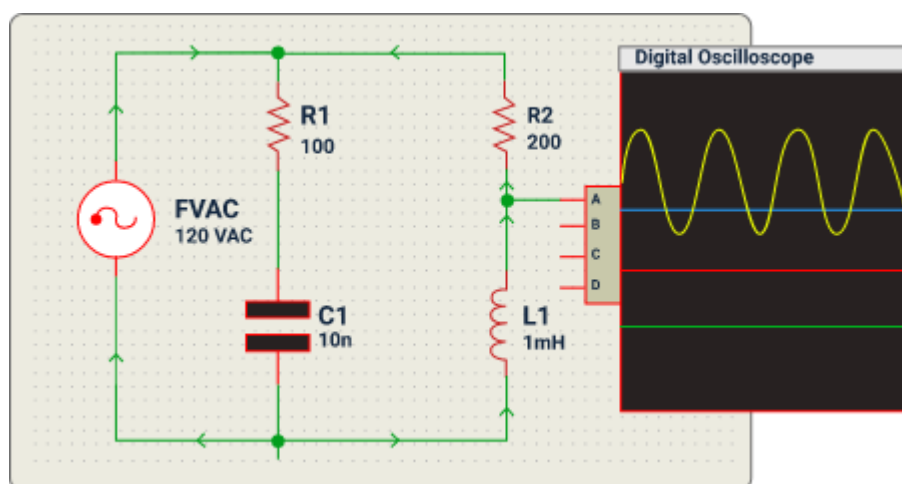
defecto son 20 y 50 m, respectivamente, entonces, si se multiplica 20 cuadros cada segundo, por 50 milisegundos de cada cuadro, se obtiene un tiempo exacto de un segundo, lo cual indica que la simulación correrá en tiempo real.

Si se quiere mantener esta velocidad real se debe asegurar que la multiplicación de estos campos arroje un resultado de un segundo; por ejemplo, para 50 cuadros por segundo se tiene que ingresar un tiempo por cuadro de 20 milisegundos (20 ms). Se puede variar estos valores para acelerar o ralentizar la simulación; si se coloca una combinación de 20 por 100 ms, por ejemplo, el resultado será 2 segundos, de modo que, por cada segundo transcurrido, en la simulación habrán pasado 2 segundos, y de esta forma se habrá acelerado el proceso al doble de la velocidad real.

Al acelerar la simulación los eventos pasarán más rápido y, por el contrario, al hacer más lenta la simulación se podrá ver el funcionamiento con mayor lentitud. Para las opciones de visualización de voltajes y corrientes, los voltajes se representan normalmente con variaciones de color de la siguiente forma:

Los voltajes positivos en rojo, tierra en verde y los voltajes negativos en azul. Esto puede ser diferente en uno que otro simulador, como se muestra en la siguiente figura.

**Figura 16.** Animación de la simulación.



Fuente: SENA

## Visualización de parámetros instantáneos

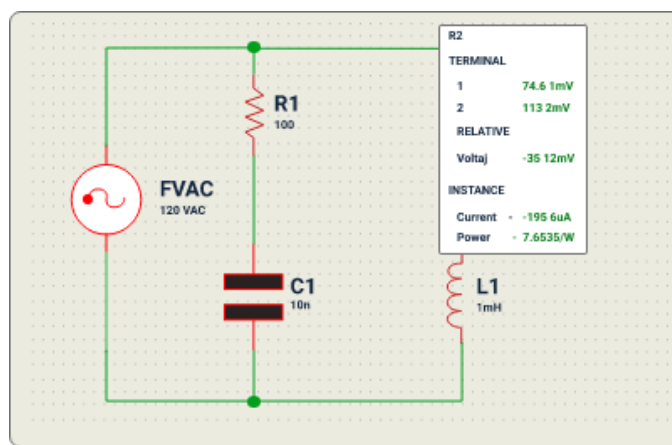
Durante cualquier simulación se puede realizar pausas y ejecutar una simulación paso a paso que está en la mayoría de los simuladores. En algunos simuladores mientras la simulación permanezca en este estado y se lleve el cursor del mouse sobre cualquier componente, este tomará la forma de una mano. Al hacer un clic sobre cualquier componente del circuito se mostrará una ventana que contiene información sobre los parámetros del componente en ese momento. Estos parámetros son llamados parámetros instantáneos y son los siguientes:

1. Los voltajes en los pines.
2. Los voltajes relativos entre los pines.
3. Los parámetros de corriente y potencia.

Estos valores se toman directamente, es decir, se miden justo en el momento de la pausa, por ejemplo, a los 4 segundos. Otros elementos presentan diferentes parámetros según el componente de que se trate.

Finalmente, en algunos componentes, sobre todo en los que tienen actuadores, no se puede acceder a esta función con un clic, ya que es como si se presionara los actuadores. En estos casos, se hace un clic con el botón derecho del mouse, y en el menú contextual se selecciona la opción que visualice esa información, como se muestra en la figura 17.

**Figura 17.** Parámetros instantáneos.

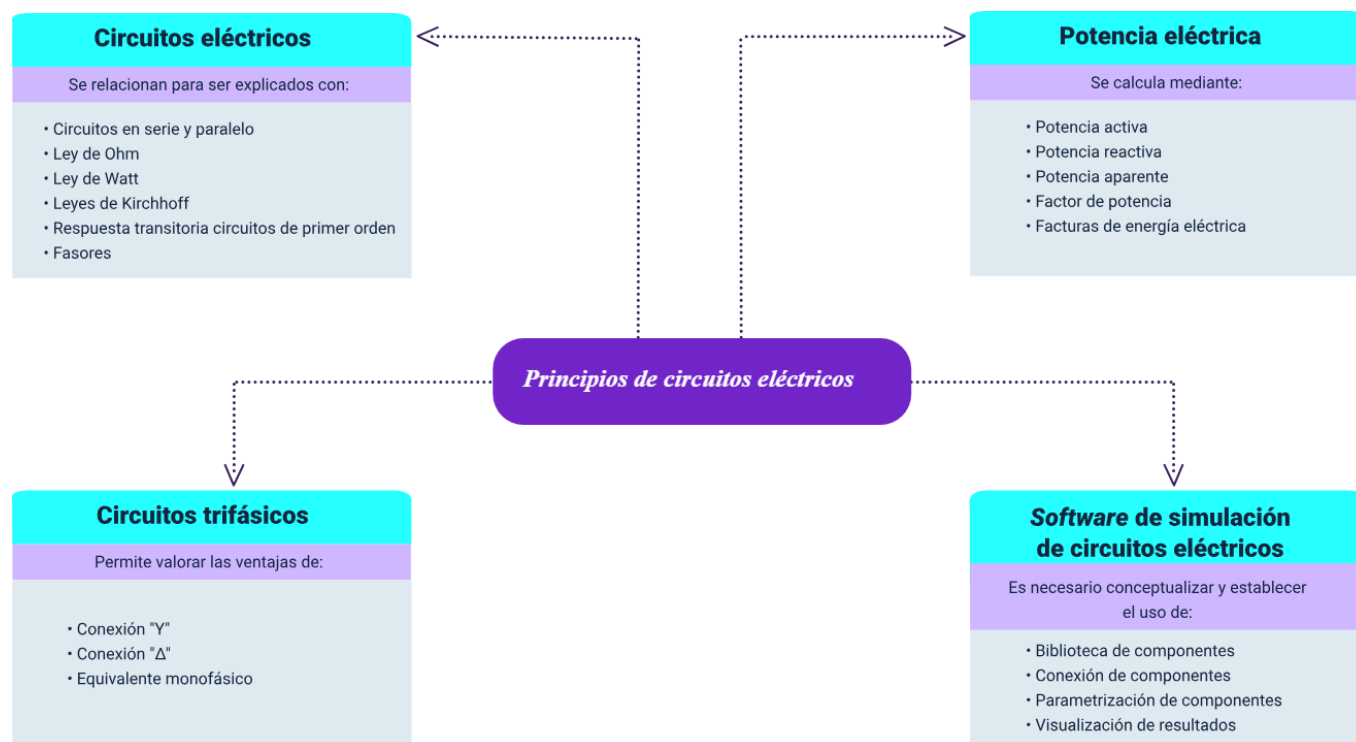


Fuente: SENA

## Síntesis

El sistema eléctrico está basado en unidades fundamentales y unidades complementarias. Todas las mediciones pueden ser expresadas como alguna combinación de unidades fundamentales y complementarias. La unidad eléctrica fundamental, el ampere, es la unidad utilizada para medir la corriente eléctrica. La corriente se abrevia con la letra  $I$  (por intensidad) y utiliza el símbolo  $A$  (por ampere). El ampere es único en el sentido de que utiliza en su definición a la unidad fundamental de tiempo ( $t$ ) (el segundo). Todas las demás unidades eléctricas y magnéticas (tales como voltaje, potencia y flujo magnético) utilizan varias combinaciones de unidades fundamentales en sus definiciones y se llaman unidades derivadas.

En el siguiente mapa conceptual se establece la ruta de aprendizaje de éste interesante tema:



## Material complementario

Tema	Referencia APA del Material	Tipo de material	Enlace del Recurso o Archivo del documento material
Circuitos eléctricos	ENDESA Fundación. (2020). Circuitos eléctricos.	Página web	<a href="https://www.fundacionendesa.org/es/educacion/endesa-educa/recursos/elementos-circuito-electrico">https://www.fundacionendesa.org/es/educacion/endesa-educa/recursos/elementos-circuito-electrico</a>
Leyes de Kirchhoff	Llanos, S. (2019). Leyes de Kirchhoff. Solución de un circuito [video]. YouTube.	Video	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=Ni37_i656RI">https://www.youtube.com/watch?v=Ni37_i656RI</a>
Potencia eléctrica	Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA. (1980). Diferencia de potencial y corriente eléctrica. SENA.	Cartilla PDF	<a href="https://repositorio.sena.edu.co/handle/11404/1839">https://repositorio.sena.edu.co/handle/11404/1839</a>
Facturas de energía eléctrica	Empresas Públicas de Pereira. (2015). Aprende a leer tu factura de energía eléctrica.	Imagen explicativa PDF	<a href="https://old.eep.com.co/images/stories/noticias/facturav2.jpg">https://old.eep.com.co/images/stories/noticias/facturav2.jpg</a>



## Glosario

**Circuito eléctrico:** es la interconexión de dos o más componentes eléctricos.

**Circuito en paralelo:** cuando dos o más aparatos se conectan a una fuente de energía, de tal manera que la corriente total se divide circulando los electrones a través de cada aparato en una trayectoria separada, se dice que los aparatos (cargas o resistencias) están conectados en paralelo.

**Circuito en serie:** en este, los aparatos receptores (cargas o resistencias) están conectados uno tras otro, de tal manera que existe solamente una trayectoria para los electrones.

**Componente eléctrico:** dispositivo que forma parte de un circuito electrónico.

**Constante de tiempo:** es un indicador de la velocidad de reacción del circuito ante una perturbación.

**Factor de potencia:** es la relación entre la potencia activa,  $P$ , y la potencia aparente,  $S$ . Da una medida de la capacidad de una carga de absorber la potencia activa.

**Fase:** es la fracción de un ciclo transcurrido desde el inicio de la señal de corriente voltaje, su símbolo es  $(p)$ .

**Frecuencia:** número de veces que un voltaje o una corriente alterna cambia de polaridad en segundo.

**Inducción electromagnética:** producción de energía por variación de campos magnéticos alrededor de bobinas.

**Ley de Ohm:** la Ley de Ohm muestra la relación entre la tensión (o voltaje), la corriente y la resistencia en un circuito eléctrico: la diferencia de potencial (tensión) a través de una resistencia es directamente proporcional a la corriente que circula por la misma.

**Ley de Watt:** la potencia eléctrica suministrada por un receptor es directamente proporcional a la tensión de alimentación ( $U$ ) del circuito y a la intensidad ( $I$ ) que circule por él.

**Malla:** es el tramo de circuito eléctrico comprendido entre dos nodos consecutivos.

**Nodo:** es el punto donde se conectan dos o más elementos de un circuito.

**Potencia eléctrica:** volumen de energía que gasta una instalación eléctrica en la unidad de tiempo, se representa con la letra P.

**Rama:** es un recorrido cerrado del circuito que resulta de recorrer el esquema eléctrico en un mismo sentido, regresando al punto de partida, pero sin pasar dos veces por la misma rama.

**“Software” de simulación eléctrica:** herramienta de “software” utilizada por profesionales en el campo de la electricidad y por los estudiantes de las carreras del área eléctrica y afines.

## Referencias bibliográficas

Fitzgerald, A., Higginbotham, D. y Grabel, A. (1988). Fundamentos de ingeniería eléctrica. 4ª edición. McGraw-Hill.

Fluke. (s.f.). ¿Qué es la ley de Ohm? <https://www.fluke.com/es-co/informacion/blog/electrica/que-es-la-ley-de-ohm>

González, B.; Toledano, J. (1994). Sistemas polifásicos. Editorial Paraninfo.

Mantilla, G. (1985). Fuerza, trabajo y potencia. SENA.  
<https://repositorio.sena.edu.co/handle/11404/1851>

Mantilla, G. (1983). La Ley de Ohm. Unidad 19. SENA.  
<https://repositorio.sena.edu.co/handle/11404/1846>

McAllister, W. (2020). Las leyes de Kirchhoff. Khan Academy.  
<https://es.khanacademy.org/science/physics/circuits-topic/circuits-resistance/a/ee-kirchhoffs-laws>

Rodríguez P., M. Á. (s.f.). Circuitos de corriente alterna trifásica. Universidad de Cantabria. Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética.

Vila, R. (2008). Circuitos eléctricos básicos para el estudiante. 2ª edición. Universidad Industrial de Santander.

## Créditos

Nombre	Cargo	Regional y Centro de Formación
Claudia Patricia Aristizabal	Responsable del Equipo	Dirección General
Norma Constanza Morales Cruz	Responsable de línea de producción	Regional Tolima - Centro de Comercio y Servicios
Carlos Javier González Cuevas	Experto Técnico	Regional Distrito Capital - Centro Electricidad Electrónica y Telecomunicaciones
Marlon Augusto Villamizar Morales	Experto Técnico	Global Green Growth Institute (GGGI)
Cristian Metaute Medina	Diseñador Instruccional	Regional Distrito Capital - Centro para la Industria de la Comunicación Gráfica del SENA
Carolina Coca Salazar	Revisora metodológica y pedagógica	Regional Distrito Capital - Centro de Diseño y Metrología
José Gabriel Ortiz Abella	Corrector de estilo	Regional Distrito Capital - Centro para la Industria de la Comunicación Gráfica del SENA
Juan Gilberto Giraldo Cortés	Diseñador instruccional	Regional Tolima – <b>Centro</b> de Comercio y Servicios
María Inés Machado López	Metodóloga	Regional Tolima – Centro de Comercio y Servicios
José Yobani Penagos Mora	Diseñador Web	Regional Tolima – Centro de Comercio y Servicios
Sebastián Trujillo Afanador	Desarrollador Fullstack	Regional Tolima – Centro de Comercio y Servicios
Gilberto Junior Rodríguez Rodríguez	Storyboard e Ilustración	Regional Tolima – Centro de Comercio y Servicios
Nelson Iván Vera Briceño	Producción audiovisual	Regional Tolima – Centro de Comercio y Servicios
Oleg Litvin	Animador	Regional Tolima – Centro de Comercio y Servicios
Francisco Javier Vásquez Suarez	Actividad Didáctica	Regional Tolima – Centro de Comercio y Servicios
Jorge Bustos Gómez	Validación y vinculación en plataforma LMS	Regional Tolima – Centro de Comercio y Servicios
Gilberto Naranjo Farfán	Validación de contenidos accesibles	Regional Tolima – Centro de Comercio y Servicios