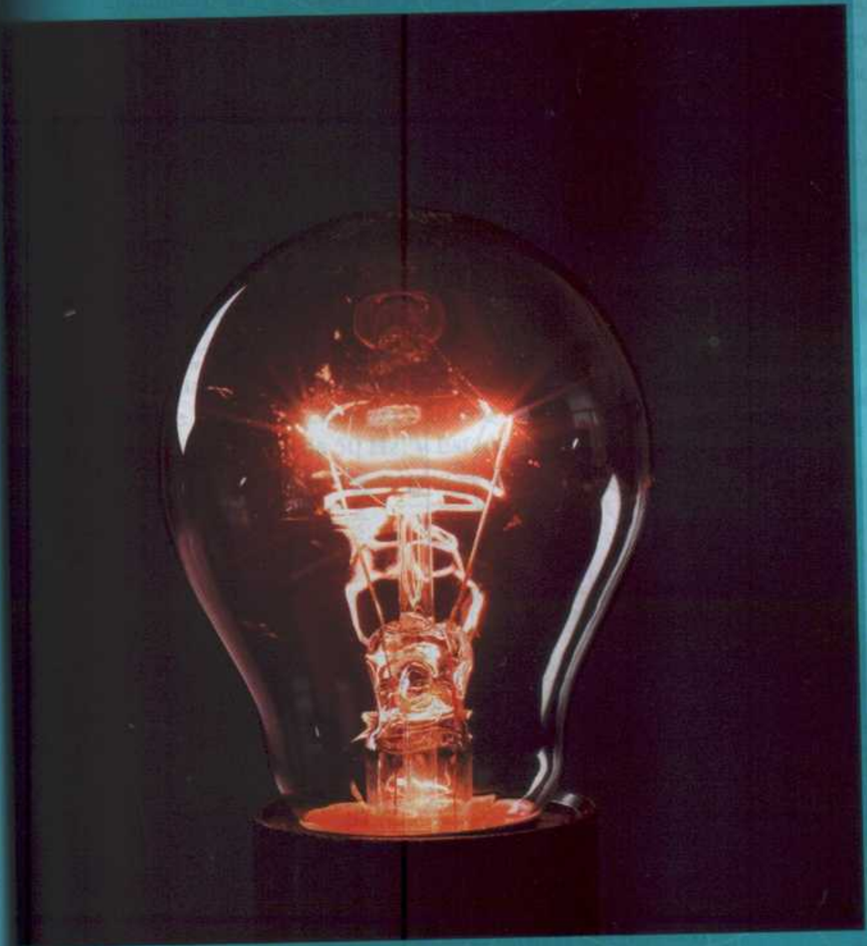
La corriente alterna monofásica

4



En el campo de la electricidad, los tipos de corrientes más empleadas son la corriente continua y la corriente alterna. La corriente continua actualmente se emplea para motores (principalmente tracción mecánica) y la relacionada con la energía solar fotovoltaica, además del campo de la electrónica. La energía alterna es la que está más implantada y se emplea para casi todo: transporte de energía eléctrica, ciudades y viviendas, casi todos los procesos industriales, etcétera.

Salvo prácticamente los motores eléctricos, el resto de equipos receptores que funcionan en corriente alterna lo hacen en monofásica, siendo por ello más fácil su instalación por la reducción del cableado eléctrico.

Contenidos

Objetivos

- Determinar las características de la corriente alterna monofásica y sus valores.
- Analizar el comportamiento de los diferentes tipos de receptores en corriente alterna.
- Aplicar la ley de Ohm en corriente alterna.
- Resolver circuitos eléctricos con combinación de diferentes receptores.
- Determinar los triángulos de impedancia, tensiones y potencias.
- Mejorar el factor de potencia de una instalación.
- Calcular la resonancia eléctrica de un circuito.

4.1. La corriente alterna

A diferencia de la corriente continua, donde el flujo de cargas es constante a lo largo del tiempo, en la corriente alterna este movimiento de electrones oscila, incluso invierte su sentido.

Una de las grandes ventajas de la corriente alterna es la facilidad de su modificación de sus magnitudes de tensión y corriente mediante el empleo de los transformadores, obteniendo un fácil transporte energético con reducidas pérdidas.

4.1.1. Tipos de corrientes alternas

Este flujo oscilante de cargas eléctricas sigue una expresión matemática que lo define.

En función del tipo de onda, estas corrientes se puede clasificar en:

- **Ondas pulsantes.** La magnitud no cambia de sentido a lo largo del tiempo.
- **Ondas periódicas.** La magnitud cambia de sentido periódicamente.

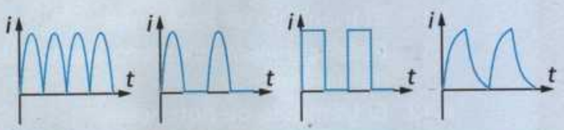


Figura 4.1. *Formas de ondas pulsantes.*

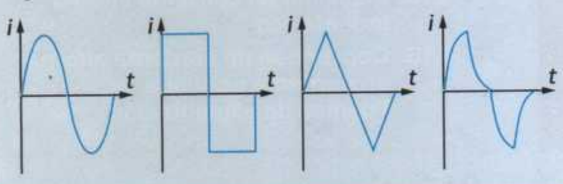


Figura 4.2. *Formas de ondas periódicas.*

Sabías que...

En el análisis de circuitos eléctricos se tiene en cuenta el régimen transitorio (el flujo de corriente no se ha estabilizado respecto al tiempo y suele suceder en los primeros instantes de conectar el circuito) y el régimen permanente (el flujo de corriente ya se ha estabilizado).

Aunque existen muy diversas formas de ondas, la que se emplea a nivel práctico en electricidad es la onda senoidal, la cual puede expresarse mediante la función trigonométrica seno (y = sen α).

4.1.2. Corriente alterna senoidal

En señal alterna, el valor de la corriente oscila entre dos puntos (un máximo positivo y un máximo negativo) e incluso en determinados momentos es nulo. Además, el sentido del movimiento de los electrones se invierte periódicamente.

Esta oscilación se repite periódicamente siguiendo una onda senoidal, dando lugar a los ciclos y a la frecuencia de la onda.

Si se hace girar al vector $\vec{A}$ en sentido antihorario a una velocidad angular constante (ω), la proyección de su valor en el eje de ordenadas (eje y) variará en función del tiempo según la función y = sen α aunque es más adecuado expresarla en función del tiempo: y = sen ωt. Si, además, se referencia a una magnitud (A) se obtiene que $a = A_{máx}$ · sen ωt.

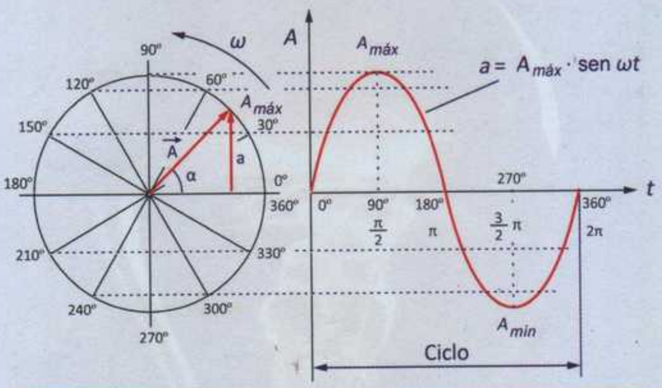


Figura 4.3. *Representación de una onda senoidal alterna.*

El valor del ángulo se expresa en función del tiempo obteniendo:

$$y = \text{sen}\ \alpha = \text{sen}\ (\omega \cdot t)$$

Donde:

α = Ángulo (rad).

ω = Velocidad angular (rad/s).

t = Tiempo (s).

La velocidad angular (ω), también llamada **pulsación**, es el cociente entre al ángulo recorrido y el tiempo empleado. Así, en una revolución se cubre un tiempo igual a un período ($t = T$) y un ángulo igual a 2 π radianes ($\alpha = 2\,\pi$).

$$\omega = \frac{\alpha}{t} = \frac{2\,\pi}{T}$$

Siendo T el **período** o tiempo empleado en recorrer un ciclo y se expresa en segundos. Relacionado con el período se encuentra la **frecuencia,** que es el inverso.

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

Donde:

T = Tiempo en segundos (s).

f = Frecuencia en hercios (Hz).

Por tanto, se puede expresar la pulsación como:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$$

La frecuencia expresa la cantidad de ciclos por unidad de tiempo. Así, la frecuencia de la onda eléctrica en corriente alterna en Europa es de 50 Hz, es decir que en un segundo un ciclo se repite 50 veces. O bien que un ciclo dura 20 milisegundos.

Sabías que...

En el mundo existen dos tipos de sistemas eléctricos de diferente frecuencia: Europa y su área de influencia, donde la frecuencia es de 50 Hz; y Estados Unidos y su área de influencia, donde la frecuencia es de 60 Hz.

Actividad resuelta 4.1

¿Cuál es el período de una onda cuya frecuencia es de 50 Hz?, ¿y su pulsación?

Solución:

Se aplica la expresión que relaciona la frecuencia con el período:

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50} = 0{,}02 \text{ s} = 20 \text{ ms}$$

Y la pulsación ω es de:

$$\omega = 2\pi f = 2 \cdot \pi \cdot 50 = 314{,}16 \text{ rad/s}$$

4.2. Valores característicos de la corriente alterna

En una onda eléctrica senoidal se observan una serie de valores característicos. Para el estudio se toma como origen de fase el paso por cero de la onda, si no fuese así se debería añadir este ángulo a la función seno sen $(\omega t \pm \varphi)$.

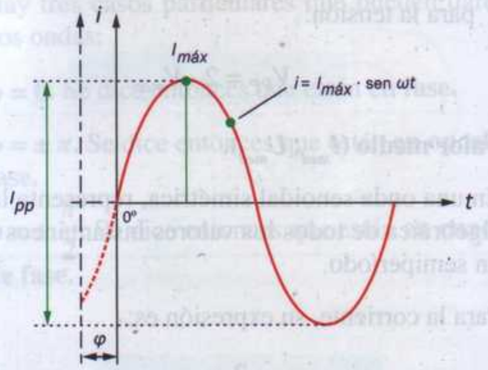


Figura 4.4. *Valores característicos de valor instantáneo, máximo y de pico a pico para la corriente.*

La magnitud puede ser cualquiera que adquiera esta forma de onda (corriente, tensión).

- **Valor instantáneo (i, u).**

  Es el valor que toma la magnitud en un momento dado. En el caso de la corriente:

  $$i = I_{máx} \cdot \text{sen}\, \omega t$$

  Y para la tensión:

  $$v = V_{máx} \cdot \text{sen}\, \omega t$$

  Esto es considerando que la onda inicia el ciclo en el paso por cero hacia valores positivos, en caso contrario:

  $$i = I_{máx} \cdot \text{sen}\, (\omega t \pm \varphi)$$

  Como sen ωt oscila entre 0 y 1, la magnitud oscila entre 0 y su valor máximo.

- **Valor máximo ($I_{máx}$, $U_{máx}$).**

  Representa el valor máximo que puede alcanzar la magnitud. Se obtiene cuando sen ωt = 1. En una onda senoidal también recibe el nombre de valor de cresta o valor de pico

- **Valor de pico a pico (I_{pp}, U_{pp}).**

  Representa la oscilación entre los valores que se mueve la magnitud. Su valor es el doble del valor máximo.

  Para la corriente, su expresión es:

  $$I_{PP} = 2 \cdot I_{máx}$$

Y para la tensión:

$$V_{PP} = 2 \cdot V_{máx}$$

- **Valor medio (I_{med}, U_{med}).**

  En una onda senoidal simétrica, representa la media algebraica de todos los valores instantáneos durante un semiperíodo.

  Para la corriente, su expresión es:

$$I_{med} = \frac{2}{\pi} \; I_{máx}$$

  Y para la tensión:

$$V_{med} = \frac{2}{\pi} \; V_{máx}$$

Sabías que...

Para el cálculo del valor medio se toma solo un semiperíodo porque si se toma la onda completa (un ciclo) el valor medio sería 0, al ser una onda simétrica respeto al eje de abscisas o eje horizontal.

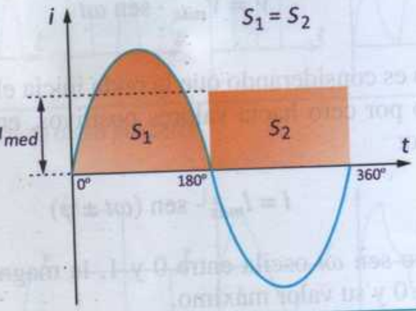


Figura 4.5. Representación del valor medio de la corriente mediante semejanza de áreas.

- **Valor eficaz (I, U).** = RMS

  Representa la raíz cuadrada de la media de los cuadrados de los valores instantáneos.

  Para la corriente, su expresión es:

$$I = \frac{I_{máx}}{\sqrt{2}}$$

  Y para la tensión:

$$V = \frac{V_{máx}}{\sqrt{2}}$$

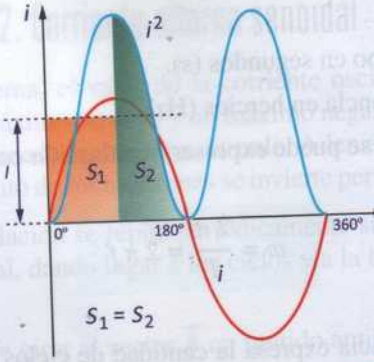


Figura 4.6. Representación del valor eficaz de la corriente mediante semejanza de áreas.

Es el parámetro más empleado y representa el mismo efecto calorífico que produciría si es llevado a corriente continua.

Cuando se indica una magnitud y no se especifica su tipo (máximo, pico a pico, instantáneo, etc.) se entiende que hace referencia a valores eficaces.

Actividad resuelta 4.2

Calcula para la función senoidal de la corriente dada por la expresión $i = 10 \cdot$ sen $80\,t$:

a) Frecuencia y período.

b) Valor máximo.

c) Valor medio.

d) Valor eficaz.

Solución:

a) En este caso, $\omega = 80$ rad/s. Como $\omega = 2\,\pi\,f$, a partir de aquí se obtiene la frecuencia:

$$f = \frac{\omega}{2\,\pi} = \frac{80 \text{ rad/s}}{2\,\pi \text{ rad}} = 12{,}73 \text{ Hz}$$

Y el período es su inverso:

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{12{,}73} = 0{,}078 \text{ s} = 78 \text{ ms}$$

b) Valor máximo:

Si la expresión que la define es $i = 10 \cdot$ sen $80\,t$, su valor máximo se obtiene cuando sen $\omega\,t = 1$.

Es decir que:

$$I_{máx} = 10 \text{ A}$$

c) Valor medio: práctico

$$I_{med} = \frac{2}{\pi}\, I_{máx} = \frac{2}{\pi}\, 10 = 6{,}36 \text{ A}$$

d) Valor eficaz: rms

$$I = \frac{I_{máx}}{\sqrt{2}} = \frac{10}{\sqrt{2}} = 7{,}07 \text{ A}$$

- **Desfase.**

Representando una onda senoidal como un vector rotativo o **fasor,** el desfase φ representa la separación entre dos ondas.

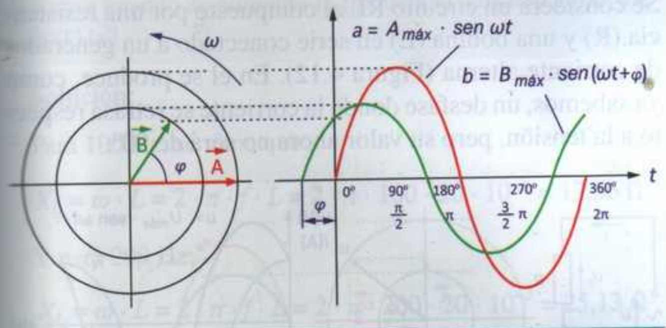


Figura 4.7. *Desfase entre dos ondas.*

Si se tienen dos vectores rotativos $\vec{A}$ y $\vec{B}$ en un momento dado t (Figura 4.7), sus valores instantáneos serán:

$$a = A \cdot \text{sen}\,(\omega\, t)$$

$$b = B \cdot \text{sen}\,(\omega\, t + \varphi)$$

Este valor de φ representa el ángulo que ha recorrido $\vec{B}$ cuando ha empezado a girar $\vec{A}$. Es por tanto la diferencia o desfase entre ambas. En este caso se dice que $\vec{B}$ va adelantado φ grados respecto a $\vec{A}$ o que $\vec{A}$ está retrasada φ grados respecto a $\vec{B}$.

Figura 4.8. *Señales en oposición y cuadratura de fase: (1) Señal de referencia, (2) en oposición y (3) en cuadratura.*

Hay tres casos particulares que pueden darse entre dos ondas:

- **$\varphi = 0$.** Se dice entonces que están **en fase.**
- **$\varphi = \pm\,\pi$.** Se dice entonces que están **en oposición de fase.**
- **$\varphi = \pm\,\frac{\pi}{2}$.** Se dice entonces que están **en cuadratura de fase.**

4.3. Los receptores en corriente alterna

Los receptores pasivos (resistencia, bobina y condensador) no se comportan de igual manera cuando trabajan en corriente continua que en corriente alterna.

4.3.1. La resistencia en corriente alterna

La resistencia se comporta de idéntica manera con independencia de la frecuencia.

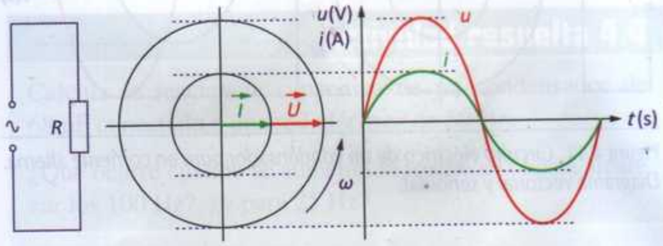


Figura 4.9. *Circuito eléctrico de la resistencia en corriente alterna. Diagrama vectorial y senoidal.*

Cuando se conecta una resistencia a una fuente de corriente alterna (Figura 4.9) se observa que tanto la tensión como la corriente están en fase

4.3.2. La bobina en corriente alterna

La bobina trabaja en corriente alterna almacenando energía en forma de **campo magnético.**

Si se considera una bobina o inductancia pura, es decir sin resistencia y se conecta a una fuente de alimentación de corriente alterna se observa que afecta al circuito provocando un **retraso de la corriente respecto a la tensión** de 90º o $\pi/2$.

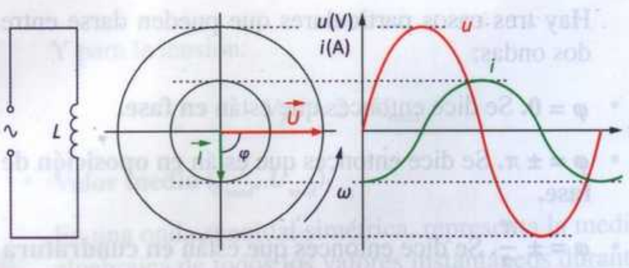


Figura 4.10. *Circuito eléctrico de una bobina pura en corriente alterna. Diagrama vectorial y senoidal.*

4.3.3. El condensador en corriente alterna

El condensador trabaja en corriente alterna almacenando energía en forma de **campo eléctrico.**

Si se considera un condensador puro, es decir sin resistencia y se conecta a una fuente de alimentación de corriente alterna se observa que afecta al circuito provocando un **adelanto de la corriente respecto a la tensión** de 90º o π/2.

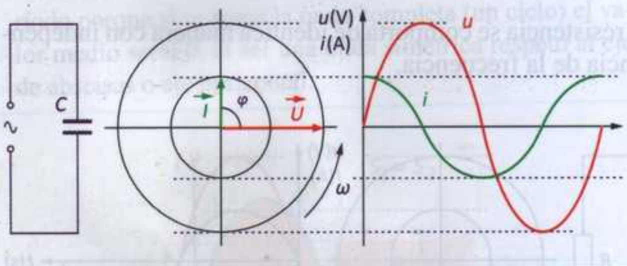


Figura 4.11. *Circuito eléctrico de un condensador puro en corriente alterna. Diagrama vectorial y senoidal.*

4.4. La ley de Ohm en corriente alterna

La ley de Ohm también se puede aplicar en corriente alterna, pero debido a la naturaleza de los receptores, aparece el término **impedancia** que representa la oposición que ofrece al paso de la corriente alterna:

$$\vec{Z} = \frac{\vec{V}}{\vec{I}}$$

Siendo los fasores:

$\vec{Z}$: Impedancia (Ω, ohmios).
$\vec{V}$: Tensión (V, voltios).
$\vec{I}$: Corriente (A, amperios).

Despejando se obtienen los otros términos:

$$\vec{Z} = \frac{\vec{V}}{\vec{I}} \qquad \vec{V} = \vec{I} \cdot \vec{Z}$$

A la inversa de la impedancia se le conoce como **admitancia (Y):**

$$\vec{Y} = \frac{1}{\vec{Z}}$$

4.5. Circuito RL. La reactancia inductiva

Se considera un circuito RL al compuesto por una resistencia (R) y una bobina (L) en serie conectado a un generador de corriente alterna (Figura 4.12). En él se produce, como ya sabemos, un desfase donde la corriente se retrasa respecto a la tensión, pero su valor ahora no será de 90º.

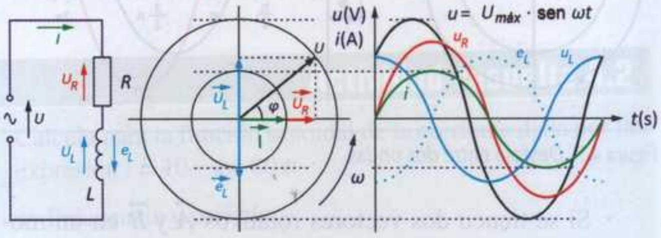


Figura 4.12. *Circuito eléctrico RL. Diagrama vectorial y senoidal.*

Las tensiones forman, tal y como se observa en el diagrama vectorial, un triángulo denominado **triángulo de tensiones** (Figura 4.13), donde se muestra, además de las tensiones, su desfase (φ).

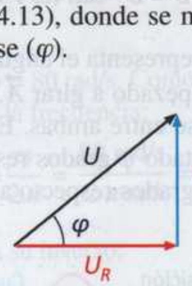


Figura 4.13. *Triángulo de tensiones en un circuito eléctrico RL.*

En alterna, la bobina ofrece una resistencia al paso de la corriente denominada **reactancia inductiva** cuyo valor óhmico va a depender, aparte de las características de la propia bobina (*L*), de la frecuencia. La expresión que la determina es:

$$X_L = \omega \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$$

Donde:

X_L: Reactancia inductiva (Ω, ohmios).

f: Frecuencia (Hz, hercios).

L: Coeficiente de autoinducción (H, henrios).

Se deduce que, al aumentar la frecuencia, también lo hace su reactancia inductiva, ya que es directamente proporcional.

Actividad resuelta 4.3

Calcula la reactancia inductiva de una bobina cuyo coeficiente de autoinducción es de 20 mH, sabiendo que está conectado a una señal eléctrica senoidal de 100 Hz. ¿Qué ocurre cuando se aumenta la frecuencia hasta alcanzar los 200 Hz?

Solución:

Para 100 Hz, se tiene que:

$$X_L = \omega \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot 100 \cdot 20 \cdot 10^{-3} = 12{,}56\ \Omega$$

Y para 200 Hz:

$$X_L = \omega \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot 200 \cdot 20 \cdot 10^{-3} = 25{,}13\ \Omega$$

Al duplicar la frecuencia, la reactancia inductiva también se duplica.

4.6. Circuito RC. La reactancia capacitiva

Se considera un circuito RC al compuesto por una resistencia (R) y un condensador (C) en serie conectado a un generador de corriente alterna (Figura 4.14). En él se produce, como ya sabemos, un desfase donde la corriente se adelanta a la tensión, o lo que es lo mismo, la tensión se retrasa respecto a la corriente, pero su valor ahora no será de 90º.

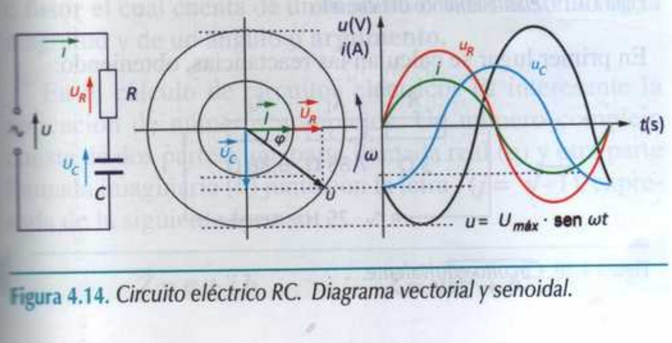


Figura 4.14. *Circuito eléctrico RC. Diagrama vectorial y senoidal.*

Y su triángulo de tensiones:

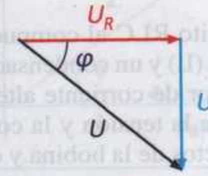


Figura 4.15. *Triángulo de tensiones en un circuito eléctrico RC.*

En alterna, el condensador ofrece una resistencia denominada **reactancia capacitiva** cuyo valor óhmico va a depender, aparte de las características del propio condensador (C), de la frecuencia. La expresión que la determina es:

$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$$

Donde:

X_C: Reactancia capacitiva (Ω, ohmios).

f: Frecuencia (Hz, hercios).

C: Capacidad (F, faradios).

Se deduce que, al aumentar la frecuencia, disminuye su reactancia capacitiva, ya que es inversamente proporcional.

Actividad resuelta 4.4

Calcula la reactancia capacitiva de un condensador de 68 μF conectado a una red eléctrica de 50 Hz.

¿Qué ocurre cuando se aumenta la frecuencia hasta alcanzar los 100 Hz?, ¿y para 25 Hz?

Solución:

Para 50 Hz:

$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 68 \cdot 10^{-6}} = 46{,}81\ \Omega$$

Para 100 Hz:

$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 100 \cdot 68 \cdot 10^{-6}} = 23{,}40\ \Omega$$

Y para 25 Hz:

$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 25 \cdot 68 \cdot 10^{-6}} = 93{,}62\ \Omega$$

Al duplicar la frecuencia, la reactancia capacitiva se reduce a la mitad y al reducir a la mitad la frecuencia la reactancia se dobla.

4.7. Circuito RLC

Se considera un circuito RLC al compuesto por una resistencia (R), una bobina (L) y un condensador (C) en serie conectado a un generador de corriente alterna (Figura 4.16). Ahora el desfase entre la tensión y la corriente vendrá determinado por los efectos de la bobina y el condensador, ya que ambos son opuestos.

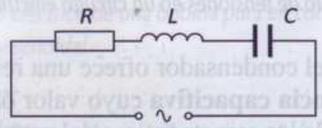


Figura 4.16. *Circuito RLC.*

Ya que las reactancias inductivas y capacitivas son de sentido contrario, ambas se pueden restar. La naturaleza del circuito vendrá marcada por el efecto predominante, así un circuito RLC podrá ser inductivo ($X_L > X_C$), capacitivo ($X_C > X_L$) o resistivo ($X_L = X_C$).

4.8. El triángulo de impedancias

En corriente alterna, todos los circuitos reales tendrán una parte resistiva, que además pueden tener parte inductiva y/o capacitiva.

Una vez reducido el circuito a sus elementos equivalentes, pueden darse los siguientes casos de combinación:

- **Circuito R.** Es un circuito únicamente resistivo.
- **Circuito RL.** Tiene una naturaleza inductiva.
- **Circuito RC.** Tiene una naturaleza capacitiva.
- **Circuito RLC.** Su naturaleza vendrá definida por diferencia entre los efectos producidos por la bobina y por el condensador ya que las reactancias se contrarrestan, quedando el predominante.

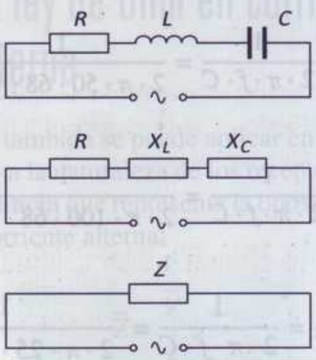


Figura 4.17. *Reducción del circuito a impedancia.*

Una vez reducido el circuito eléctrico a sus elementos equivalentes (resistencia, bobina y condensador), se obtiene la parte resistiva de cada elemento (resistencia y reactancias). El último paso consiste en sumar estos valores teniendo en cuenta que la suma no será lineal sino vectorial, obteniendo la impedancia total del circuito.

Si se trasladan estos valores a un diagrama vectorial, se obtiene un triángulo llamado **triángulo de impedancias** (Figura 4.18).

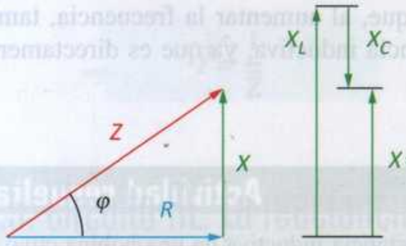


Figura 4.18. *Triángulo de impedancias.*

Aplicando trigonometría se pueden obtener una serie de relaciones:

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

$$\text{sen}\,\varphi = \frac{X}{Z} \quad \rightarrow \quad \varphi = \text{arc sen}\,\frac{X}{Z}$$

$$\cos\varphi = \frac{R}{Z} \quad \rightarrow \quad \varphi = \text{arc cos}\,\frac{R}{Z}$$

$$\tan\varphi = \frac{X}{R} \quad \rightarrow \quad \varphi = \text{arc tan}\,\frac{X}{R}$$

Actividad resuelta 4.5

Calcula el triángulo de impedancias para un circuito serie compuesto por una resistencia de 3 Ω, una bobina de 50 mH y condensador de 1000 μF, cuando está conectado a una corriente alterna de frecuencia 25 Hz.

Solución:

El circuito eléctrico es el siguiente:

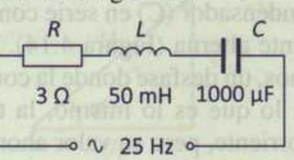


Figura 4.19. *Planteamiento del circuito.*

En primer lugar se calculan las reactancias, obteniendo:

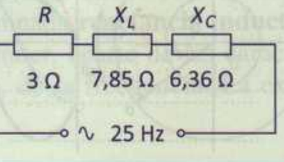


Figura 4.20. *Circuito equivalente.*

Para la bobina, su reactancia inductiva es de:

$$X_L = \omega \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot 25 \cdot 50 \cdot 10^{-3} = 7{,}85\ \Omega$$

Y para el condensador su reactancia capacitiva es de:

$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 25 \cdot 1000 \cdot 10^{-6}} = 6{,}36\ \Omega$$

Como son reactancias de efectos opuestos, se restan, predominando el efecto inductivo:

$$X = X_L - X_C = 7{,}85 - 6{,}36 = 1{,}48\ \Omega$$

Por trigonometría, se obtiene su impedancia:

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{3^2 + 1{,}48^2} = 3{,}34\ \Omega$$

Y su ángulo:

$$\varphi = \text{arc tan}\ \frac{X}{R} = \text{arc tan}\ \frac{1{,}48}{3} = 26{,}3^\circ$$

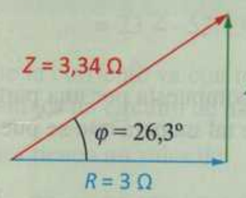


Figura 4.21. *Triángulo de impedancias.*

4.9. Asociación de impedancias

A la hora de realizar una asociación de impedancias, por ejemplo resolver un circuito con dos impedancias en serie, no se puede realizar una suma lineal, ya que ahora interviene el desfase. Para facilitar los cálculos se recurre a operar con números complejos.

4.9.1. Los números complejos

Como se ha estudiado, una impedancia es un valor vectorial o **fasor** el cual cuenta de un **módulo** o valor absoluto de la magnitud y de un ángulo o **argumento.**

En el cálculo de circuitos eléctricos es interesante la aplicación de números complejos. Un número complejo consta de dos partes: una parte llamada real (*a*) y otra parte llamada imaginaria (*b*) junto con la letra *j* ($j = \sqrt{-1}$), expresada de la siguiente forma:

$$\vec{Z} = a + j\,b \qquad Z = \sqrt{a^2 + b^2}$$

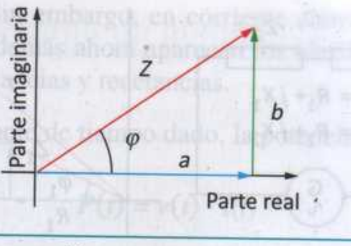


Figura 4.22. *Números complejos.*

La parte real se coloca en el eje de abscisas y la parte imaginaria se coloca en el eje de ordenadas en un plano de coordenadas cartesianas.

Así, una impedancia se puede expresar mediante números complejos de la siguiente forma:

$$\vec{Z} = R + j\,X$$

Esta forma matemática de expresión recibe el nombre de forma **binómica.**

En la forma **trigonométrica,** se representan en función del ángulo:

$$a = Z \cdot \cos\varphi$$

$$b = Z \cdot \text{sen}\,\varphi$$

$$\vec{Z} = Z\,(\cos\varphi + j\ \text{sen}\,\varphi)$$

$$\tan\varphi = \frac{b}{a}$$

Otra manera de representar un número complejo es mediante la forma **polar.** Esta forma polar representa el número mediante su módulo y su argumento:

$$\vec{Z} = \textit{Módulo} \angle \textit{Argumento}$$

Por ejemplo: $\vec{Z} = 15 \angle 45^\circ$

Estas formas de representar un número complejo y por extensión una impedancia en corriente alterna, facilita ciertas operaciones entre ellos.

4.9.2. La asociación de impedancias

Un circuito serie de dos impedancias se resuelve realizando la suma vectorial de estas.

Mediante números complejos, la suma se realiza sumando las partes reales y las partes imaginarias, de tal manera que se tiene que:

$$\vec{Z_T} = \vec{Z_1} + \vec{Z_2} = (R_1 + R_2) + j\,(X_1 + X_2)$$

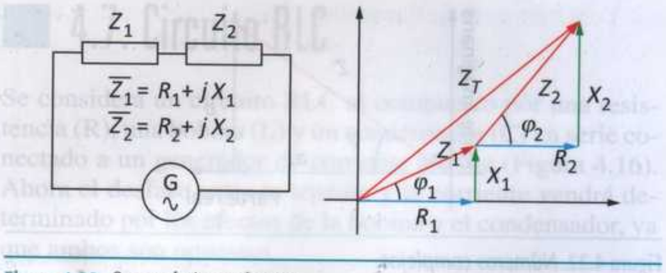


Figura 4.23. *Suma de impedancias.*

Sabías que...

La forma binómica facilita la operaciones de sumas y restas de números complejos y la forma polar facilita las operaciones de multiplicación y división.

Actividad resuelta 4.6

Un circuito está compuesto por dos impedancias en serie de $\overline{Z_1} = 10 + j\,6\ \Omega$ y $\overline{Z_2} = 12 + j\,7\ \Omega$. Calcula el valor del módulo y del argumento.

Solución:

El valor de la impedancia es de:

$$\overline{Z_T} = \overline{Z_1} + \overline{Z_2} = (R_1 + R_2) + j\,(X_1 + X_2) =$$

$$= (10 + 12) + j\,(6 + 7) = 22 + j\,13$$

Con un valor absoluto de:

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{22^2 + 13^2} = 25{,}55\ \Omega$$

Y un argumento de:

$$\varphi = \text{arc tan}\ \frac{X}{R} = \text{arc tan}\ \frac{13}{22} = 30{,}57^\circ$$

O aplicando otras relaciones trigonométricas:

$$\varphi = \text{arc cos}\ \frac{R}{Z} = \text{arc cos}\ \frac{22}{25{,}55} = 30{,}57^\circ$$

$$\varphi = \text{arc sen}\ \frac{X}{Z} = \text{arc sen}\ \frac{13}{25{,}55} = 30{,}57^\circ$$

Recuerda:

Una impedancia (Z) se compone, en la parte real del efecto resistivo (R) y en la parte imaginaria del efecto inductivo (X_L, producido por las bobinas) menos el efecto capacitivo (X_C, producido por los condensadores).

4.10. El triángulo de tensiones

Partiendo del triángulo de impedancias y multiplicando estas por la corriente, se obtiene un nuevo triángulo donde se representan las tensiones (Figura 4.24).

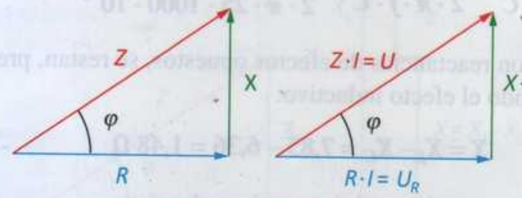


Figura 4.24. *Obtención del triángulo de tensiones.*

Actividad resuelta 4.7

Calcula el triángulo de tensiones para una impedancia $\vec{Z} = 6 + j\,8\ \Omega$ conectada a una tensión eléctrica de 230 V.

Solución:

Esta impedancia está compuesta por una parte resistiva y una parte inductiva, de tal manera que se puede representar como:

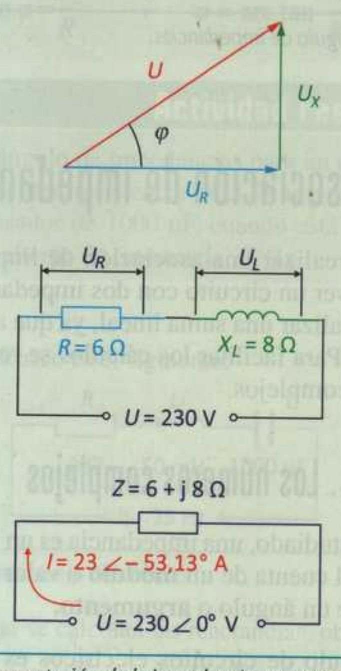


Figura 4.25. *Representación de la impedancia y su triángulo de tensiones.*

Obteniendo el valor de la impedancia por trigonometría:

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{6^2 + 8^2} = 10\ \Omega$$

Y su desfase:

$$\varphi = \text{arc tan}\ \frac{X}{R} = \text{arc tan}\ \frac{8}{6} = 53{,}13^\circ$$

Ahora se calcula la corriente por la ley de Ohm:

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{230}{10} = 23\ \text{A}$$

Y multiplicando los valores óhmicos por la corriente se obtienen las tensiones:

$$U_R = I \cdot R = 23 \cdot 6 = 138\ \text{V}$$

$$U_X = I \cdot X = 23 \cdot 8 = 184\ \text{V}$$

Se observa que no se puede hacer la suma lineal de estas tensiones: $U \neq U_R + U_X$ puesto que son vectores.

Este problema también se podría haber resuelto aplicando números complejos:

$$\vec{I} = \frac{\vec{U}}{\vec{Z}} = \frac{230 \angle 0^\circ}{10 \angle 53{,}13^\circ} = \frac{230}{10} \angle (0 - 53{,}13^\circ) =$$

$$= 23 \angle {-53{,}13^\circ}\ \text{A}$$

Observa que la corriente va con retraso respecto a la tensión, por tanto es un circuito de naturaleza inductiva.

Las tensiones tienen un valor de:

$$\overrightarrow{U_R} = \vec{I} \cdot \vec{R} = 23 \angle {-53{,}13^\circ} \cdot 6 \angle 0^\circ = 138 \angle {-53{,}13^\circ}\ \text{V}$$

$$\overrightarrow{U_X} = \vec{I} \cdot \vec{X} = 23 \angle {-53{,}13^\circ} \cdot 8 \angle 90^\circ = 184 \angle 36{,}87^\circ\ \text{V}$$

En este caso, como se está trabajando con vectores, sí se puede hacer la suma verificando que:

$$\vec{U} = \overrightarrow{U_R} + \overrightarrow{U_X}$$

Para hacer esta suma, lo mejor es pasar las tensiones a la forma trigonométrica:

$$\overrightarrow{U_R} = U_R\,(\cos\varphi + j\ \text{sen}\ \varphi) = 138\ (0{,}6 - j\ 0{,}8) =$$

$$= 82{,}8 - j\ 110{,}4\ \text{V}$$

$$\overrightarrow{U_X} = U_X\,(\cos\varphi + j\ \text{sen}\ \varphi) = 184\ (0{,}8 + j\ 0{,}6) =$$

$$= 147{,}2 + j\ 110{,}4\ \text{V}$$

$$\vec{U} = \overrightarrow{U_R} + \overrightarrow{U_X} = 230 \angle 0^\circ\ \ \text{V}$$

4.11. Potencia eléctrica en corriente alterna monofásica

Como se ha estudiado en corriente continua, la potencia es el producto de la tensión por la corriente ($P = U \cdot I$), o el producto del cuadrado de la corriente por su resistencia ($P = I^2 \cdot R$). Sin embargo, en corriente alterna influye su desfase (φ), además ahora aparecen los términos de resistencias, impedancias y reactancias.

En un instante de tiempo dado, la potencia viene determinada por:

$$P(t) = v(t) \cdot i(t)$$

Aparte de esta potencia, hay tres tipos de potencias que nos interesa, que son la potencia activa, reactiva y aparente.

La **potencia activa** (P) es la potencia que desarrolla o transforma el sistema. Es una potencia que se utiliza para desarrollar un trabajo, por ejemplo en el caso de un motor es la potencia motriz del eje del motor. Se expresa en **vatios (W)**.

$$P = U \cdot I \cdot \cos\varphi$$

Potencia reactiva (Q). La potencia reactiva se considera una pérdida, ya que solo se emplea a nivel interno del sistema (en el caso de la bobina se emplea en la creación de los campos magnéticos asociados y en el caso del condensador en crear los campos eléctricos asociados). Este tipo de potencia, aunque es necesario, no realiza ningún trabajo útil. La potencia reactiva se expresa en **voltiamperios reactivos (VAR)**.

$$Q = U \cdot I \cdot \text{sen}\ \varphi$$

Potencia aparente (S). Es la resultante de la suma vectorial de las potencias activa y reactiva. Se expresa en **voltiamperios (VA)**. Conociendo la potencia activa y la reactiva, se puede obtener la potencia aparente mediante trigonometría, como se estudiará un poco más adelante.

$$S = U \cdot I$$

Actividad resuelta 4.8

Por un receptor de corriente alterna monofásica circulan 6 A y está conectado a una red eléctrica de 230 V. El desfase producido es de 30º. Calcula las potencias.

Solución:

Potencia activa:

$$P = U \cdot I \cdot \cos\varphi = 230 \cdot 6 \cdot \cos 30 = 1195{,}11\ \text{W}$$

Potencia reactiva:

$$Q = U \cdot I \cdot \text{sen}\ \varphi = 230 \cdot 6 \cdot \text{sen}\ 30 = 2760\ \text{VAR}$$

Potencia aparente:

$$S = U \cdot I = 230 \cdot 6 = 1380\ \text{VA}$$

4.12. El triángulo de potencias

Existe otra relación importante con las potencias, que también forman su propio triángulo. Partiendo del triángulo de tensiones, se multiplican estas por la corriente, obteniendo los términos de potencia. Este triángulo será por tanto semejante, ya que conserva el ángulo (desfase), Figura 4.26.

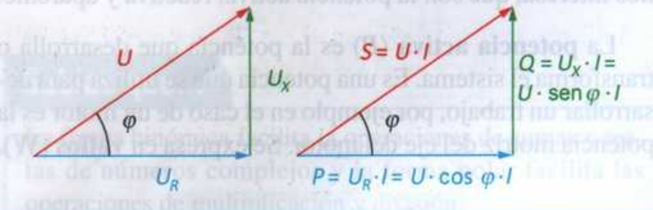


Figura 4.26. *Obtención del triángulo de potencias.*

Estas tres potencias representadas vectorialmente forman el denominado **triángulo de potencias** (Figura 4.27). Se ha representado la potencia reactiva equivalente como la diferencia entre elementos inductivos y capacitivos.

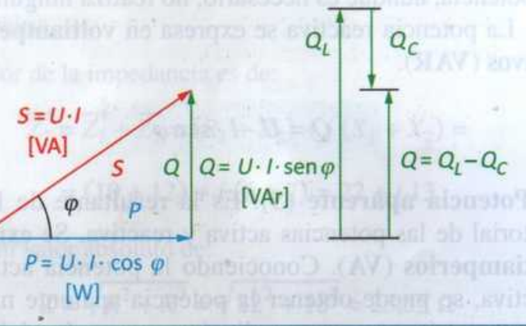


Figura 4.27. *Triángulo de potencias.*

El desfase entre la tensión y la corriente indicado en forma de coseno, **cos (φ),** recibe el nombre de **factor de potencia.** Este valor relaciona la potencia aparente con la potencia activa:

$$\textbf{Factor de potencia} \rightarrow \quad \cos\varphi = \frac{P}{S}$$

El factor de potencia se mueve entre los límites de 0 y 1, que corresponde a un ángulo de 90º y 0º respectivamente ($\varphi = 0º$, $\cos\varphi = 1$ y $\varphi = 90º$, $\cos\varphi = 0$).

Un sistema eléctrico será más eficiente cuanto menor sea su potencia reactiva y a su vez menor sea su desfase. Si el desfase es nulo, o sea que la tensión y la corriente están en fase, la potencia aparente iguala a la potencia activa.

$$P = U \cdot I \cdot \cos 0 = U \cdot I = S$$

Recuerda:

La potencia aparente es la potencia que se debe suministrar al sistema, mientras que la potencia activa es la potencia que se aprovecha en realizar un trabajo útil.

Aplicando el teorema de Pitágoras al triángulo, la potencia aparente pude expresarse como la resultante de la suma vectorial de las potencias (aparentes y reactivas):

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

Las otras relaciones trigonométricas son:

$$\operatorname{sen}\varphi = \frac{Q}{S} \quad \rightarrow \quad \varphi = \operatorname{arc\,sen}\frac{Q}{S}$$

$$\cos\varphi = \frac{P}{S} \quad \rightarrow \quad \varphi = \arccos\frac{P}{S}$$

$$\tan\varphi = \frac{Q}{P} \quad \rightarrow \quad \varphi = \arctan\frac{Q}{P}$$

La potencia también puede expresarse en forma compleja:

$$\vec{S} = P + j\,Q = U \cdot I \cdot \cos\varphi + j\;U \cdot I \cdot \operatorname{sen}\varphi = U \cdot I_{\angle\varphi}$$

Actividad resuelta 4.9

Un receptor monofásico de 3 kW tiene un factor de potencia de 0,6 y está conectado a una red eléctrica de 230 V y 50 Hz.

Calcula el triángulo de potencia y la corriente de la línea de alimentación.

Solución:

La potencia aparente (*S*) se puede calcular a partir de la potencia activa y su factor de potencia:

$$S = \frac{P}{\cos\varphi} = \frac{3\text{ kW}}{0{,}6} = 5\text{ kVA}$$

Para calcular la potencia reactiva (*Q*) se necesita conocer el desfase, para ello y a partir del factor de potencia se obtiene:

$$\varphi = 0{,}6$$

$$\cos\varphi = \arccos\varphi = \arccos\ 0{,}6 = 53{,}13º$$

$$Q = P \cdot \tan\varphi = 3\text{ kW} \cdot \tan 53{,}13 = 4\text{ kVAr}$$

Se dibuja el triángulo de potencias:

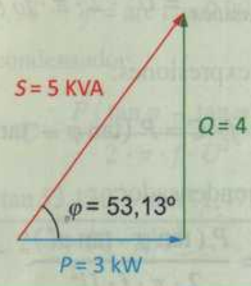


Figura 4.28. *Triángulo de potencias.*

La corriente de la línea de alimentación será de:

$$I = \frac{P}{U \cdot \cos\varphi} = \frac{3000}{230 \cdot 0{,}6} = 21{,}74 \text{ A}$$

4.13. Mejora del factor de potencia

A nivel industrial, la mayoría de los elementos eléctricos están formados por elementos de naturaleza inductiva (motores, transformadores, lámparas de descarga, etc.), lo que hace que predomine la reactancia inductiva frente a la reactancia capacitiva. Se dice entonces que el **sistema es inductivo.** En caso contrario, se dice que el sistema es **capacitivo.**

Para mejorar el factor de potencia, se instalan dispositivos cuya naturaleza reactiva sea la opuesta. Es decir, en un sistema con predominancia inductiva se instalarán dispositivos de tipo capacitivo, y viceversa. De tal manera que ambos se compensen y se pueda lograr un factor de potencia ($\cos\varphi$) de valor la unidad o próximo a ella.

Normalmente, se ha visto que la naturaleza de los sistemas suele ser inductiva. Para contrarrestar su efecto se emplean elementos capacitivos. Este elemento es el condensador. De esta manera se mejora el factor de potencia y así se consigue que dicho factor de potencia se acerque a la unidad.

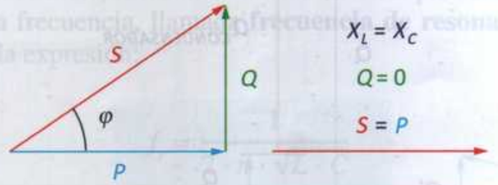


Figura 4.29. *Mejora del triángulo de potencias.*

Si se consigue que X_L se igual a X_C, se elimina el desfase consiguiendo que P (potencia activa) sea igual a S (potencia aparente).

En la práctica, basta con obtener un factor de potencia próximo a 1. Hay que tener en cuenta que a nivel comercial, los condensadores se fabrican solo para ciertos valores normalizados.

4.13.1. Ventajas en la mejora del factor de potencia

Las principales consecuencias de mejorar un sistema eléctrico, cuyo factor de potencia está alejado de la unidad, son las siguientes:

- **Reducción de la potencia aparente.** La potencia aparente puede expresarse como:

$$S = \frac{P}{\cos\varphi}$$

Al mejorar el factor de potencia, y no variar la potencia activa (P), se reduce la potencia aparente (S) a transportar por la red eléctrica. Este aspecto cobra mayor importancia cuando el suministro eléctrico se proporciona desde grupos electrógenos, ya que se reduciría su dimensionamiento.

Veámoslo desde un ejemplo numérico. Para una potencia $P = 10$ kW y $\cos\varphi = 0{,}5$:

$$S = \frac{P}{\cos\varphi} = \frac{10 \text{ kW}}{0{,}5} = 20 \text{ kVA}$$

Si se mejora hasta $\cos\varphi = 1$:

$$S = \frac{P}{\cos\varphi} = \frac{10 \text{ kW}}{1} = 10 \text{ kVA}$$

- **Reducción de la intensidad eléctrica de la línea de suministro.** La mejora del factor de potencia trae consigo una reducción de la corriente eléctrica que circula por el cableado eléctrico y por consiguiente una reducción en las secciones con el ahorro económico que conlleva.

Veámoslo desde un ejemplo numérico. Se tiene un receptor monofásico de 5 kW conectado a una red eléctrica de 230 V, con $\cos\varphi = 0{,}7$:

$$I = \frac{P}{U \cdot \cos\varphi} = \frac{5000}{230 \cdot 0{,}7} = 31{,}05 \text{ A}$$

Y con $\cos\varphi = 1$:

$$I = \frac{P}{U \cdot \cos\varphi} = \frac{5000}{230 \cdot 1} = 21{,}74 \text{ A}$$

Se observa una reducción importante de la corriente eléctrica, desde 31 A hasta casi 21,74 A

- **Reducción de la factura eléctrica.** Un exceso de energía reactiva está penalizado económicamente. Si se mejora el factor de potencia se puede lograr una reducción en la factura eléctrica.

4.13.2. Mejora del factor de potencia en corriente alterna monofásica

Supongamos que un circuito eléctrico cuenta con un desfase dado (φ), por ejemplo el estado inicial de la Figura 4.30. Se desea disminuir el desfase hasta un punto cualquiera (φ'), por ejemplo el estado final.

En el punto inicial, se tiene que:

$$Q = P \cdot \tan \varphi$$

Al ser el circuito de naturaleza inductiva, se añade un condensador, consiguiendo que en el estado final:

$$Q' = P \cdot \tan \varphi'$$

Entonces el condensador debe aportar una energía reactiva de tal manera que:

$$Q_{CONDENSADOR} = Q - Q'$$

$$Q_{CONDENSADOR} = Q - Q' = P \cdot \tan \varphi - P \cdot \tan \varphi' = $$
$$= P\,(\tan \varphi - \tan \varphi')$$

Como:

$$Q_{CONDENSADOR} = \frac{U^2}{X_C}$$

Y además:

$$X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$$

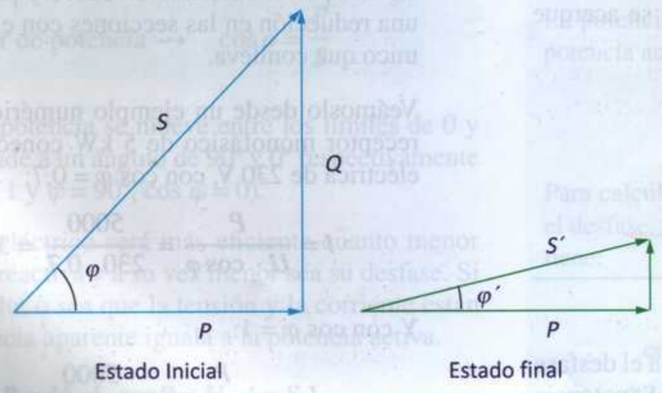


Figura 4.30. *Proceso de mejora del factor de potencia.*

Se tiene que:

$$Q_{CONDENSADOR} = U^2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C$$

Igualando ambas expresiones:

$$U^2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C = P\,(\tan \varphi - \tan \varphi')$$

Y despejando el condensador:

$$C = \frac{P\,(\tan \varphi - \tan \varphi')}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot U^2}$$

Este condensador debe tener un valor de tensión adecuada y se conectará entre fase y neutro.

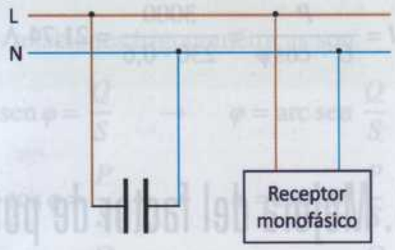


Figura 4.31. *Conexión del condensador.*

Actividad resuelta 4.10

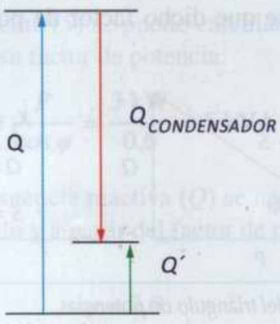
Un circuito eléctrico compuesto por un receptor monofásico de 3 kW está conectado a una red eléctrica de 230 V, con un factor de potencia de 0,6. Se desea mejorar la instalación hasta llegar a un factor de potencia de 0,98. Determina el valor del condensador a instalar.

Solución:

Se determinan los ángulos:

Estado inicial:

$$\cos \varphi = 0{,}6 \rightarrow \varphi = \text{arc cos } 0{,}6 \rightarrow \varphi = 53{,}130^\circ$$



Estado final:

$$\cos \varphi = 0{,}98 \rightarrow \varphi = \arccos 0{,}98 \rightarrow \varphi = 11{,}478^\circ$$

Se calcula el condensador:

$$C = \frac{P\,(\tan \varphi - \tan \varphi')}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot U^2} =$$

$$= \frac{3000\,(\tan 53{,}130 - \tan 11{,}478)}{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 230^2} = 204\ \mu\text{F}$$

4.14. Resonancia

Un circuito oscilante se forma con la combinación de bobinas y condensadores, y en él se produce un intercambio de energía entre la bobina y el condensador.

Un circuito RLC se dice que está en **resonancia** cuando las reactancias inductiva y capacitiva son iguales ($X_L = X_C$).

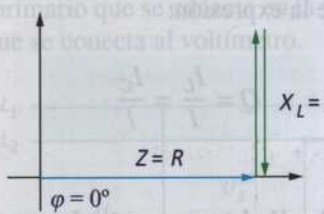


Figura 4.32. *Resonancia.*

Analizando el efecto se observa que:

$$X_L = X_C$$

$$\omega \cdot L = \frac{1}{\omega \cdot C}$$

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}} \quad ; \qquad \omega = 2 \cdot \pi \cdot f$$

Como las impedancias reactiva y capacitiva dependen de la frecuencia, la resonancia solo ocurrirá para una determinada frecuencia, llamada **frecuencia de resonancia** f_r, según la expresión:

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

Se observa que el valor de la resistencia no influye en la frecuencia de resonancia.

Actividad resuelta 4.11

Calcula la frecuencia para la cual un circuito formado por una resistencia de 120 Ω, un condensador de 4,7 µF y una bobina de 33 mH entra en resonancia.

Solución:

La frecuencia de resonancia se obtiene aplicando la expresión:

$$f_r = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{33 \cdot 10^{-3} \cdot 4{,}7 \cdot 10^{-6}}} =$$

$$= 404{,}12\ \text{Hz}$$

Estos circuitos oscilantes formados por una bobina y un condensador transforman la energía magnética generada en la bobina por energía eléctrica del condensador de una manera cíclica.

Los circuitos eléctricos oscilantes pueden ser de dos tipos: circuito resonante serie y circuito resonante paralelo.

- **Circuito resonante serie.** En este caso las tensiones parciales (en bornes de la bobina y el condensador) son Q veces mayores que la tensión aplicada al circuito. Por ello reciben el nombre de **resonancia de tensión.**

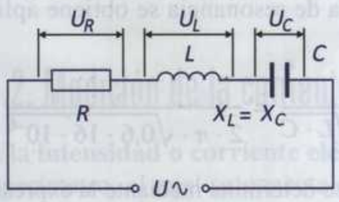


Figura 4.33. *Circuito resonante serie.*

El término adimensional Q recibe el nombre de **factor de calidad** y puede expresarse en función de la tensión:

$$Q = \frac{U_L}{U} = \frac{U_C}{U}$$

Otro parámetro interesante es el **ancho de banda** ($\Delta\omega$) que se define como $\Delta\omega = \omega_1 - \omega_2$, siendo ω_1 y ω_2 las frecuencias en las que la potencia tiene la mitad del valor máximo, Figura 4.34.

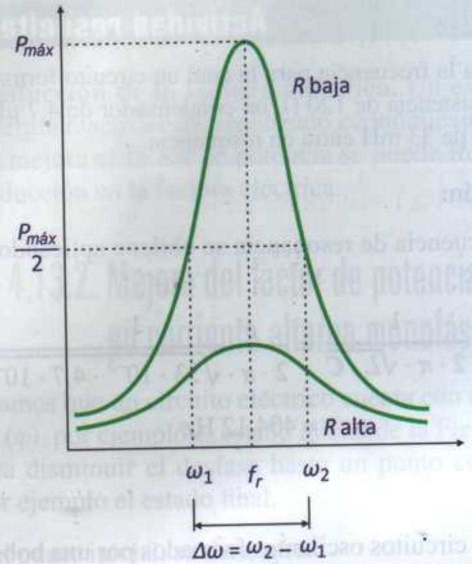


Figura 4.34. *Curva de respuesta en frecuencia.*

Actividad resuelta 4.12

Calcula la frecuencia de resonancia, la tensión en bornes de la bobina y el condensador y el factor de calidad para un circuito formado por una resistencia de 10 Ω, un condensador de 16 μF y una bobina de 0,6 H que están conectados a una fuente de 100 V.

Solución:

La frecuencia de resonancia se obtiene aplicando la expresión:

$$f_r = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{0{,}6 \cdot 16 \cdot 10^{-6}}} = 51{,}36 \text{ Hz}$$

La corriente se determina mediante la expresión:

$$I = \frac{U}{Z}$$

En resonancia, $Z = R$, por tanto:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{100}{10} = 10 \text{ A}$$

En resonancia, las tensiones en bornes de la bobina y del condensador son las mismas:

$$U_C = U_L$$

$$U_L = I \cdot X_L = I \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$$

$$U_C = U_L = 10 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 51{,}36 \cdot 0{,}6 = 1936 \text{ V}$$

Se observa que la tensión entre ambos elementos puede ser muy elevada respecto a la de alimentación del circuito.

El factor de calidad (Q) se determina mediante la expresión:

$$Q = \frac{U_L}{U} = \frac{U_C}{U} = \frac{1936}{100} = 19{,}36$$

- **Circuito resonante paralelo.** Está formado por un circuito RLC paralelo. En este tipo de circuito se producen unas sobrecorrientes en la bobina y en el condensador, por ello recibe el nombre de **resonancia de corriente.**

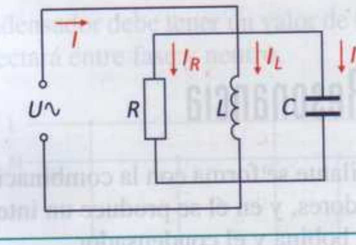


Figura 4.35. *Circuito resonante paralelo.*

La frecuencia de resonancia se calcula con la misma ecuación vista para el circuito resonante serie y el factor de calidad mediante la expresión:

$$Q = \frac{I_L}{I} = \frac{I_C}{I}$$

4.15. Medición en corriente alterna monofásica

La medición de los parámetros fundamentales es similar a la realizada en corriente continua.

4.15.1. Medición de la tensión eléctrica

La medida de la tensión eléctrica en alterna, al igual que en corriente continua, se realiza con un **voltímetro,** el cual se conecta en **paralelo** con el objeto a medir.

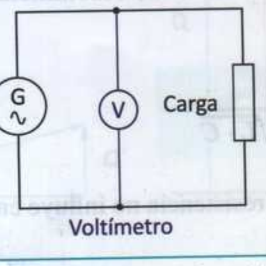


Figura 4.36. *Medición de la tensión en alterna con voltímetro.*

Figura 4.37. *Voltímetro. (Cortesía de Circutor.)*

Recuerda:

Antes de proceder a realizar la medida se debe seleccionar en el voltímetro la naturaleza de la corriente (corriente continua o alterna), además, se debe poner el selector en el rango de medida adecuada, por ejemplo si se desea medir la tensión en un enchufe o toma de corriente, se debe seleccionar corriente alterna y además como se esperan valores de 230 V, el selector de rango se debe colocar por encima de ese valor, por ejemplo si el voltímetro tiene dos rangos de 200 V y 500 V, se colocará en 500 V, ya que el rango de 200 V se queda por debajo del valor esperado.

Estos aparatos de medición proporcionan los valores eficaces. Así, en una lectura de tensión, no se suele decir que la lectura es de 230 V de tensión eficaz, sino simplemente 230 V.

Cuando se desea aumentar el alcance de la medición del voltímetro en corriente alterna se emplean los transformadores de tensión. El transformador de tensión consta de dos circuitos: el primario que se conecta en la línea a medir y el secundario que se conecta al voltímetro.

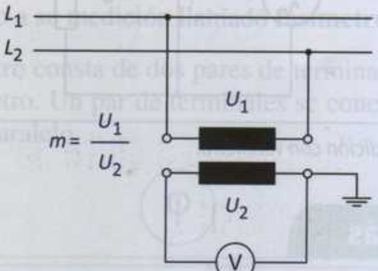


Figura 4.38. *Medición de la tensión mediante transformador.*

En el secundario del transformador se obtiene una tensión que es reducida en una proporción conocida que proporciona el fabricante.

Esta relación de transformación (m) viene determinada por la expresión:

$$m = \frac{U_1}{U_2}$$

Actividad resuelta 4.13

Se desea emplear un voltímetro cuyo final de escala es 100 V, para medir tensiones de hasta 2000 V. El voltímetro tiene una escala con 20 divisiones. Determina la relación de transformación y cuál será la lectura cuando la aguja marque en la escala 16 divisiones.

Solución:

La relación de transformación es:

$$m = \frac{U_1}{U_2} = \frac{2000}{100} = 20$$

La constante del voltímetro es de:

$$k = \frac{100\ \text{V}}{20\ \text{div}} = 5\ \text{V/div}$$

Y con el transformador la constante pasa a ser de:

$$k = \frac{2000\ \text{V}}{20\ \text{div}} = 100\ \text{V/div}$$

Así, cuando marque 16 divisiones, la tensión será de:

$$V = 100\ \text{V/div} \cdot 16\ \text{div} = 1600\ \text{V}$$

La simbología que se emplea con los transformadores de tensión (multifilar y unifilar) es la siguiente:

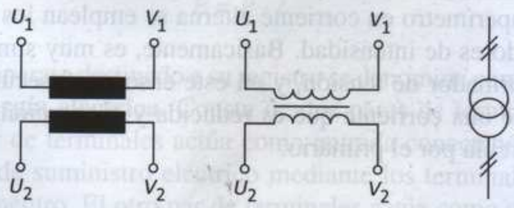


Figura 4.39. *Simbología de los transformadores de tensión.*

4.15.2. Medición de la corriente eléctrica

La medida de la **intensidad o corriente eléctrica** se realiza con un amperímetro, el cual se conecta en **serie** con el circuito.

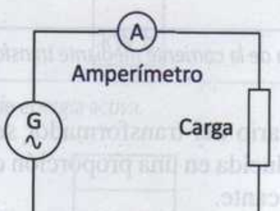


Figura 4.40. *Medición con amperímetro.*

La conexión de un amperímetro, al conectarse el aparato en serie, implica interrumpir momentáneamente el circuito para intercalar el aparato de medida. Para solventar este inconveniente, existe una variante del amperímetro, llamado pinza amperimétrica (Figura 4.43), que mediante unas pinzas abraza al cableado y realiza la medición.

Figura 4.41. *Amperímetro. (Cortesía de Circutor.)*

Figura 4.42. *Miliamperímetro. (Cortesía de Circutor.)*

Figura 4.43. *Pinza amperimétrica. (Cortesía de Circutor.)*

Cuando se desea aumentar el alcance de la medición del amperímetro en corriente alterna se emplean los transformadores de intensidad. Básicamente, es muy similar al transformador de tensión, y en este caso en el secundario aparece una corriente que es reducida y proporcional a la que circula por el primario.

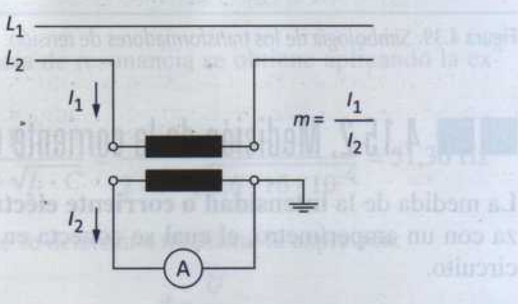


Figura 4.44. *Medición de la corriente mediante transformador.*

En el secundario del transformador se obtiene una corriente que es reducida en una proporción conocida que proporciona el fabricante.

Esta relación de transformación (*m*) viene determinada por la expresión:

$$m = \frac{I_1}{I_2}$$

La simbología que se emplea con los transformadores de corriente (multifilar y unifilar) es la siguiente:

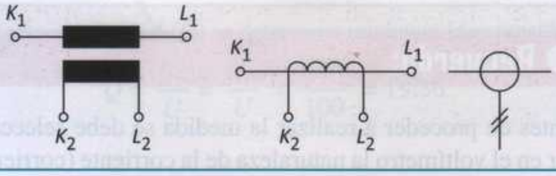


Figura 4.45. *Simbología de los transformadores de corriente.*

4.15.3. Medición de la potencia

Para la medición de la potencia se emplea el **vatímetro.** Este aparato consta de dos pares de terminales, de los cuales **uno de ellos se conecta en serie** (bobina amperimétrica) **y el otro se conecta en paralelo** (bobina voltimétrica).

Figura 4.46. *Símbolo del vatímetro.*

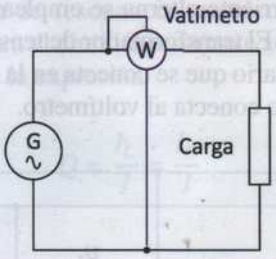


Figura 4.47. *Medición con vatímetro.*

Saber más

Es posible que, al realizar la lectura en un vatímetro de aguja, esta intente girar en sentido contrario. Esto se soluciona cambiando los bornes de una de las bobinas.

En corriente alterna existen dos tipos de aparatos en función del tipo de potencia:

- **Vatímetro.** Realiza la medición de la **potencia activa,** obteniendo su lectura en vatios (W).

Figura 4.48. *Vatímetro. (Cortesía de Circutor.)*

- **Varímetro.** Realiza la medición de la **potencia reactiva,** obteniendo su lectura en **voltiamperios reactivos (VAR)**. El varímetro se conecta de idéntica manera que el vatímetro.

Figura 4.49. *Símbolo del varímetro.*

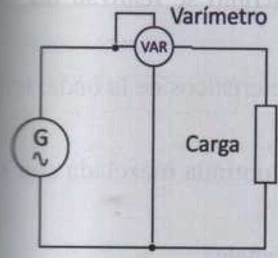


Figura 4.50. *Medición con varímetro.*

Figura 4.51. *Varímetro. (Cortesía de Circutor.)*

4.15.4. Medición del factor de potencia

Aunque el factor de potencia se puede obtener indirectamente a partir de las mediciones de potencia, existe un aparato destinado a su medición llamado **fasímetro.**

El fasímetro consta de dos pares de terminales, al igual que el vatímetro. Un par de terminales se conecta en serie y el otro en paralelo.

Figura 4.52. *Símbolo del fasímetro.*

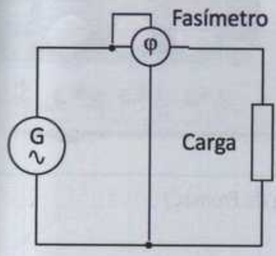


Figura 4.53. *Medición con fasímetro.*

Figura 4.54. *Fasímetro. (Cortesía de Circutor.)*

4.15.5. Medición de la frecuencia

El aparato destinado a la medición de la frecuencia de la red eléctrica alterna se denomina **frecuencímetro,** obteniendo la lectura en hercios (Hz). Este aparato se conecta en **paralelo** con la red de alimentación eléctrica.

Figura 4.55. *Símbolo del frecuencímetro.*

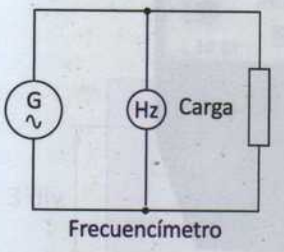


Figura 4.56. *Medición con frecuencímetro.*

Figura 4.57. *Frecuencímetro. (Cortesía de Circutor.)*

4.15.6. Medición de la energía

La energía eléctrica se puede expresar como el producto de la potencia (W, vatios) por el tiempo (s, segundos).

$$E = P \cdot t$$

El aparato destinado a su registro se denomina **contador de energía eléctrica.** Consta de dos pares de terminales. Un par de terminales actúa como entrada conectándose a la red de suministro eléctrico mediante los terminales de fase y neutro. El otro par de terminales actúa como salida, conectándose a la red del abonado.

Generalmente, en las instalaciones basadas en corriente monofásica el contador de energía se encarga de la potencia activa. Su lectura es en kilovatios hora (kW · h). No obstante, la energía reactiva se puede medir (se estudiará en la unidad siguiente).

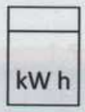


Figura 4.58. *Contador de energía activa.*

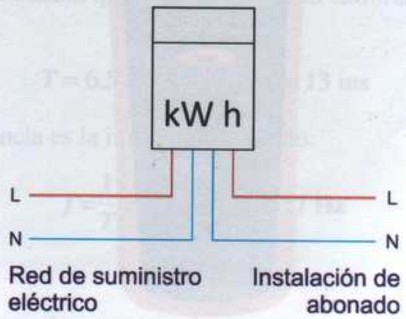


Figura 4.59. *Medición con contador de energía activa monofásico.*

Figura 4.60. *Contador monofásico. (Cortesía de Circutor.)*

4.15.7. Medición de la resistencia de aislamiento

La medición de la resistencia de aislamiento es una medida que indica la calidad de los aislantes en la instalación. Con el paso del tiempo los aislantes van perdiendo sus facultades. El aparato de medida destinado a esta tarea es el ***megger***, y el valor de la lectura se indica en megaohmios (MΩ; 1 MΩ = 10^6 Ω).

La medición se realiza sin tensión y es el propio aparato el cual genera una tensión de ensayo entre 250 V y 1000 V con una intensidad muy baja. Conociendo la tensión de prueba se miden las corrientes de fuga.

Figura 4.61. *Símbolo del* megger.

Figura 4.62. *Medidor de aislamiento. (Cortesía de Fluke.)*

4.15.8. El osciloscopio

Un osciloscopio es un aparato de medición que presenta los resultados en formato gráfico sobre una pantalla. Se emplea para medir señales eléctricas que son variables en el tiempo. La pantalla consta de dos ejes, donde el eje vertical representa el valor de la magnitud en voltios y el eje horizontal representa el tiempo.

Básicamente, con un osciloscopio se realizan las siguientes tareas:

- Medir los parámetros característicos de la onda: tensión, período, frecuencia.
- Medir la componente de continua mezclada con la señal alterna.
- Medir el desfase ente dos señales.
- Localizar averías y malfuncionamientos.

Existen dos tipos de osciloscopios a nivel de procesamiento de la señal a medir:

- Analógicos.
- Digitales.

Actualmente, la mayoría de osciloscopios son de tipo digital.

Figura 4.63. *Osciloscopio digital. (Cortesía de Promax.)*

Como son capaces de manejar dos señales, estos dispondrán de dos entradas mediante conectores de tipo BNC donde se conectarán las sondas de medida. Cada sonda se conecta a un canal (I y II).

Para poder ajustar las señales se dispone de los siguientes controles:

- **Base de tiempos.** Trabaja sobre el eje de tiempos. Permite ajustar la señal para poder visualizar con comodidad.

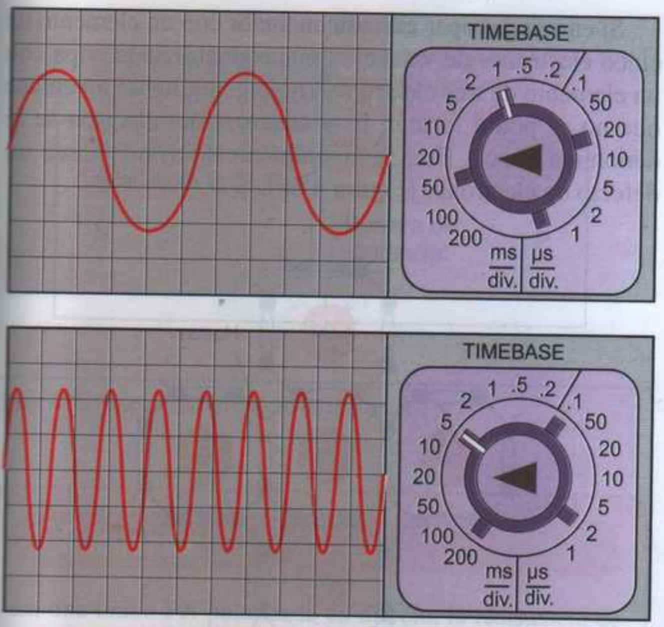


Figura 4.64. *Señal visualizada con diferentes bases de tiempos.*

- **Control de amplitud.** Permite, mediante un conmutador rotativo, variar la escala para visualizar la amplitud de la señal. Dispone de un control de amplitud por cada canal.

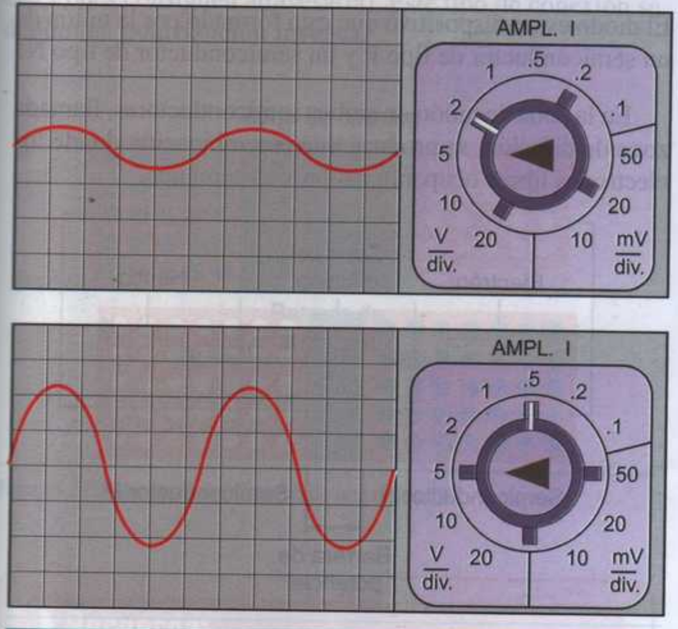


Figura 4.65. *Señal visualizada con escalas de amplitud.*

Además, posee diversos controles para desplazar las señales para poder centrar la señal, invertirla, filtrar la componente de corriente continua, etcétera.

Actividad resuelta 4.14

En la pantalla de un osciloscopio se observa la siguiente señal. Calcula la tensión máxima, eficaz, período y frecuencia.

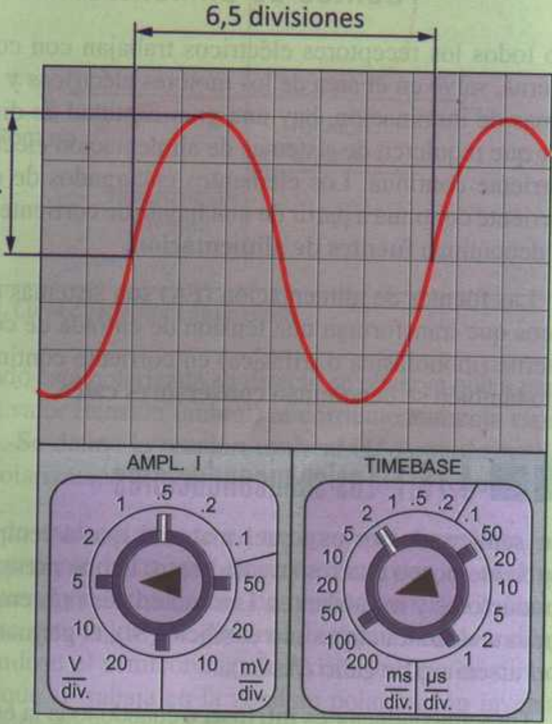


Figura 4.66. *Señal visualizada en el osciloscopio.*

Solución:

La tensión máxima se obtiene del eje vertical teniendo en cuenta que en este caso está calibrado a 0,5 V/div:

$$U_{máx} = 3 \text{ div} \cdot 0{,}5 \text{ V/div} = 1{,}5 \text{ V}$$

La tensión eficaz es de:

$$V = \frac{V_{máx}}{\sqrt{2}} = \frac{1{,}5}{\sqrt{2}} = 1{,}06 \text{ V}$$

El período de la señal del eje horizontal o de tiempos, teniendo en cuenta que en este caso está calibrado a 2 ms/div, es:

$$T = 6{,}5 \text{ div} \cdot 2 \text{ ms/div} = 13 \text{ ms}$$

La frecuencia es la inversa del período:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{13 \cdot 10^{-3}} = 77 \text{ Hz}$$

4.16. Conversión de corriente alterna en corriente continua. Fuentes de alimentación

No todos los receptores eléctricos trabajan con corriente alterna, salvo en el área de los motores eléctricos y los sistemas de iluminación, hay una gran cantidad de dispositivos que requieren de sistemas de alimentación eléctrica en corriente continua. Los elementos encargados de obtener corriente continua a partir de una fuente de corriente alterna se denominan **fuentes de alimentación.**

Las fuentes de alimentación (FA) son sistemas electrónicos que transforman una tensión de entrada de corriente alterna (monofásica o trifásica) en corriente continua, por ello también se denominan **conversores ca/cc.**

4.16.1. Los semiconductores

Un semiconductor es aquel material que a temperatura ambiente posee una resistividad entre la que presentan los conductores y los aislantes. Los materiales más empleados como semiconductores son el silicio (Si), el germanio (Ge) y el arseniuro de galio (AsGa).

Un semiconductor es **intrínseco** cuando toda la estructura molecular es del mismo elemento, como por ejemplo silicio, en cambio, un semiconductor es **extrínseco** cuando se le añaden impurezas, como por ejemplo arsenio, indio, galio, etc. A este proceso se le denomina **dopado del semiconductor.**

Si se coge la estructura molecular de un semiconductor, por ejemplo el silicio, que posee un enlace covalente, es decir que la última capa de electrones comparte dos de ellos con su adyacente y se le añade una impureza, por ejemplo fósforo que posee cinco electrones de valencia, se obtiene un **semiconductor de tipo N.** Este semiconductor de tipo N posee un exceso de electrones libres (Figura 4.67).

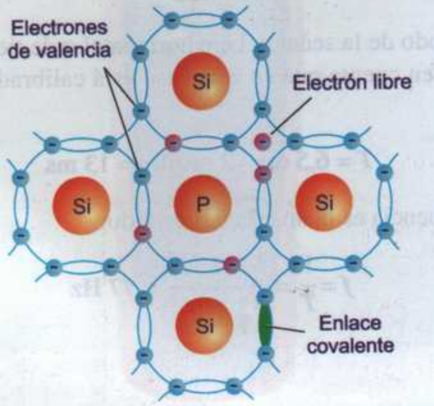


Figura 4.67. *Semiconductor tipo N.*

Si en vez de topar al semiconductor con un elemento de cinco electrones de valencia (pentavalente) se le dopa con un elemento de tres electrones (trivalente), habrá un enlace que no se podrá formar. Esta ausencia del electrón se le denomina hueco. Este semiconductor de tipo P posee un defecto de electrones (Figura 4.68).

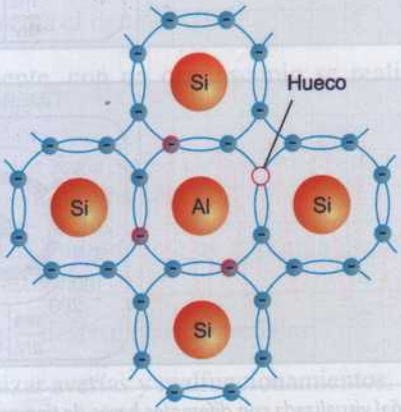


Figura 4.68. *Semiconductor tipo P.*

4.16.2. El diodo

El diodo es un dispositivo que está formado por la unión de un semiconductor de tipo P y un semiconductor de tipo N.

En la zona de unión de ambos semiconductores, llamada zona de difusión, se produce una recombinación donde los electrones libres ocuparán los huecos cercanos.

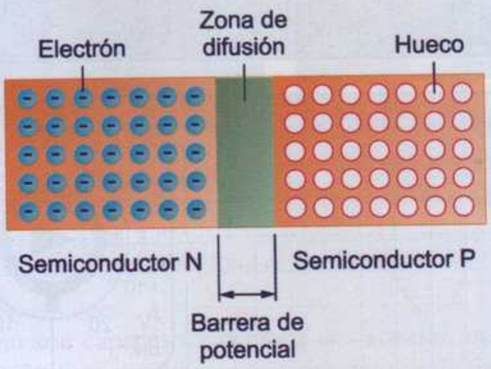


Figura 4.69. *Unión PN en un semiconductor.*

Cuando una unión PN se conecta a una fuente de tensión aplicando un potencial positivo a la zona P y un potencial negativo a la zona N, la unión queda **polarizada en directo.** La zona de difusión se reduce favoreciendo el movimiento de estos electrones libres y de los huecos y estableciendo el paso de la corriente eléctrica a través de él.

Figura 4.70. *Polarización en directo de una unión PN.*

Recuerda:

En una unión PN polarizada en directo, la resistencia de la unión es baja.

Si en la unión PN se conecta la zona N a un potencial positivo y la zona P a un potencial negativo, la zona de difusión aumenta impidiendo el paso de la corriente eléctrica (realmente circula una pequeña corriente ya que algunos electrones consiguen atravesarla). Este tipo de conexión se denomina **polarización inversa.**

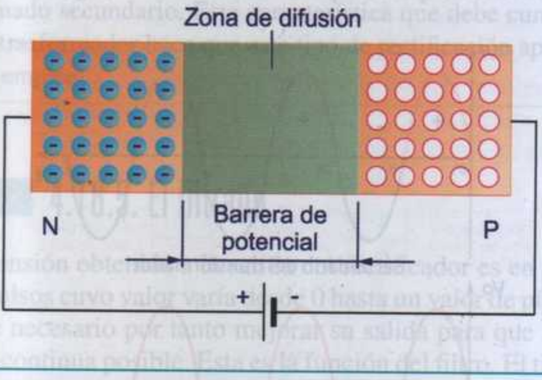


Figura 4.71. *Polarización en inverso de una unión PN.*

Recuerda:

En una unión PN polarizada en inverso, la resistencia de la unión es alta.

La curva característica de un diodo es la mostrada en la Figura 4.72.

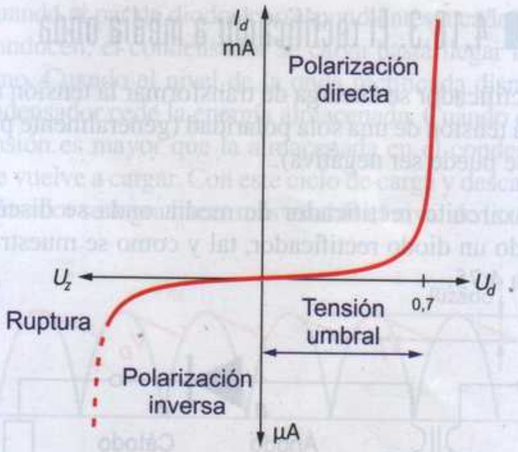


Figura 4.72. *Curva característica de un diodo.*

Cuando está polarizada en directo se observa que a partir de un valor (tensión umbral) la corriente aumenta rápidamente. Se define la **tensión umbral** (U_γ) como aquella que en polarización directa circula el 1 % de la corriente.

Cuando está polarizada en inverso, prácticamente no circula corriente hasta que llega un punto en el cual se produce una avalancha (punto de tensión zener). El diodo no soporta este valor y se produce la ruptura de la unión, destruyéndose el semiconductor. Existe un tipo de diodo especial que sí trabaja en la zona de polarización inversa denominado **diodo zener.** Otro tipo de diodo es el **diodo led,** el cual emite luz cuando está trabajando.

Figura 4.73. *Diodo.*

El diodo se representa por la simbología de la Tabla 4.1.

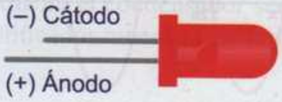
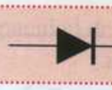


Figura 4.74. *Diodo led.*

Tabla 4.1. Simbología del diodo

	Diodo
	Diodo zener
	Diodo led

4.16.3. El rectificador a media onda

Un rectificador se encarga de transformar la tensión alterna en una tensión de una sola polaridad (generalmente positiva aunque puede ser negativa).

El circuito rectificador de media onda se diseña empleando un diodo rectificador, tal y como se muestra en la Figura 4.75.

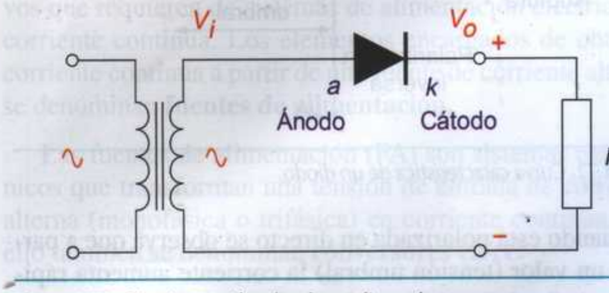


Figura 4.75. *Circuito rectificador de media onda.*

Como para que el diodo conduzca es necesario que supere esa barrera de potencial de 0,7 V (0,7 V para los diodos de silicio y 0,2 V para los de germanio), la tensión en el ánodo debe ser 0,7 V mayor respecto al cátodo.

Cuando la tensión en el ánodo del diodo sea positiva y suficiente para superar la barrera de potencial, el diodo estará directamente polarizado, conduciendo y dejando pasar la corriente.

Cuando en la onda alterna se esté en la zona negativa, el diodo estará inversamente polarizado impidiendo el paso de la corriente.

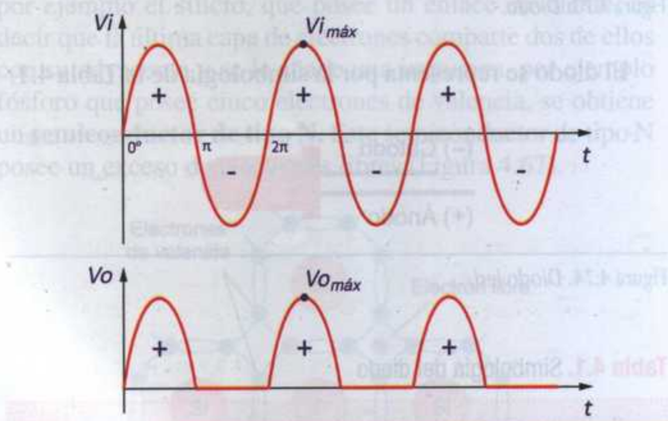


Figura 4.76. *Señales en el rectificador de media onda.*

Se observa que la tensión en la resistencia de carga es unidireccional positiva (pulsante), pero no continua o constante. Esta forma de onda se denomina rectificación de media onda porque no se rectifica toda la corriente alterna sino que solo se rectifica la parte positiva.

El rendimiento de este tipo de rectificador es bajo, situándose en el 40 %, por este motivo no se emplea.

4.16.4. El rectificador de onda completa

El rectificador de onda completa es una mejora respecto al rectificador de media onda. Emplea un puente de diodos (puente de Graetz) compuesto de cuatro diodos rectificadores en disposición según la Figura 4.77.

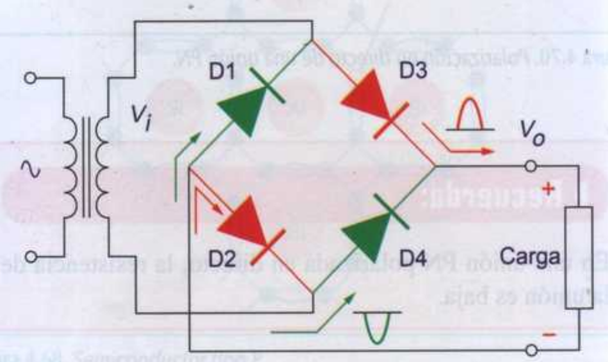


Figura 4.77. *Circuito rectificador de onda completa.*

Cuando el valor de la tensión alterna a la entrada del puente de diodos (*Vi*) es positiva, los diodos D2 y D3 están polarizados en directo y conducen, mientras que los diodos D1 y D4 están polarizados en inverso. Cuando llega el semiciclo negativo los diodos D1 y D4 se polarizan en directo conduciendo y los diodos D2 y D3 se polarizan en inverso (Figura 4.78).

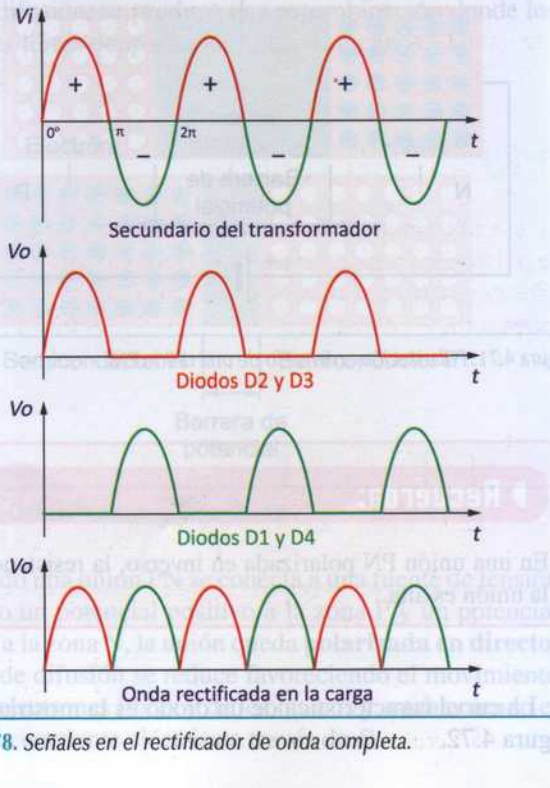


Figura 4.78. *Señales en el rectificador de onda completa.*

La construcción del puente de diodos en disposición de Graetz se puede realizar mediante cuatro diodos aunque se comercializan ya encapsulados juntos.

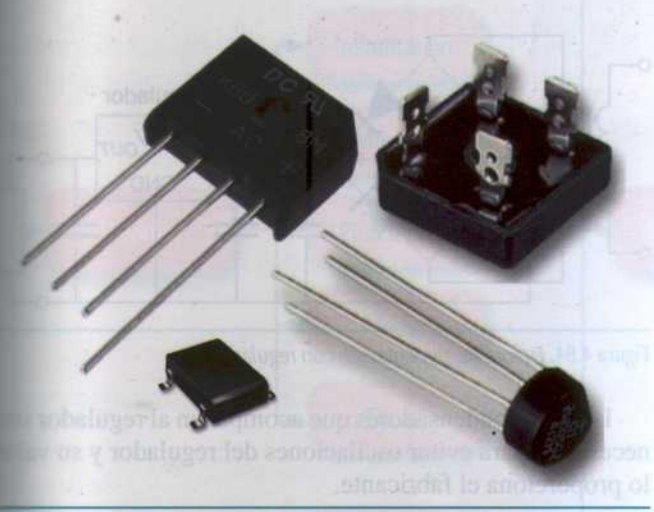


Figura 4.79. *Puente rectificador de Graetz.*

El rendimiento de este tipo de rectificador se sitúa en el 81,1 %.

Saber más

Se puede obtener un rectificador de onda completa con solo dos diodos, pero para ello se necesita que el transformador tenga una toma intermedia justo en la mitad del devanado secundario. Esta característica que debe cumplir el trasformador hace que este tipo de rectificación apenas se emplee.

4.16.5. El filtrado

La tensión obtenida a la salida del rectificador es en forma de pulsos cuyo valor varía desde 0 hasta un valor de pico. Se hace necesario por tanto mejorar su salida para que sea lo más continua posible. Esta es la función del filtro. El tipo de filtro más común y sencillo es empleando un condensador.

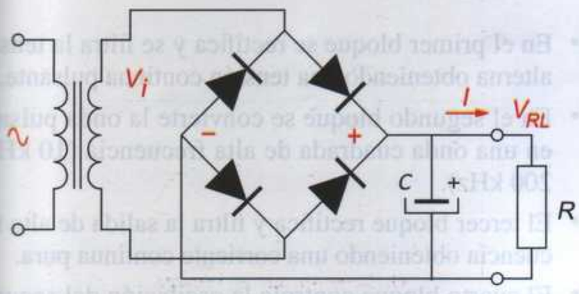


Figura 4.80. *Circuito rectificador con filtro.*

Cuando el par de diodos correspondientes a cada semiciclo conducen, el condensador se carga hasta llegar al valor máximo. Cuando el nivel de la onda rectificada disminuye, el condensador cede la energía almacenada. Cuando el nivel de tensión es mayor que la almacenada en el condensador, este se vuelve a cargar. Con este ciclo de carga y descarga del condensador se logra hacer más estable el nivel de la tensión.

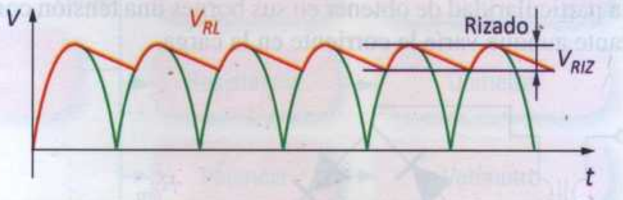


Figura 4.81. *Efecto del condensador como filtro.*

Esta fluctuación en la tensión de salida se denomina **rizado,** y se suele expresar en porcentaje. Cuanto menor sea el rizado más continuo es el valor de salida de la fuente de alimentación. Para conseguir reducir el rizado se emplean condensadores de gran capacidad (del orden de mF).

Esta tensión de rizado (V_{RIZ}) conviene que sea inferior al 10 %, y para el rectificador de onda completa, el valor del condensador a emplear viene definido por la expresión:

$$C = \frac{I}{2 \cdot f \cdot V_{RIZ}}$$

Actividad resuelta 4.15

En un rectificador de onda completa, el secundario del transformador proporciona 17 V a 50 Hz. La carga consume una corriente de 150 mA. Determina la capacidad del condensador a emplear y la tensión de rizado.

Solución:

La tensión media en el condensador será la tensión a la entrada del rectificador menos la caída de tensión en cada diodo:

$$V_{Cmed} = 17 - 0{,}7 - 0{,}7 = 15{,}6\ \text{V}$$

La tensión de rizado debe ser como máximo el 10 %:

$$V_{RIZ} = 10\ \%\ \ V_{Cmed} = 0{,}1 \cdot 15{,}6 = 1{,}56\ \text{V}$$

La capacidad del condensador será de:

$$C = \frac{I}{2 \cdot f \cdot V_{RIZ}} = \frac{0{,}15}{2 \cdot 50 \cdot 1{,}56} = 962\ \mu\text{F}$$

Se elige el condensador comercial inmediato superior:

$$C = 1000\ \mu\text{F}$$

4.16.6. El estabilizador

El estabilizador es la parte del circuito electrónico que se encarga de eliminar el rizado residual para conseguir un nivel de tensión constante a la salida.

El dispositivo electrónico que se emplea es el diodo zener, el cual trabaja en polarización inversa. Este diodo tiene la particularidad de obtener en sus bornes una tensión constante aunque varíe la corriente en la carga.

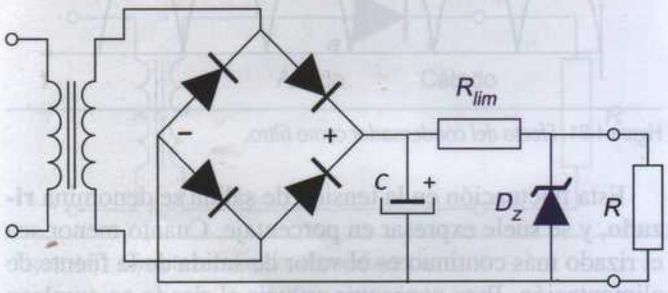


Figura 4.82. *Fuente de alimentación con regulador zener.*

La tensión en bornes del diodo zener (tensión zener) debe ser de un valor igual a la tensión de salida. La resistencia (R_{lim}) limita la corriente máxima del zener. Otro parámetro importante es la potencia máxima que puede disipar el zener.

Esta disposición de diodo zener en paralelo es adecuada en la mayoría de ocasiones. Una mejora es colocar un transistor en serie con la carga. El control del transistor se realiza mediante un diodo zener.

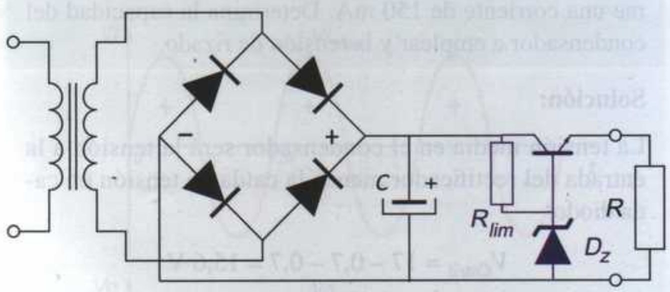


Figura 4.83. *Fuente de alimentación con regulador a transistor.*

4.16.7. El regulador

Cuando se desea reducir aún más el factor de rizado y hacer más estable y exacta la tensión de salida se emplean los **reguladores.** Un regulador se puede realizar mediante componentes electrónicos, aunque es más sencillo emplear reguladores integrados, como por ejemplo las series 78XX y LM317.

Básicamente, el regulador consiste en un componente electrónico con tres terminales, tal como se muestra en el esquema del circuito de la Figura 4.84.

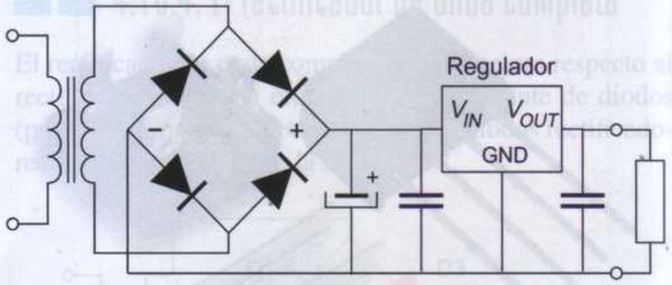


Figura 4.84. *Fuente de alimentación con regulador.*

Los dos condensadores que acompañan al regulador son necesarios para evitar oscilaciones del regulador y su valor lo proporciona el fabricante.

Estos reguladores suelen necesitar de una tensión a la entrada (V_{IN}) de unos 2 o 3 voltios superiores a la tensión de salida (V_{OUT}).

4.16.8. Las fuentes de alimentación conmutadas

Las fuentes conmutadas fueron desarrolladas para aplicaciones militares y aeroespaciales donde el tamaño y peso es importante. Son unos convertidores de cc-cc que emplean una circuitería compleja, con ellos se consiguen rendimientos alrededor del 90 %, mientras que con las fuentes lineales su rendimiento se sitúa sobre el 50 %. Básicamente, constan de los siguientes bloques:

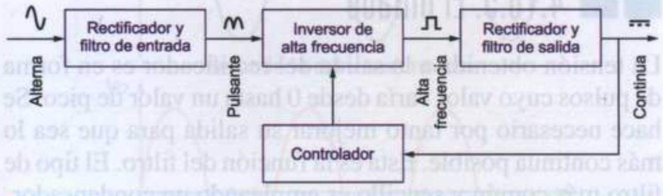
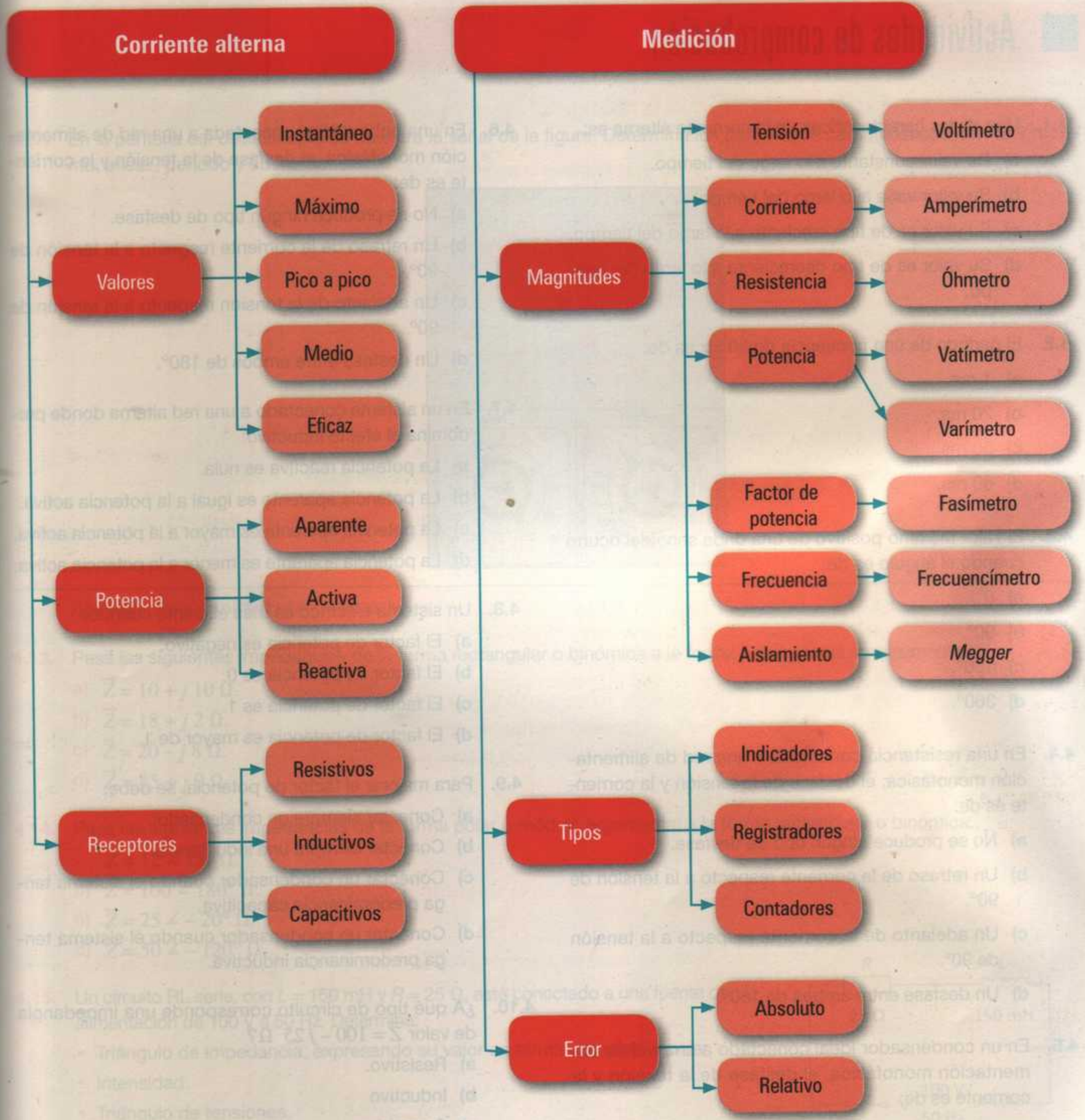


Figura 4.85. *Esquema de bloques de una fuente conmutada.*

- En el primer bloque se rectifica y se filtra la tensión alterna obteniendo una tensión continua pulsante.
- En el segundo bloque se convierte la onda pulsante en una onda cuadrada de alta frecuencia (10 kHz a 200 kHz).
- El tercer bloque rectifica y filtra la salida de alta frecuencia obteniendo una corriente continua pura.
- El cuarto bloque controla la oscilación del segundo bloque supervisando la tensión de salida.

MAPA CONCEPTUAL



Actividades de comprobación

4.1. Una de las características de la corriente alterna es:

a) De valor constante a lo largo del tiempo.

b) Su valor varía a lo largo del tiempo.

c) Su valor es de tipo creciente a lo largo del tiempo.

d) Su valor es de tipo decreciente a lo largo del tiempo.

4.2. El período de una frecuencia de 50 Hz es de:

a) 1 ms.

b) 20 ms.

c) 50 ms.

d) 60 ms.

4.3. El valor máximo positivo de una onda senoidal ocurre cuando el ángulo es de:

a) 0º.

b) 90º.

c) 180º.

d) 360º.

4.4. En una resistencia conectada a una red de alimentación monofásica, el desfase de la tensión y la corriente es de:

a) No se produce ningún tipo de desfase.

b) Un retraso de la corriente respecto a la tensión de 90º.

c) Un adelanto de la corriente respecto a la tensión de 90º.

d) Un desfase entre ambos de 180º.

4.5. En un condensador ideal conectado a una red de alimentación monofásica, el desfase de la tensión y la corriente es de:

a) No se produce ningún tipo de desfase.

b) Un retraso de la corriente respecto a la tensión de 90º.

c) Un adelanto de la tensión respecto a la tensión de 90º.

d) Un desfase entre ambos de 180º.

4.6. En una bobina ideal conectada a una red de alimentación monofásica, el desfase de la tensión y la corriente es de:

a) No se produce ningún tipo de desfase.

b) Un retraso de la corriente respecto a la tensión de 90º.

c) Un adelanto de la tensión respecto a la tensión de 90º.

d) Un desfase entre ambos de 180º.

4.7. En un sistema conectado a una red alterna donde predomina el efecto inductivo:

a) La potencia reactiva es nula.

b) La potencia aparente es igual a la potencia activa.

c) La potencia aparente es mayor a la potencia activa.

d) La potencia aparente es menor a la potencia activa.

4.8. Un sistema eléctrico es más eficiente cuando:

a) El factor de potencia es negativo.

b) El factor de potencia es 0.

c) El factor de potencia es 1.

d) El factor de potencia es mayor de 1.

4.9. Para mejorar el factor de potencia, se debe:

a) Conectar siempre un condensador.

b) Conectar siempre una inductancia.

c) Conectar un condensador cuando el sistema tenga predominancia capacitiva.

d) Conectar un condensador cuando el sistema tenga predominancia inductiva.

4.10. ¿A qué tipo de circuito corresponde una impedancia de valor $\vec{Z} = 100 - j\,25\ \Omega$?

a) Resistivo.

b) Inductivo

c) Capacitivo.

d) Faltan más datos para poder determinarlo.

4.11. Una de las características de mejorar el factor de potencia es:

a) Se reduce la corriente que circula por la línea de suministro.

b) Se aumenta la sección del cableado eléctrico.

c) Se aumenta la potencia aparente del sistema.

d) Se reduce la potencia activa del sistema.

Actividades de aplicación

4.12. En la pantalla del osciloscopio se muestra la señal de la figura. Determina los parámetros característicos del valor máximo, eficaz, período y su frecuencia.

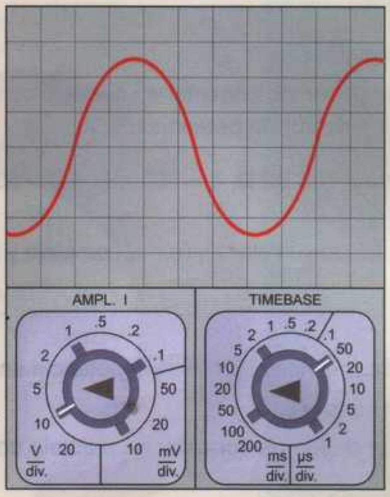


Figura 4.86. *Señal visualizada en el osciloscopio.*

4.13. Pasa las siguientes impedancias de la forma rectangular o binómica a la forma polar o módulo argumental:

a) $\vec{Z} = 10 + j\,10\ \Omega$.
b) $\vec{Z} = 18 + j\,2\ \Omega$.
c) $\vec{Z} = 20 - j\,8\ \Omega$.
d) $\vec{Z} = 25 + j\,0\ \Omega$.

4.14. Pasa las siguientes impedancias de la forma polar o módulo argumental a la forma rectangular o binómica:

a) $\vec{Z} = 12 \angle 15°\ \Omega$.
b) $\vec{Z} = 100 \angle 180°\ \Omega$.
c) $\vec{Z} = 25 \angle -20°\ \Omega$.
d) $\vec{Z} = 50 \angle -120°\ \Omega$.

4.15. Un circuito RL serie, con L = 150 mH y R = 25 Ω, está conectado a una fuente de alimentación de 100 V a 50 Hz. Determina:

- Triángulo de impedancia, expresando su valor en forma compleja y polar.
- Intensidad.
- Triángulo de tensiones.
- Factor de potencia y triángulo de potencias. Expresa la potencia en forma compleja y polar.

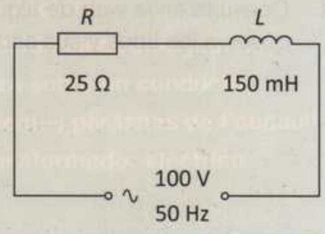


Figura 4.87.

4.16. Un circuito RC serie, con C = 47 µF y R = 82 Ω, está conectado a una fuente de alimentación de 80 V a 50 Hz. Determina:

- Triángulo de impedancia, expresando su valor en forma compleja y polar.
- Intensidad.
- Triángulo de tensiones.
- Factor de potencia y triángulo de potencias. Expresa la potencia en forma compleja y polar.

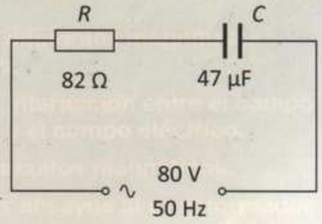


Figura 4.88.

4.17. Sea un circuito RLC serie formado por $R = 0{,}5\ \text{k}\Omega$, $L = 0{,}8\ \text{H}$ y $C = 50\ \mu\text{F}$, conectado a una fuente de alimentación de $V = 230\ \text{V}$ a 50 Hz. Determina:

- **a)** Triángulo de impedancia, expresando su valor en forma compleja y polar.
- **b)** Intensidad.
- **c)** Triángulo de tensiones.
- **d)** Factor de potencia y triángulo de potencias. Expresa la potencia en forma compleja y polar.
- **e)** Frecuencia de resonancia del circuito.
- **f)** Capacidad del condensador que debemos conectar en paralelo con el circuito inicial si queremos corregir el factor de potencia a 0,98.

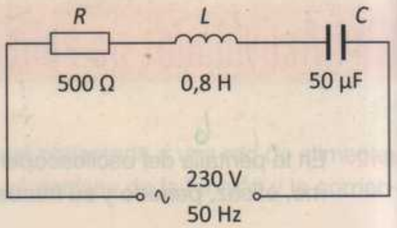


Figura 4.89.

4.18. Sea un circuito RLC serie formado por $R = 30\ \Omega$, $L = 500\ \text{mH}$ y $C = 50\ \mu\text{F}$, conectado a una fuente de alimentación de 200 V a 50 Hz. Determina:

- **a)** Triángulo de impedancia, expresando su valor en forma compleja y polar.
- **b)** Intensidad.
- **c)** Triángulo de tensiones.
- **d)** Factor de potencia y triángulo de potencias. Expresa la potencia en forma compleja y polar.
- **e)** Frecuencia de resonancia del circuito.
- **f)** Capacidad del condensador que debemos conectar en paralelo con el circuito inicial si queremos corregir el factor de potencia a 0,90.

4.19. Un equipo de alumbrado tiene una potencia de 1800 W, con un factor de potencia de 0,68, estando conectado a una red monofásica de 230 V. Calcula la intensidad, la impedancia, la potencia activa, reactiva y aparente, y la capacidad del condensador que se debe conectar en paralelo si queremos corregir el factor de potencia a 0,95.

4.20. En un taller tenemos un motor monofásico de 10 CV a 230 V, con un factor de potencia de 0,7 y un rendimiento de 85 %. Calcula la intensidad, la impedancia, la potencia activa, reactiva y aparente, y la capacidad del condensador que se debe conectar en paralelo si queremos corregir el factor de potencia a 0,90.

Actividades de ampliación

4.21. Consulta en la web de algún fabricante de equipos de medición eléctrica (por ejemplo, Fluke, Circutor, Promax, etc.) y observa los tipos y sus características técnicas.