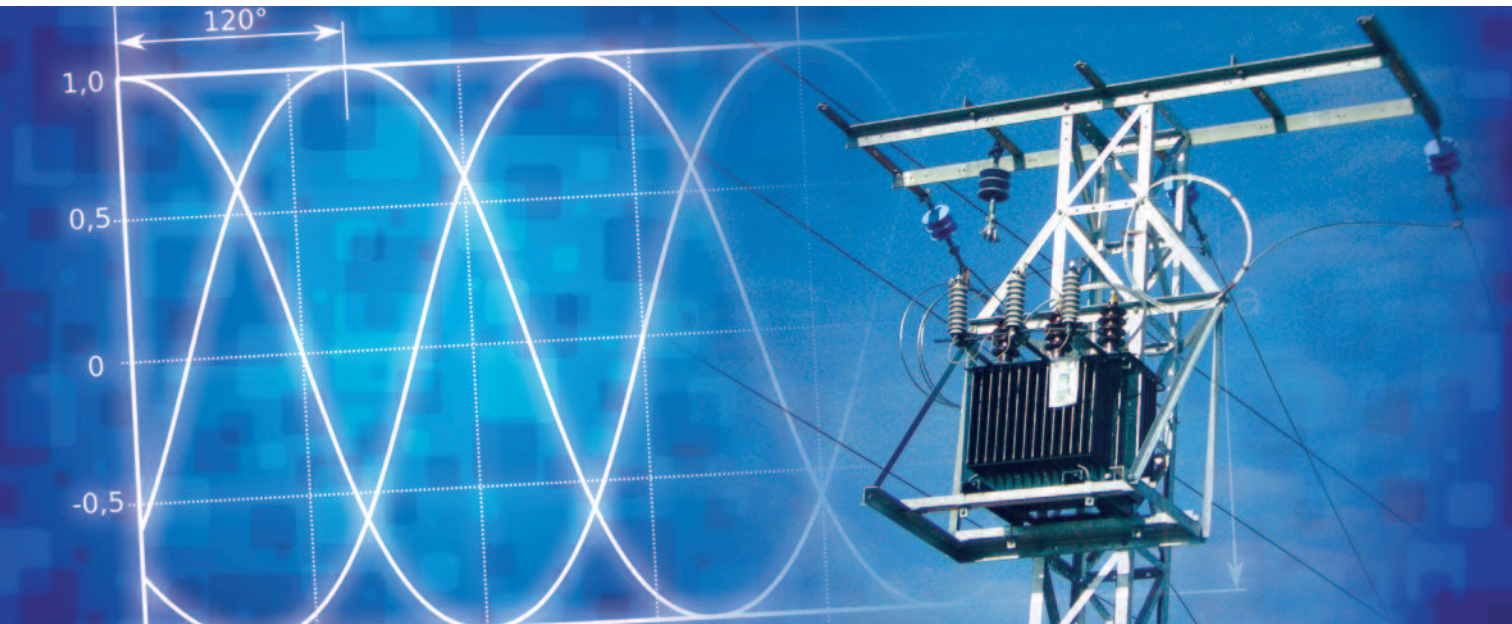


# Relación entre las tensiones de fase y de línea



En los próximos artículos estudiaremos al arrancador estrella-triángulo; para ello debemos conocer en profundidad la relación existente entre las tensiones de fase y las de línea en una red de distribución trifásica.

Por: Alejandro Francke  
Especialista en productos eléctricos de baja tensión,  
para la distribución de energía; control, maniobra y  
protección de motores y sus aplicaciones.

Antes de hacer el análisis entre las tensiones de fase y las de línea de una red trifásica debemos recordar algunos conceptos físicos y matemáticos.

Primero recordemos que la tensión alterna es una función senoidal que responde a la ecuación:

$$e = E_{\max} \cdot \text{sen}(2\pi ft + \psi) \text{ o simplificada } e = E_{\max} \cdot \text{sen}(\alpha + \psi)$$

siendo:

**e** = valor instantáneo de la tensión alterna, medida en voltios (V);

**E<sub>max</sub>** = valor máximo de la tensión alterna, medida en voltios (V);

**f** = frecuencia de la tensión alterna, medida en hercios (Hz);

**t** = tiempo, medido en segundos (s) y

**$\psi$**  = ángulo de fase inicial, medido en radianes (no tiene símbolo).

**$\alpha$**  = ángulo de fase instantáneo que depende del tiempo  
 **$\alpha = 2\pi ft$** , medido en radianes (no tiene símbolo).

La función senoidal es una función trigonométrica, por eso a las ecuaciones anteriores se las conoce como representación trigonométrica de la tensión alterna.

continúa en página xx ►

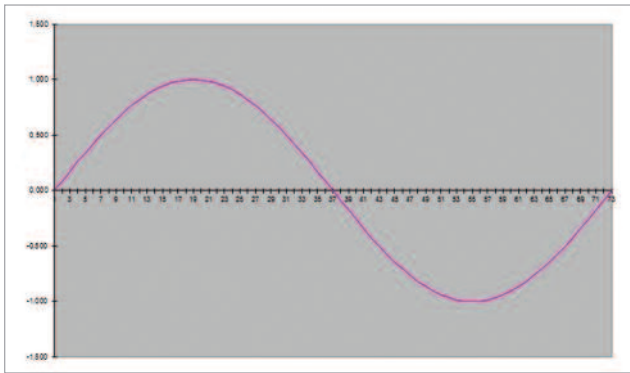


Figura 1. Representación trigonométrica de una tensión alterna.

Con el fin de simplificar la figura, se representa a la función de la tensión sin ángulo de fase inicial; es decir, se toma como instante inicial cuando la tensión tiene un valor nulo ( $e = 0 \text{ V}$ ); en la jerga se dice: -cuando pasa por cero-

No olvidemos que la tensión eléctrica es una magnitud vectorial. En caso de duda le recomendamos repasar a nuestra nota publicada en el número 94 de Revista Electro Instalador. Si no tiene un ejemplar de la misma, puede encontrar la versión digital en [www.electroinstalador.com](http://www.electroinstalador.com).

Por eso existe otra representación gráfica de la tensión alterna, la representación vectorial donde, a escala, se representa al valor máximo de la tensión y su posición en el plano mediante un ángulo  $\varphi = \alpha + \psi$ .

Debido a que entre la tensión máxima y la eficaz hay una relación constante  $E_{\text{max}} = E_{\text{x}} \cdot 1,4142$ , normalmente la representación vectorial se realiza graficando los valores eficaces de las tensiones analizadas.

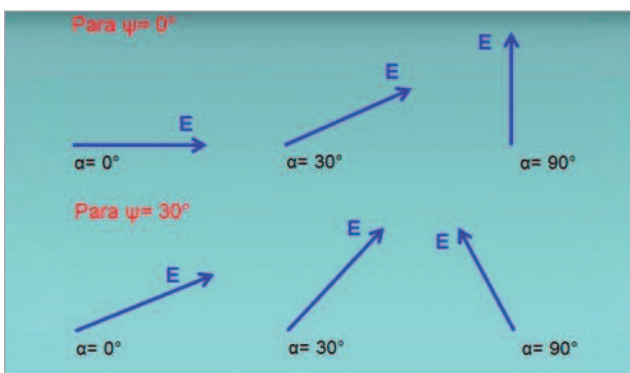


Figura 2. Representación vectorial de una tensión alterna.

Las dos representaciones anteriores son gráficas, se utilizan para “mostrar” y graficar a la tensión alterna.

Existen además dos representaciones analíticas con la que es posible hacer cálculos teóricos.

**Estas son:**

la representación binómica, que es del tipo  $e = E \cdot \cos\varphi + jE \cdot \text{sen}\varphi$ . Esta forma de representar a la tensión alterna se utiliza

para sumar y restar tensiones y la representación polar que es del tipo  $e = E \cdot e^{j\varphi}$ .

Esta forma de representar a la tensión alterna se utiliza para multiplicar y dividir tensiones, corrientes y potencias.

Recordemos que el coseno de un ángulo (**cosφ**) es la proyección sobre el eje de ordenadas (**y**) de un segmento y que el seno de un ángulo (**senφ**) es la proyección sobre el eje de abscisas (**x**) del mismo.

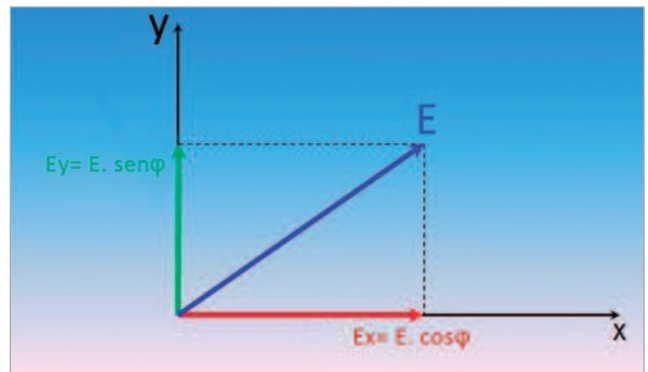


Figura 3. Proyección de un segmento sobre un par de ejes cartesianos.

El seno y el coseno también se puede utilizar para proyectar a cualquier segmento sobre cualquier otro considerando al ángulo relativo entre ambos.

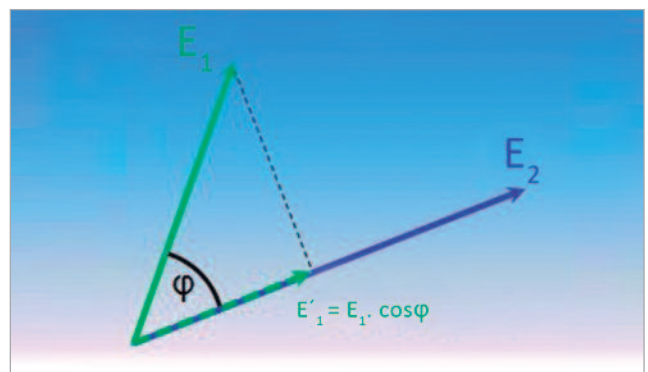


Figura 4. Proyección de un segmento sobre otro.

**Tensiones de fase y de línea en una red de distribución**

El siguiente (figura 5) es un esquema de las redes de distribución típicas en la República Argentina.

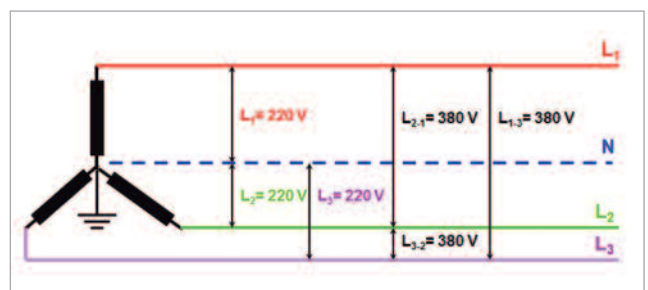


Figura 5. Tensiones de fase y de línea en una red de distribución.

viene de la página xx ►

Sabemos que un sistema trifásico de tensiones está compuesto por tres tensiones iguales entre sí en magnitud y frecuencia, separados entre sí por un ángulo de fase de 120° eléctricos.

$$e_1 = E_{max1} \cdot \text{sen}(2\pi ft + 0^\circ),$$

$$e_2 = E_{max2} \cdot \text{sen}(2\pi ft + 120^\circ)$$

$$e_3 = E_{max3} \cdot \text{sen}(2\pi ft + 240^\circ)$$

Para facilitar la comprensión, a los ángulos de fase inicial se los ha indicado en grados (°) pero para realizar cálculos se deben transformar a radianes (sin unidad) según  $2\pi$  (radianes) = 360°.

En la Argentina las tensiones son de 220 V (antiguamente) o 230 V (actualmente) y la frecuencia es de 50 Hz; será entonces:

$$e_1 = 325 \text{ V} \cdot \text{sen}(2 \cdot \pi \cdot 50 \text{ Hz} \cdot t + 0^\circ),$$

$$e_2 = 325 \text{ V} \cdot \text{sen}(2 \cdot \pi \cdot 50 \text{ Hz} \cdot t + 120^\circ)$$

$$e_3 = 325 \text{ V} \cdot \text{sen}(2 \cdot \pi \cdot 50 \text{ Hz} \cdot t + 240^\circ)$$

A continuación demostraremos porque la suma de dos tensiones de fase de 220 V es una tensión de línea de 380 V.

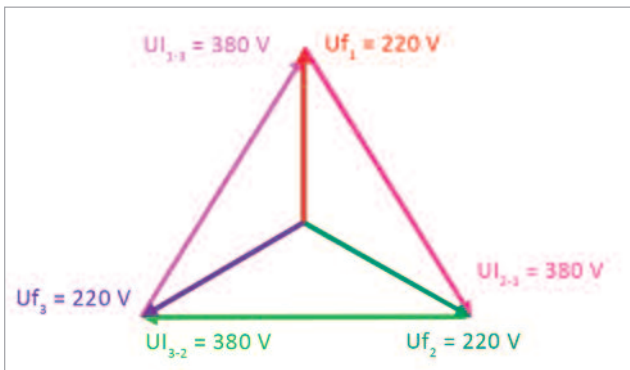


Figura 6. Diagrama vectorial de una red de distribución trifásico.

Como ejemplo, consideremos solamente a la diferencia de potencial entre las líneas 3 y 2, que es la suma vectorial de las tensiones de fase 2 y 3.

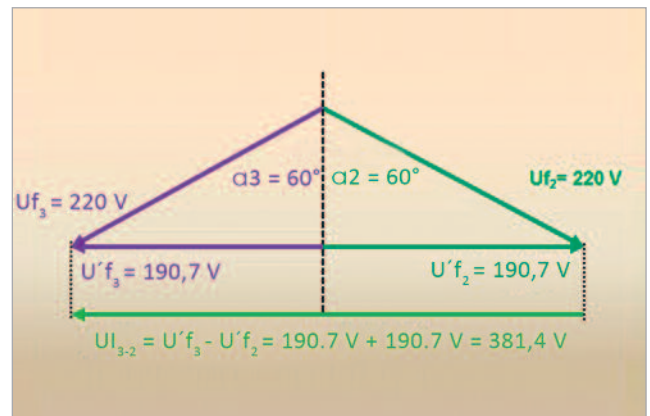


Figura 7. Análisis vectorial de las fases 2 y 3.

Proyectemos a las tensiones de la fase 2 ( $U_{f2}$ ) y la fase 3 ( $U_{f3}$ ) sobre la dirección de la diferencia de potencial entre las líneas 2 y 3 ( $U_{l3-2}$ ).

Como por definición del sistema trifásico el ángulo de desfase entre las tensiones  $U_{f2}$  y  $U_{f3}$  es de 120° y ambas tensiones son simétricas, por lo tanto los ángulos  $\alpha_2$  y  $\alpha_3$  valen 60°.

Las proyecciones valen:

$$U'_{f2} = U_{f2} \times \text{sen} \alpha_2 = 220 \text{ V} \times 0,867 = 190,7 \text{ V}$$

$$U'_{f3} = U_{f3} \times \text{sen} \alpha_3 = 220 \text{ V} \times 0,867 = 190,7 \text{ V}$$

Como se trata de una diferencia de potencial  $U_{l3-2} = U'_{f3} - U'_{f2}$ ; se debe invertir el sentido de  $U'_{f2}$  por lo que se suma a  $U'_{f3}$ ; resultando así que  $U_{l3-2} = 190,7 \text{ V} + 190,7 \text{ V} = 381,4 \text{ V}$  redondeando se dice  $U_{l3-2} = 380 \text{ V}$ ; lo mismo vale para  $U_{l2-1} = 380 \text{ V}$  y  $U_{l1-3} = 380 \text{ V}$ .

**El 24 de octubre salude a su Instalador Amigo**  
 Ingrese a [www.electroinstalador.com](http://www.electroinstalador.com) y envíele una tarjeta personalizada.