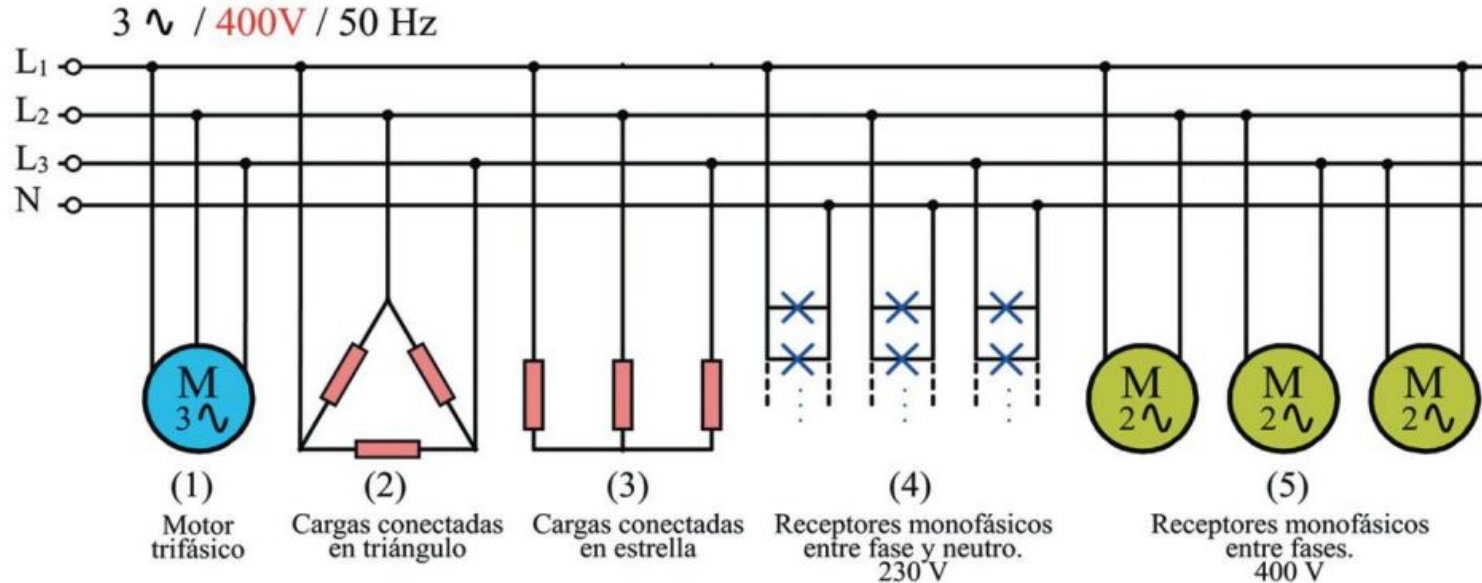


UD8. SISTEMAS TRIFÁSICOS

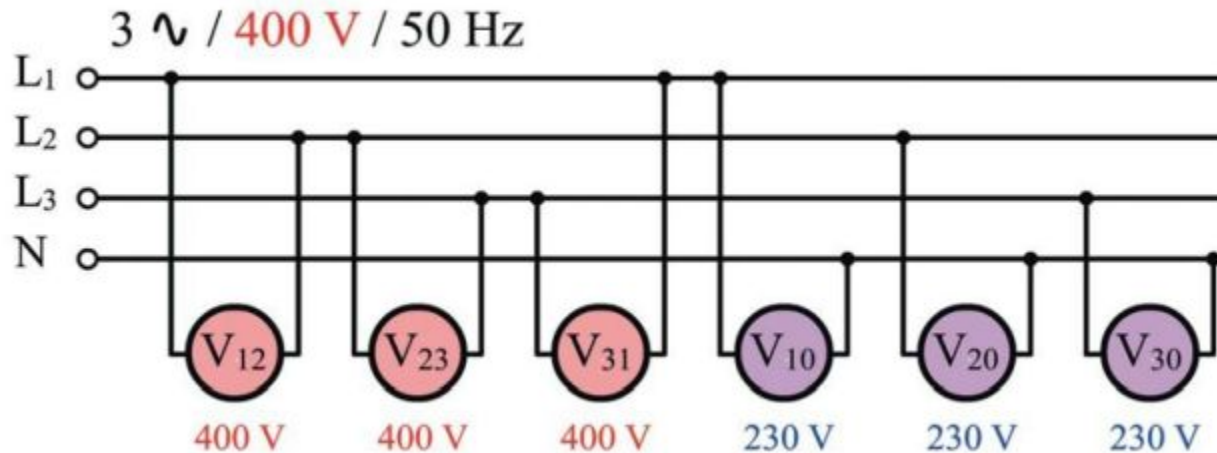
1.- Ventajas del uso de sistema trifásicos

Las líneas utilizan tres o cuatro hilos (tres fases más el neutro), con lo que se pueden obtener dos tensiones diferentes.



La tensión entre fases es $\sqrt{3}$ veces mayor que la que aparece entre las fases y el neutro:

$$\frac{400 \text{ V}}{230 \text{ V}} = \sqrt{3}$$



Tanto los alternadores como los transformadores y motores de C.A. trifásica poseen un mayor rendimiento y, por lo general, son mucho más sencillos y económicos que los monofásicos.

Los sistemas trifásicos consiguen transportar la energía eléctrica con un ahorro considerable en la sección de los conductores.

Todas estas ventajas hacen que en la actualidad toda la energía eléctrica se produzca, transporte, distribuya y consuma en forma de C.A. alterna trifásica.

2.- Generación de un sistema de C.A. trifásica

En el rotor se sitúa un potente electroimán que, al ser alimentado por una corriente continua, genera el campo magnético.

En su movimiento de rotación, el campo magnético corta los conductores de las tres bobinas consecutivamente, induciendo en ellas las tres f. e. m. desfasadas entre sí 120° .

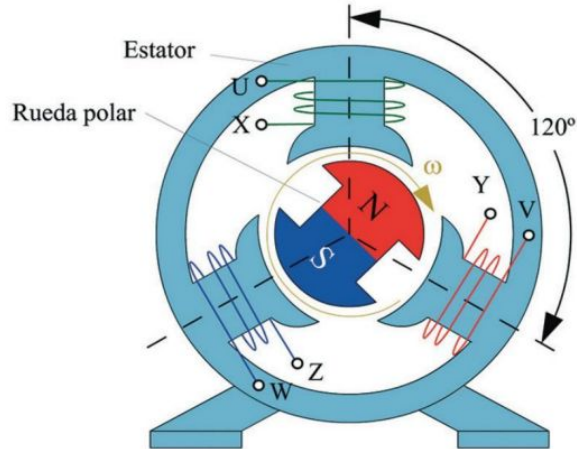
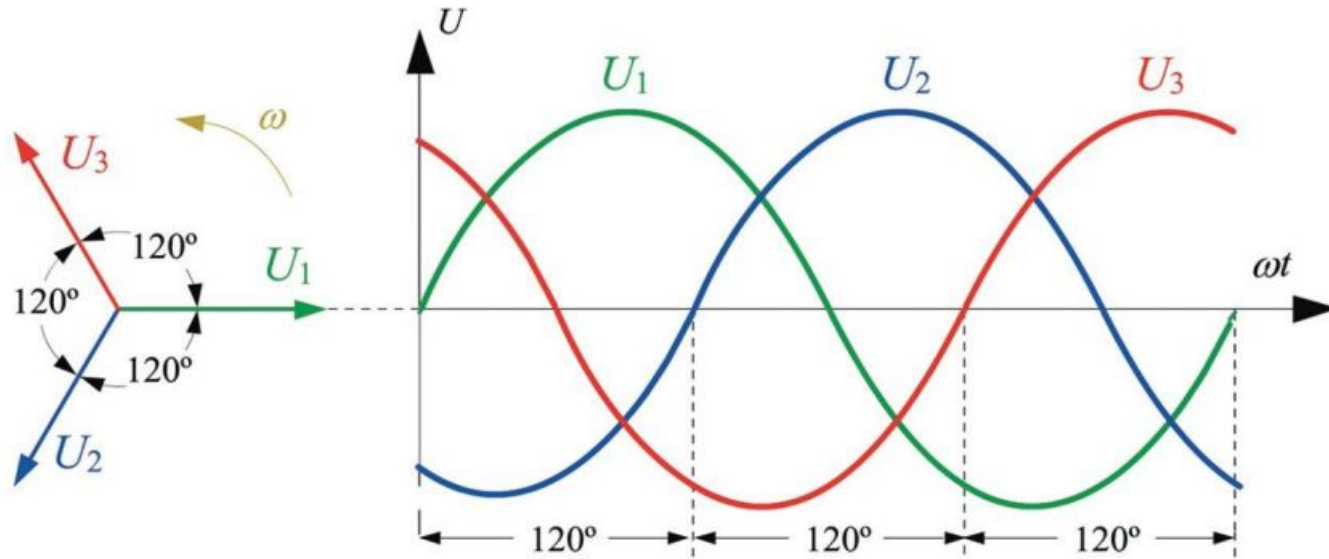
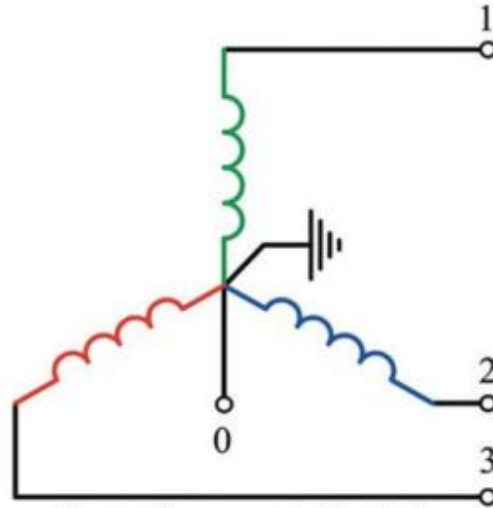


Diagrama vectorial de las fuerzas electromotrices generadas por un alternador trifásico.

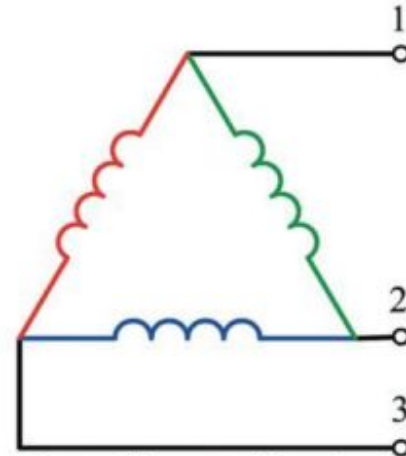


De las tres bobinas del alternador se consiguen seis terminales. Existen dos formas básicas de conexión de estas bobinas: conexión en estrella y conexión en triángulo.

La forma más utilizada, y la que estudiaremos, es la conexión en estrella, ya que permite el uso del conductor neutro y el uso de dos tensiones diferentes.

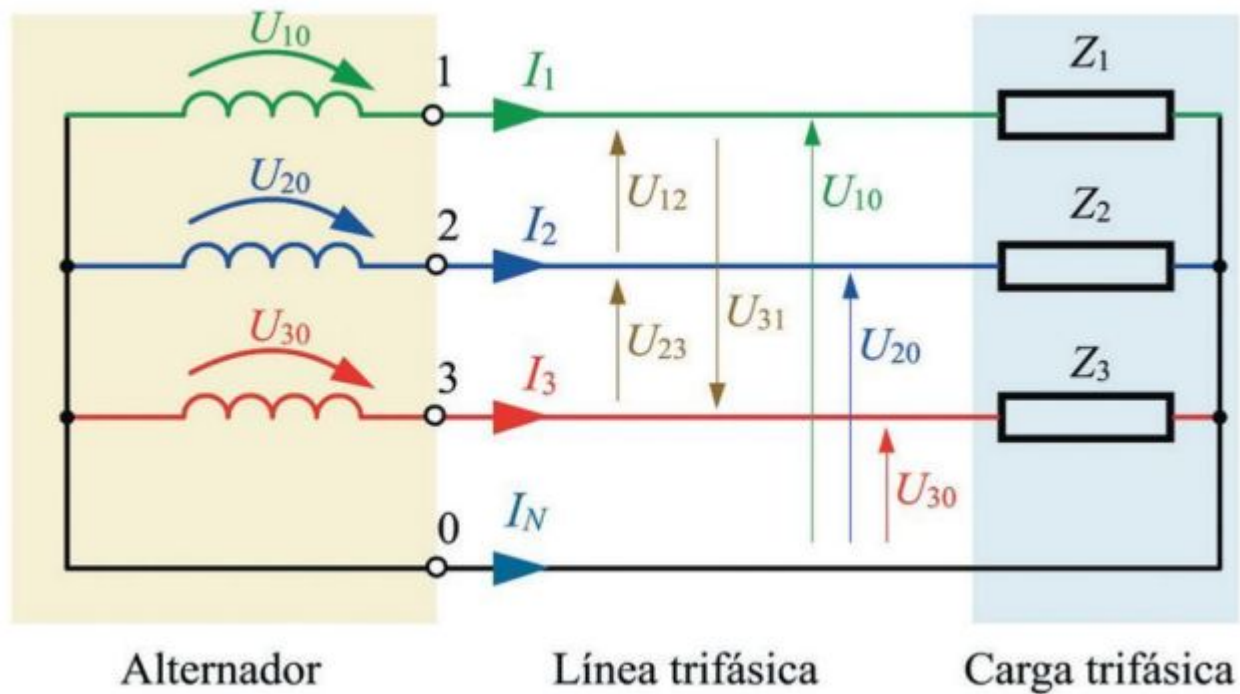


Conexión en estrella (Y)

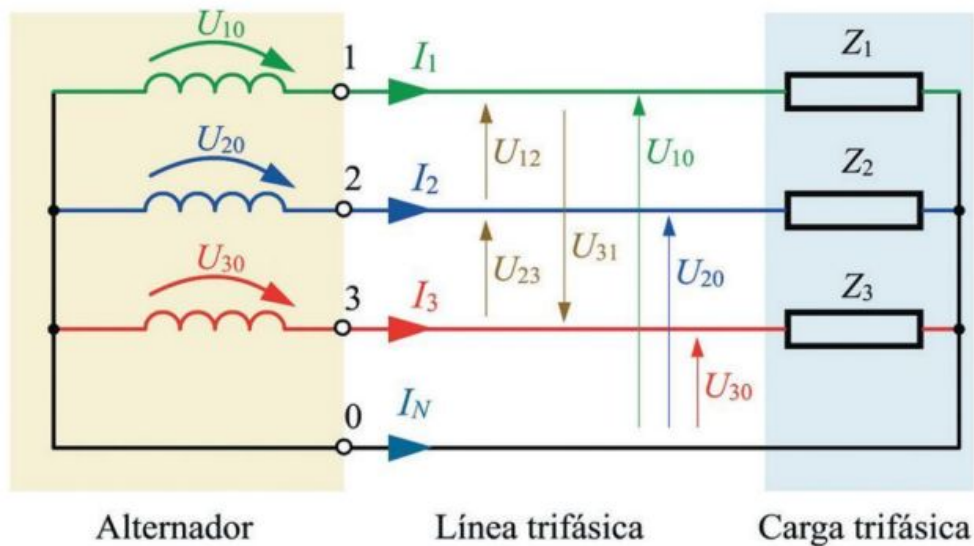


Conexión en triángulo (Δ)

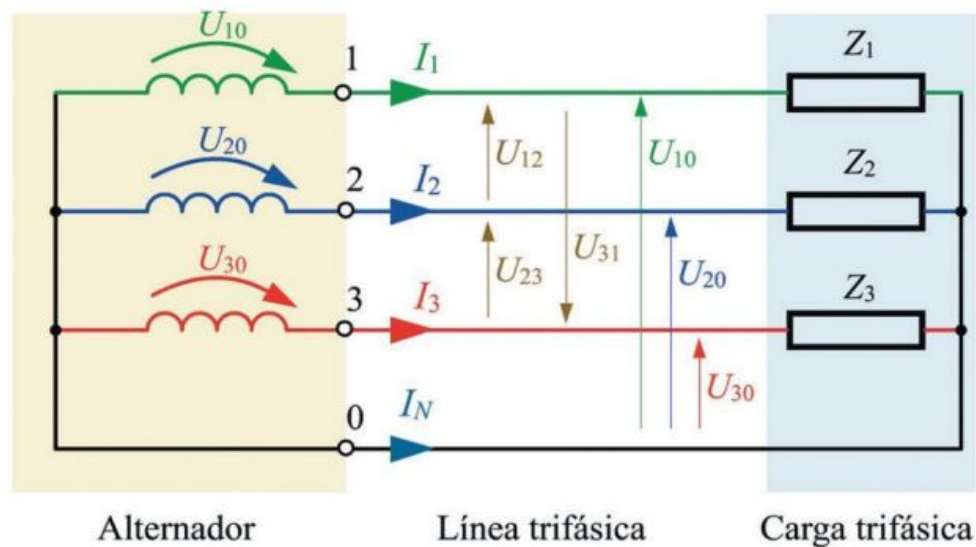
Conexión del alternador en estrella.



Tensiones de fase o simples: cada bobina del alternador trifásico se comporta como un generador monofásico, que genera entre sus terminales una tensión denominada simple o de fase (U_f): U_{10} , U_{20} y U_{30} .

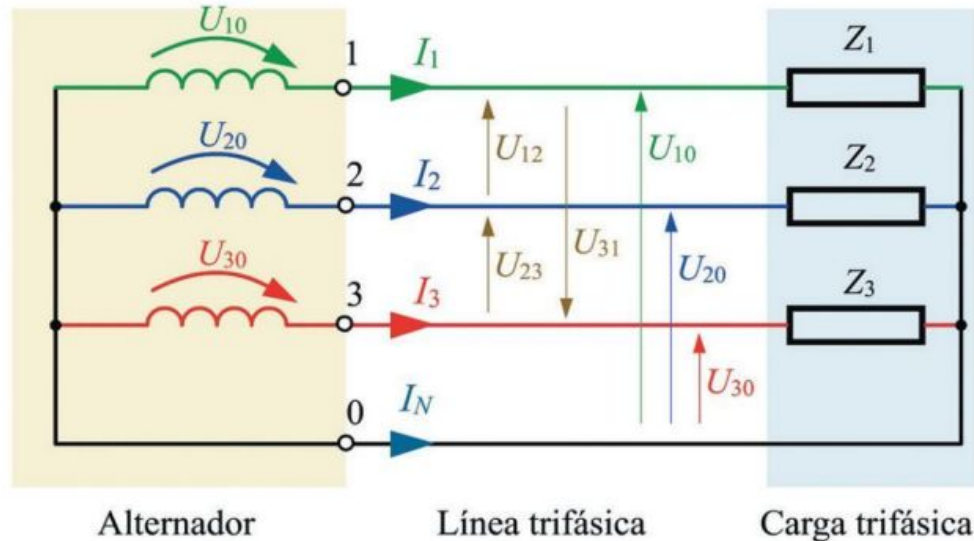


Tensiones de línea o compuestas: son las tensiones que aparecen entre cada una de las fases (U_L): U_{12} , U_{23} y U_{31} . Estas tensiones reciben el nombre de tensiones compuestas porque aparecen gracias a la composición de las tensiones de fase, o tensión de línea, porque es la tensión que aparece entre los conductores de la línea trifásica.

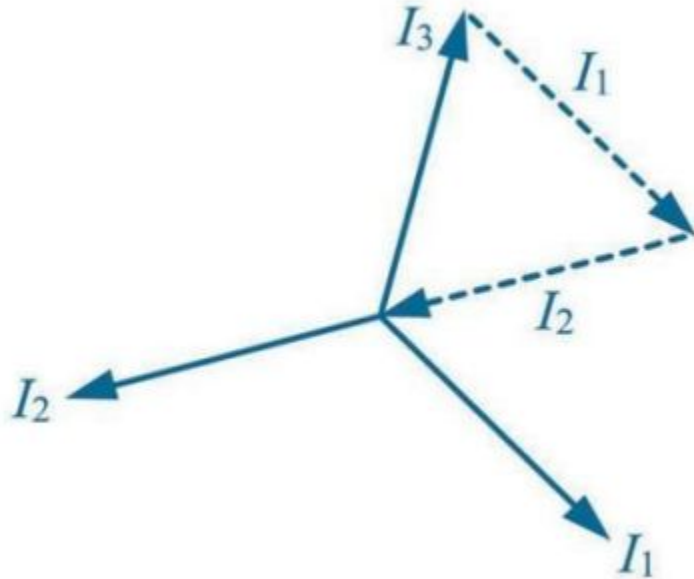


Intensidades de línea: las tensiones de fase quedan aplicadas a cada una de las cargas del receptor, y aparece una corriente por cada conductor de línea (I_L): I_1 , I_2 y I_3 .

La suma de estas tres corrientes dará como resultado la corriente de retorno del neutro I_N . En el caso de que las cargas sean todas iguales (cargas equilibradas) esta corriente es cero, lo que podría llevar a la anulación de este conductor en determinadas aplicaciones.



La suma vectorial de las corrientes de un sistema equilibrado es igual a cero.



$$\vec{I}_1 + \vec{I}_2 + \vec{I}_3 = \vec{I}_N = 0$$

Si aplicamos la segunda ley de Kirchhoff a cada una de las mallas que se forman entre las tensiones de fase y las de línea, tendremos que

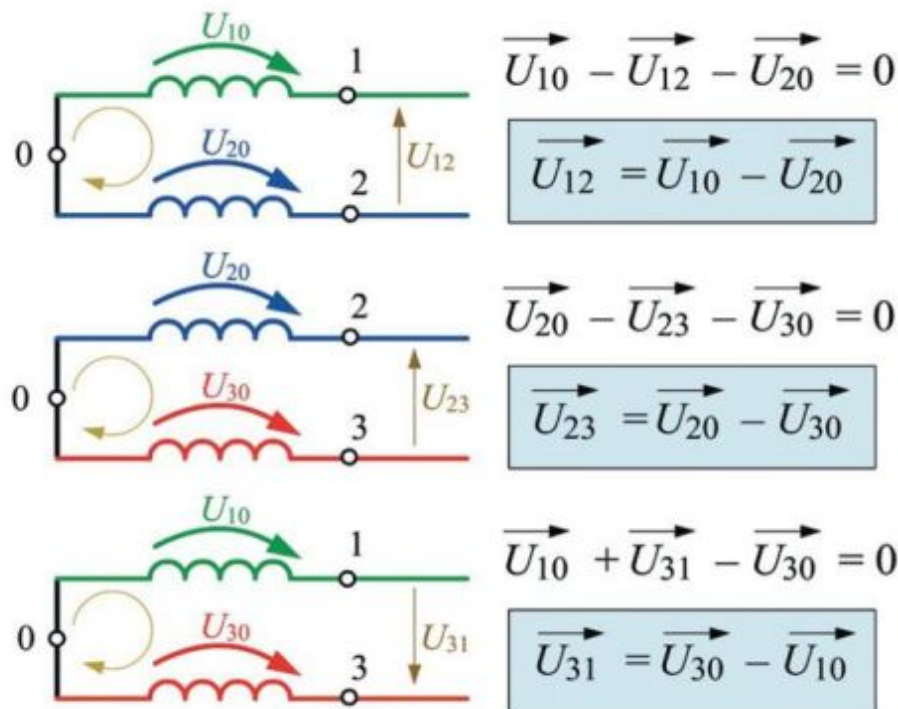
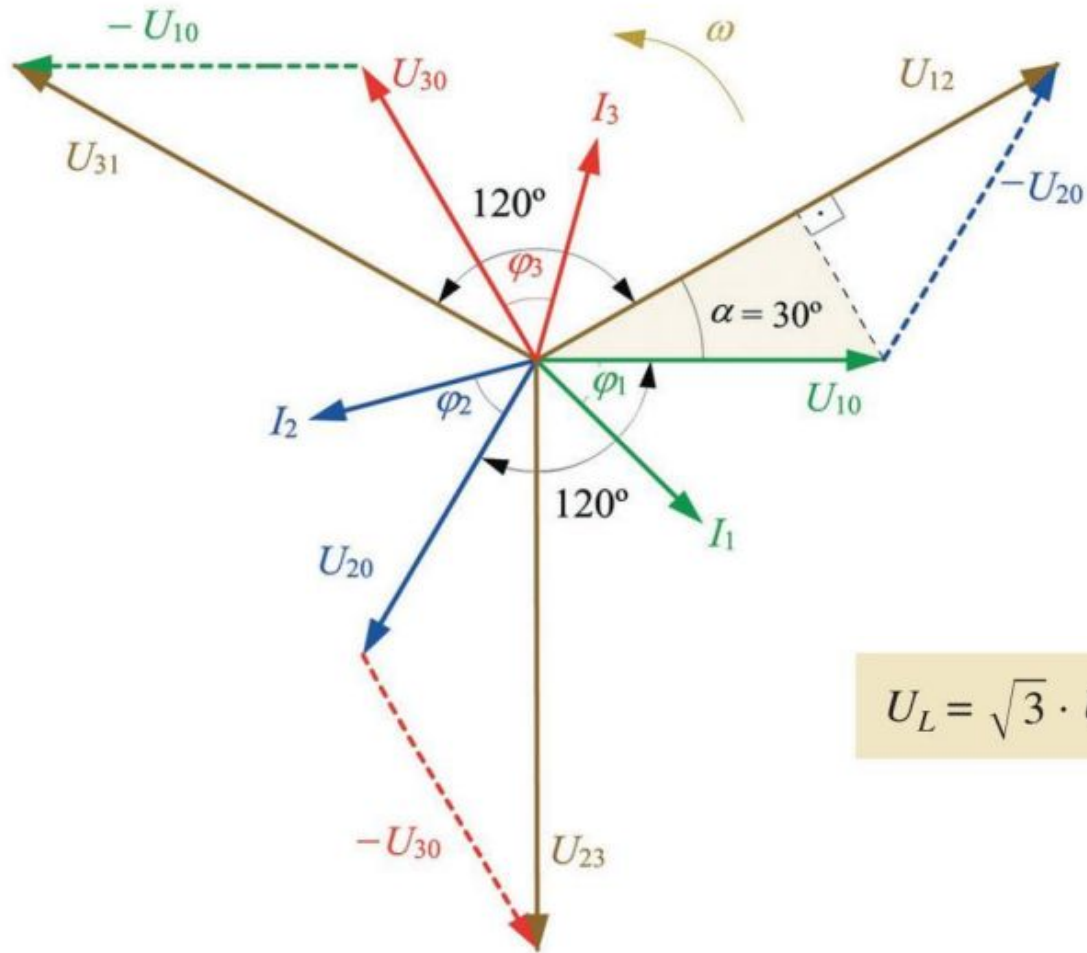


Diagrama vectorial de tensiones e intensidades.

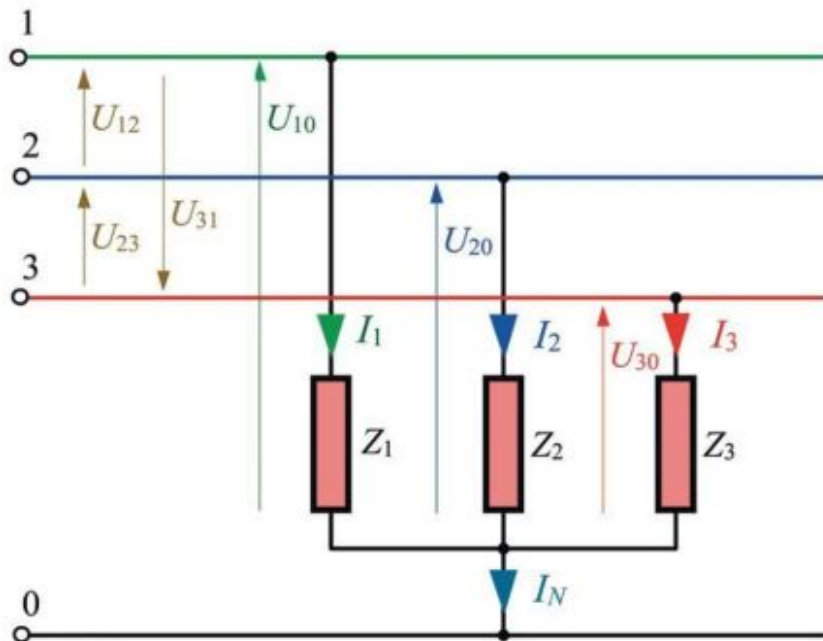


Determina la tensión de línea que corresponde a un sistema trifásico que posee una tensión de fase de 133 V.

3.- Conexión de los receptores

Una vez que disponemos de un sistema trifásico, podemos conectarle cargas conectadas entre sí en triángulo, en estrella, o cargas monofásicas conectadas entre fase y neutro o entre fases.

Carga equilibrada en estrella



Como el sistema es equilibrado:

$$Z_1 \angle \varphi_1 = Z_2 \angle \varphi_2 = Z_3 \angle \varphi_3 = Z \angle \varphi$$

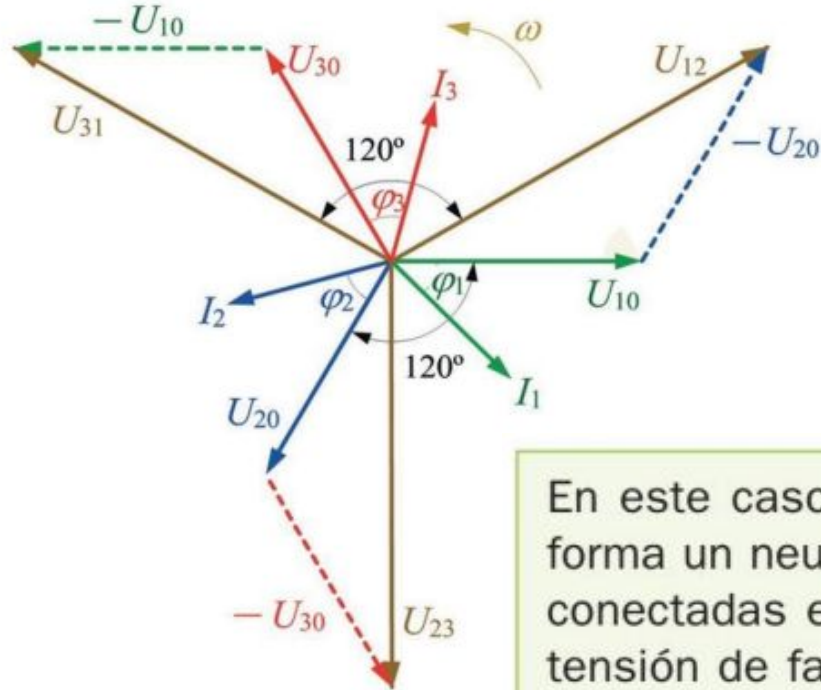
Aplicando la ley de Ohm a cada una de estas cargas tenemos que las corrientes por cada fase de las mismas son:

$$\vec{I}_1 = \frac{\vec{U}_{10}}{Z_1 \angle \varphi_1} \quad \vec{I}_2 = \frac{\vec{U}_{20}}{Z_2 \angle \varphi_2} \quad \vec{I}_3 = \frac{\vec{U}_{30}}{Z_3 \angle \varphi_3}$$

Como las tensiones de fase están desfasadas 120°, las corrientes también quedarán desfasadas entre sí 120° y un ángulo φ respecto a cada una de su respectiva tensión de fase. Como las impedancias y las tensiones aplicadas a las corrientes son del mismo valor modular, las corrientes también lo serán:

$$|I_1| = |I_2| = |I_3| = I_L$$

$$\vec{I}_1 + \vec{I}_2 + \vec{I}_3 = \vec{I}_N = 0$$



En este caso se puede eliminar el neutro. Al hacerlo se forma un neutro artificial en el punto común de las cargas conectadas en estrella, que permite que se mantenga la tensión de fase entre las fases y el neutro sin necesidad del conductor neutro. Por supuesto, esto solo ocurre cuando las cargas están equilibradas.

Potencias

$$P = U_{10} I_1 \cos \varphi_1 + U_{20} I_2 \cos \varphi_2 + U_{30} I_3 \cos \varphi_3$$

$$P = 3U_f I_L \cos \varphi$$

como:

$$U_f = \frac{U_L}{\sqrt{3}} \Rightarrow P = 3 \frac{U_L}{\sqrt{3}} I_L \cos \varphi \Rightarrow$$

$$P = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \cos \varphi$$

P = Potencia activa de la carga trifásica.

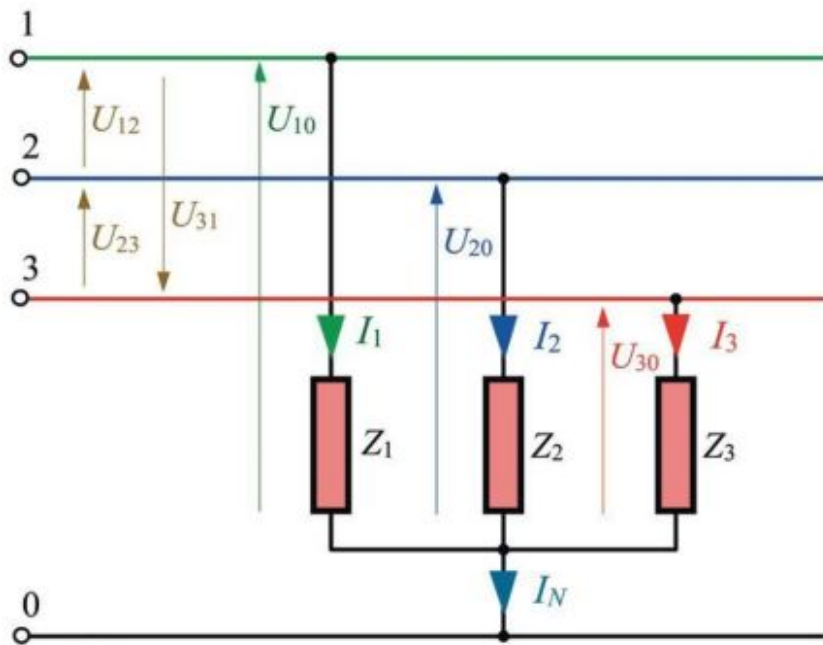
U_L = Tensión de línea.

I_L = Intensidad de línea.

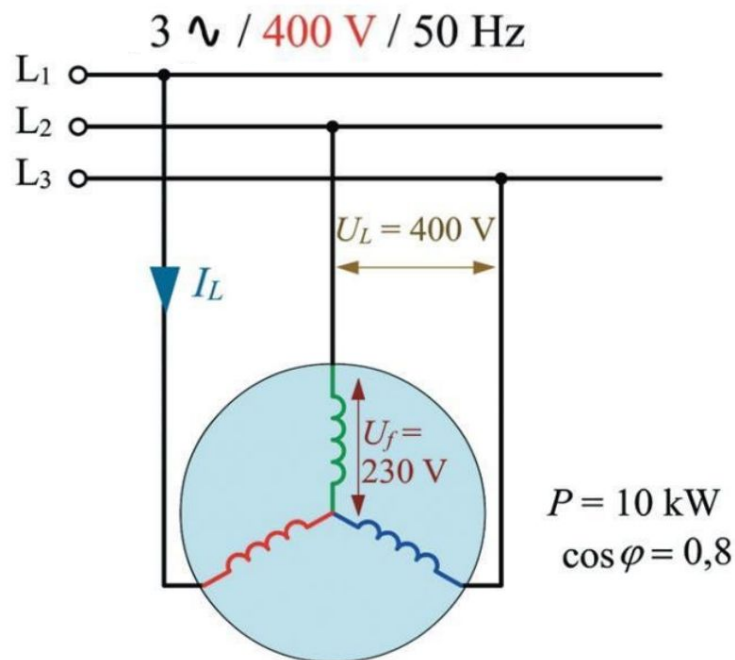
$\cos \varphi$ = Factor de potencia de la carga.

$$Q = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \sin \varphi$$

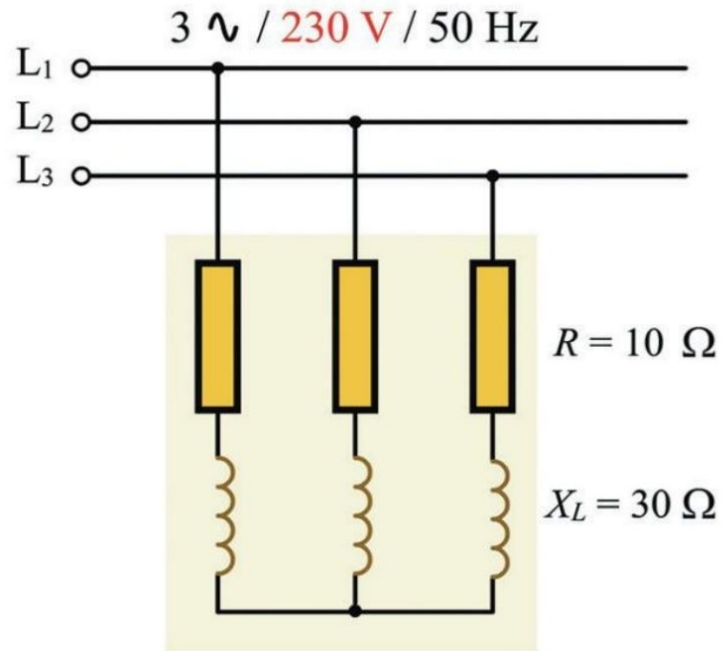
$$S = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L$$



Un motor trifásico posee sus bobinas conectadas en estrella. Determina la corriente eléctrica que absorberá de la línea si al conectarlo a una red con una tensión de línea de 400 V desarrolla una potencia de 10 kW con un FP de 0,8. Averigua la potencia reactiva y aparente del motor.



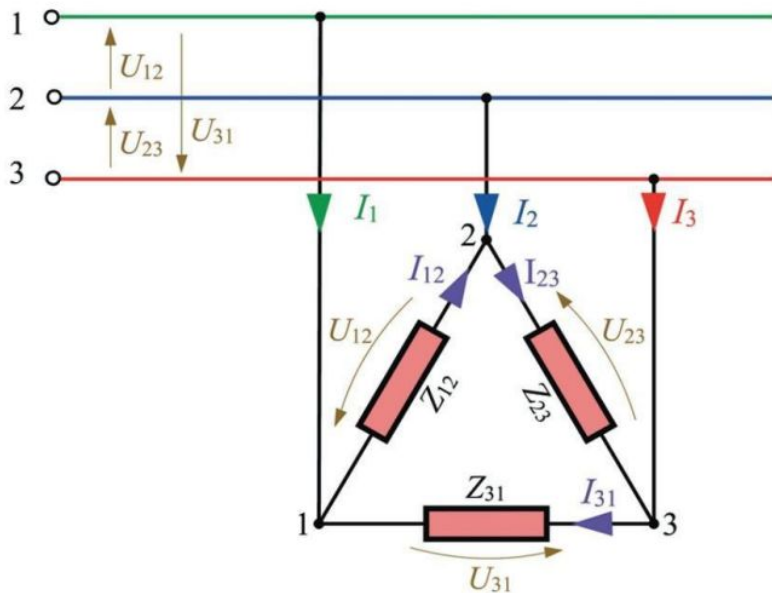
Se conectan en estrella tres bobinas iguales a una red trifásica con una tensión de línea de 230 V, 50 Hz. Cada una de las bobinas posee $10\ \Omega$ de resistencia óhmica y $30\ \Omega$ de reactancia inductiva. Calcula: I_L , $\cos \varphi$, P , Q y S .



Se desea conectar a una red trifásica, con neutro y con una tensión de línea de 400 V, 30 lámparas fluorescentes de 40 W, 230 V, $\cos \varphi = 0,6$. Muestra la conexión de las lámparas para conseguir que la carga esté equilibrada y averigua la corriente por la línea que las alimenta, así como la potencia del conjunto y por fase.

Carga equilibrada en triángulo

Al conectar las cargas en triángulo, estas quedan sometidas a cada una de las respectivas tensiones de línea. Por cada una de las cargas aparece una corriente: I_{12} , I_{23} e I_{31} , que llamaremos **corriente de fase (I_f)**.



$$I_L = \sqrt{3} \cdot I_f$$

Como el sistema es equilibrado:

$$Z_{12} \angle \varphi_{12} = Z_{23} \angle \varphi_{23} = Z_{31} \angle \varphi_{31} = Z \angle \varphi$$

$$|I_1| = |I_2| = |I_3| = I_L$$

$$\vec{I}_{12} = \frac{\vec{U}_{12}}{Z_{12} \angle \varphi_{12}}$$

$$\vec{I}_{23} = \frac{\vec{U}_{23}}{Z_{23} \angle \varphi_{23}}$$

$$\vec{I}_{31} = \frac{\vec{U}_{31}}{Z_{31} \angle \varphi_{31}}$$

$$|I_{12}| = |I_{23}| = |I_{31}| = I_f$$

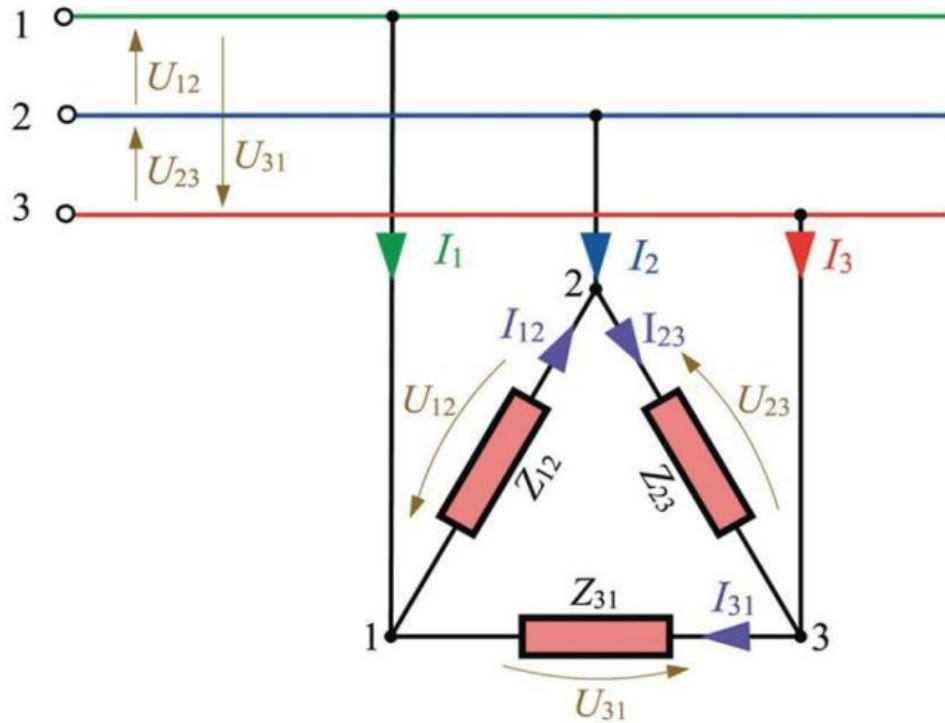
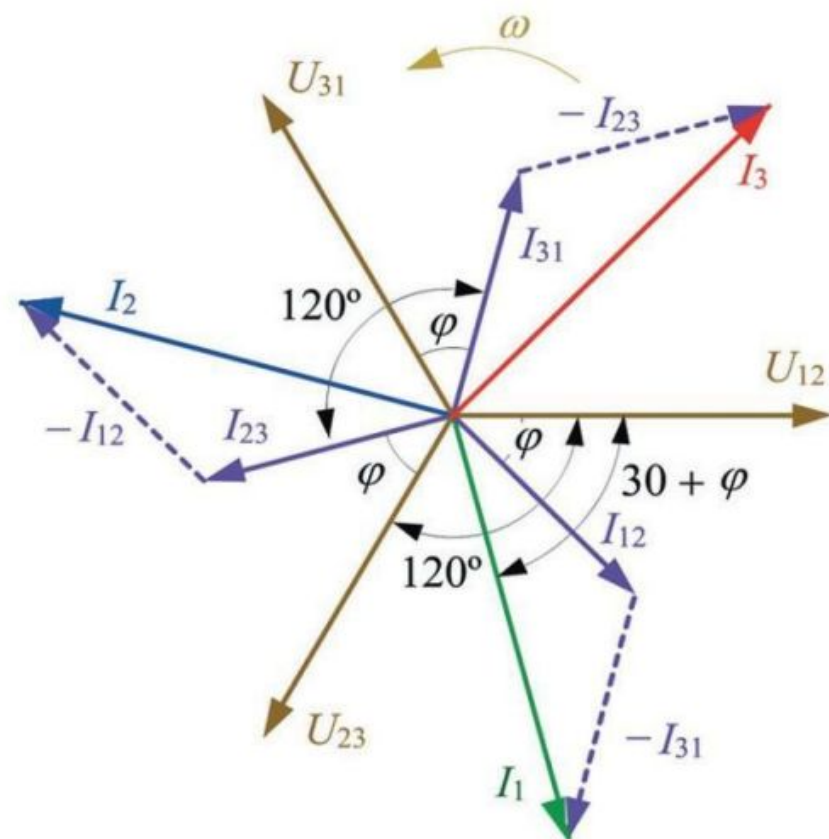
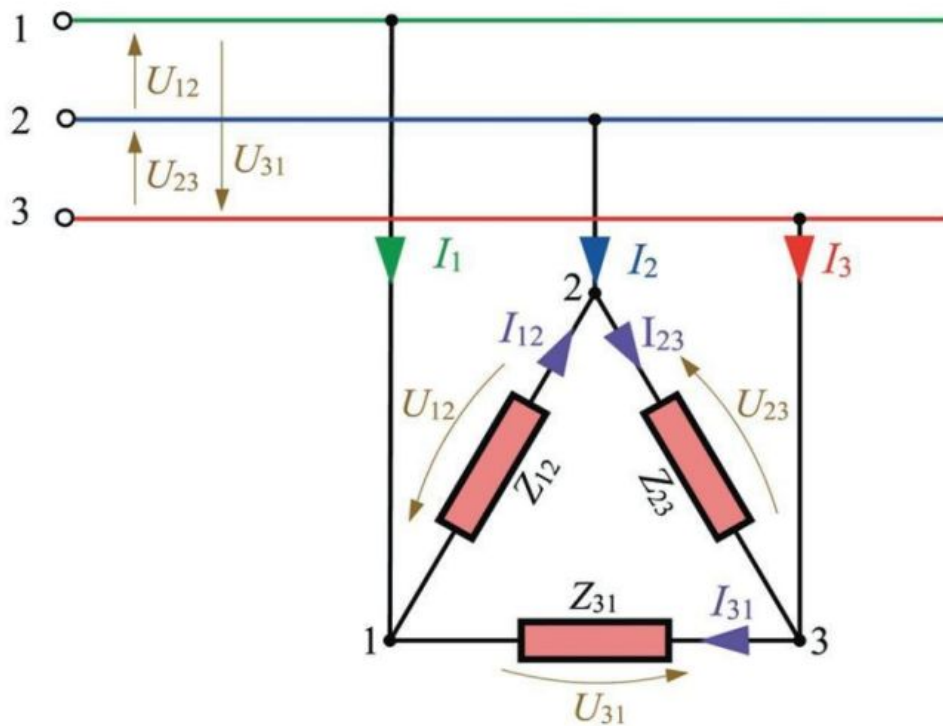
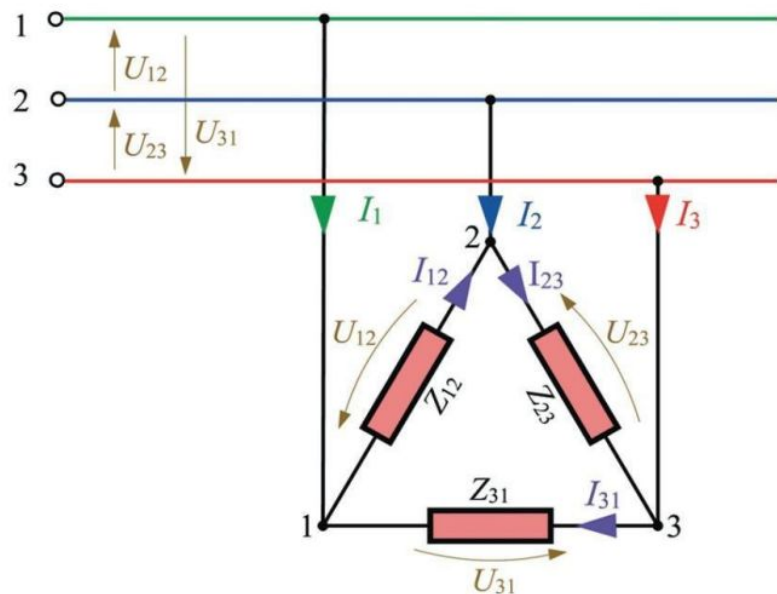


Diagrama vectorial de tensiones e intensidades.



Potencias

$$P = U_{12} I_{12} \cos \varphi_{12} + U_{23} I_{23} \cos \varphi_{23} + U_{31} I_{31} \cos \varphi_{31}$$



$$P = 3U_L I_f \cos \varphi$$

como:

$$I_f = \frac{I_L}{\sqrt{3}} \Rightarrow P = 3 U_L \frac{I_L}{\sqrt{3}} \cos \varphi \Rightarrow$$

$$P = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \cos \varphi$$

P = Potencia activa de la carga trifásica.

U_L = Tensión de línea.

I_L = Intensidad de línea.

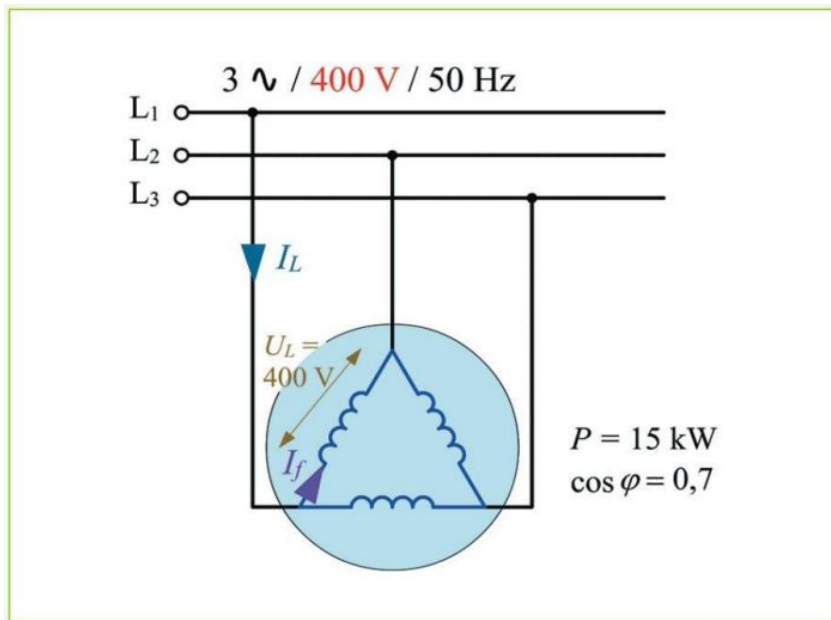
$\cos \varphi$ = Factor de potencia de la carga.

En conclusión, las fórmulas para el cálculo de la potencia en un sistema trifásico equilibrado son las mismas para cargas conectadas en estrella que en triángulo.

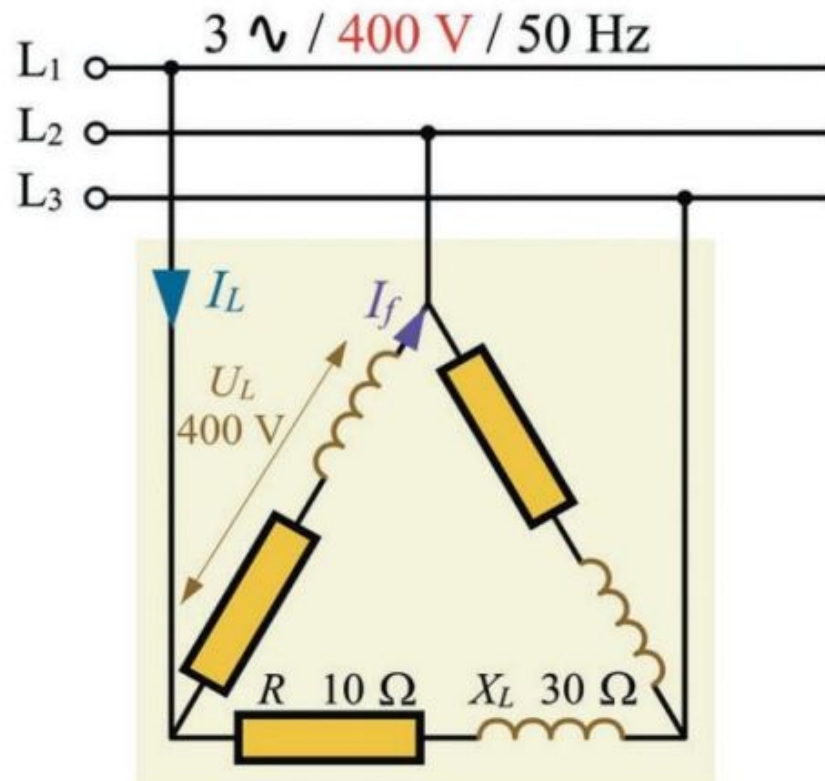
$$Q = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \sin \varphi$$

$$S = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L$$

Un motor trifásico posee sus bobinas conectadas en triángulo. Determina la corriente eléctrica que absorberá de la línea si al conectarlo a una red, con una tensión entre fases de 400 V, desarrolla una potencia de 15 kW con un FP de 0,7. Averigua la potencia reactiva y aparente del motor.



Calcula: I_f , I_L , $\cos \varphi$, P , Q y S .

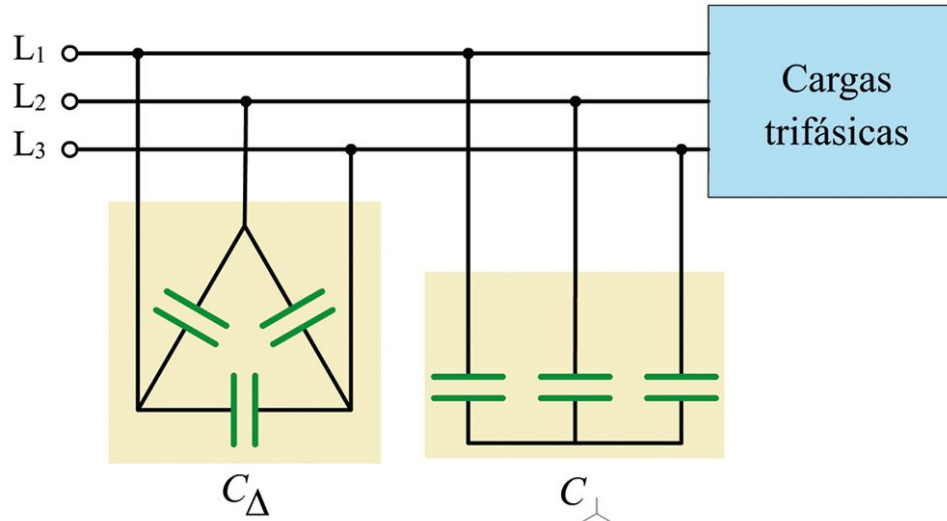


Se desea conectar 60 lámparas incandescentes de 100 W, 230 V, a una red trifásica con una tensión de línea de 230 V. Muestra la conexión de las lámparas para conseguir que la carga esté equilibrada, y averigua la corriente por la línea que las alimenta, así como la potencia del conjunto y por fase.

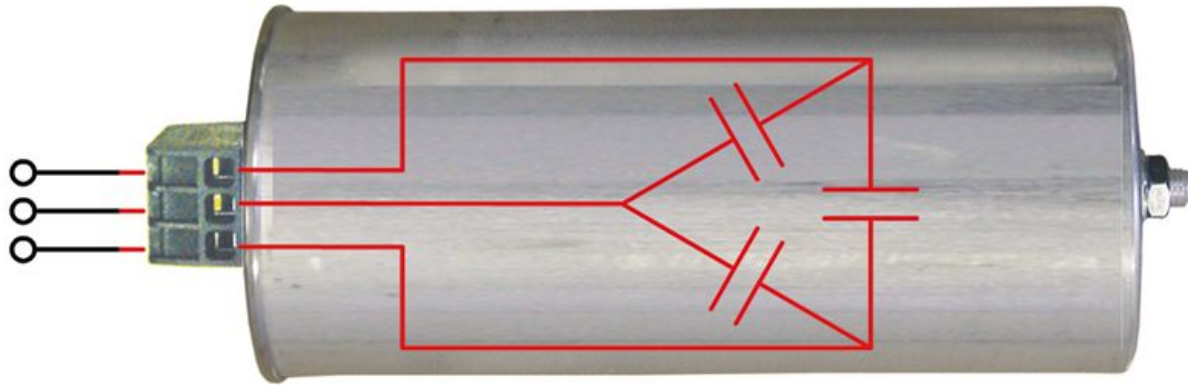
4.- Corrección del factor de potencia

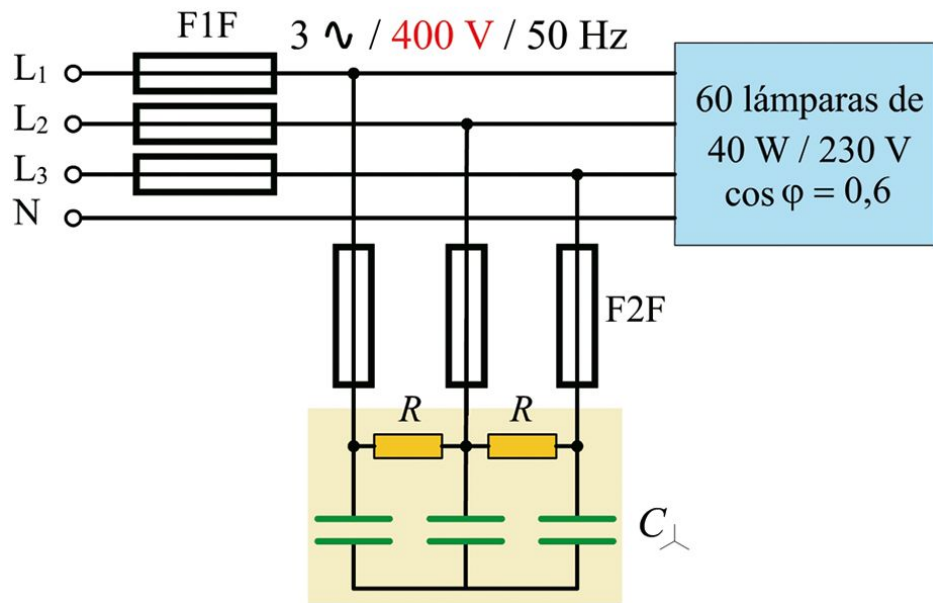
Por las mismas razones por las que se mejora el factor de potencia en las redes de C.A. monofásicas, también se lleva a cabo en las trifásicas.

La corrección se lleva a cabo mediante baterías de condensadores, conectados en estrella o en triángulo, que se acoplan en derivación a la red eléctrica a compensar.



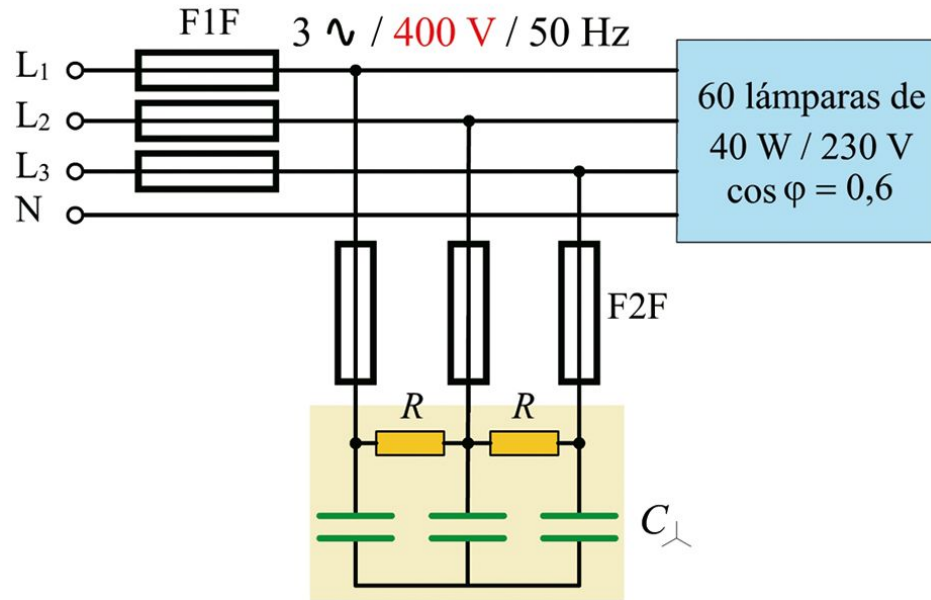
En la práctica, lo habitual es montar los tres condensadores, conectados en estrella o triángulo, dentro de una misma envolvente; de esta forma surge lo que se conoce por el nombre de condensadores trifásicos.





Las resistencias de descarga, que se han conectado entre las fases de la batería de condensadores, son para que los condensadores se descarguen por ellas cuando se desconecta la misma de la red, tal como se indica en el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión ITC-BT 48:

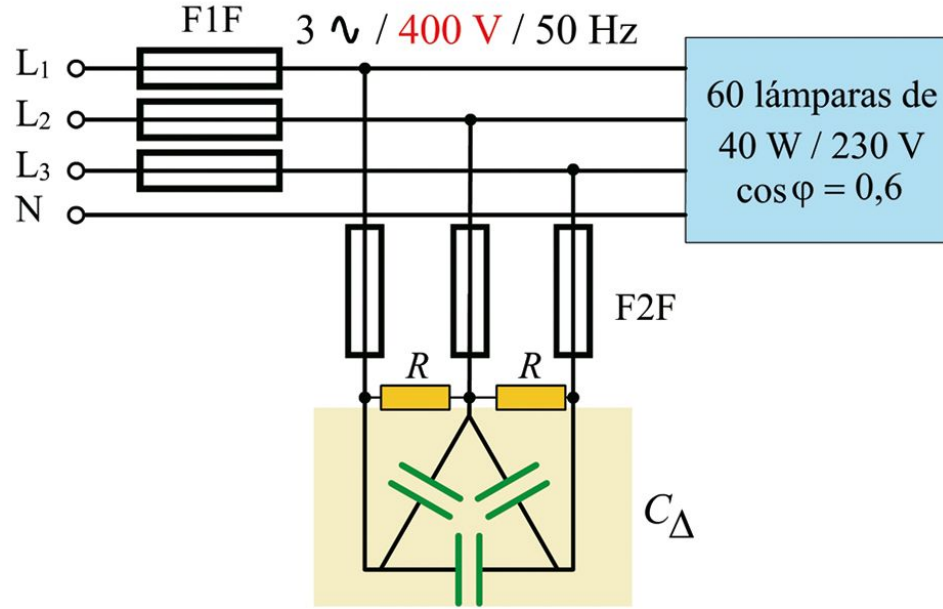
«Si la carga residual de los condensadores pudiera poner en peligro a las personas, llevarán un dispositivo automático de descarga o se colocará una inscripción que advierta este peligro».



El alumbrado de una sala de dibujo se compone de 60 lámparas fluorescentes de 40 W/230 V con un FP de 0,6.

Las lámparas se han conectado de forma equilibrada a una red trifásica de 400 V de tensión de línea.

- Dimensiona la batería de condensadores en estrella que será necesario conectar a la línea general que alimenta a esta instalación para corregir el FP a 0,97.
- ¿En cuánto se ha conseguido reducir la intensidad en la instalación al corregir el FP?



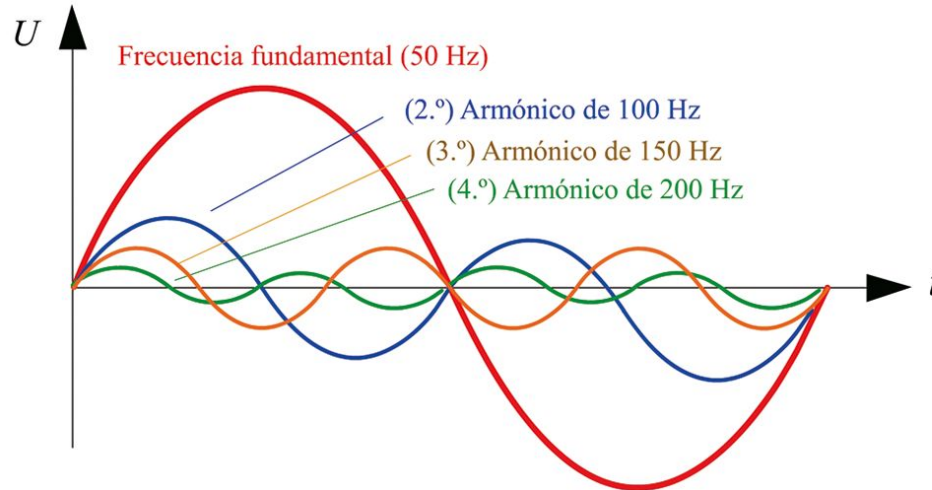
Para el ejercicio anterior:

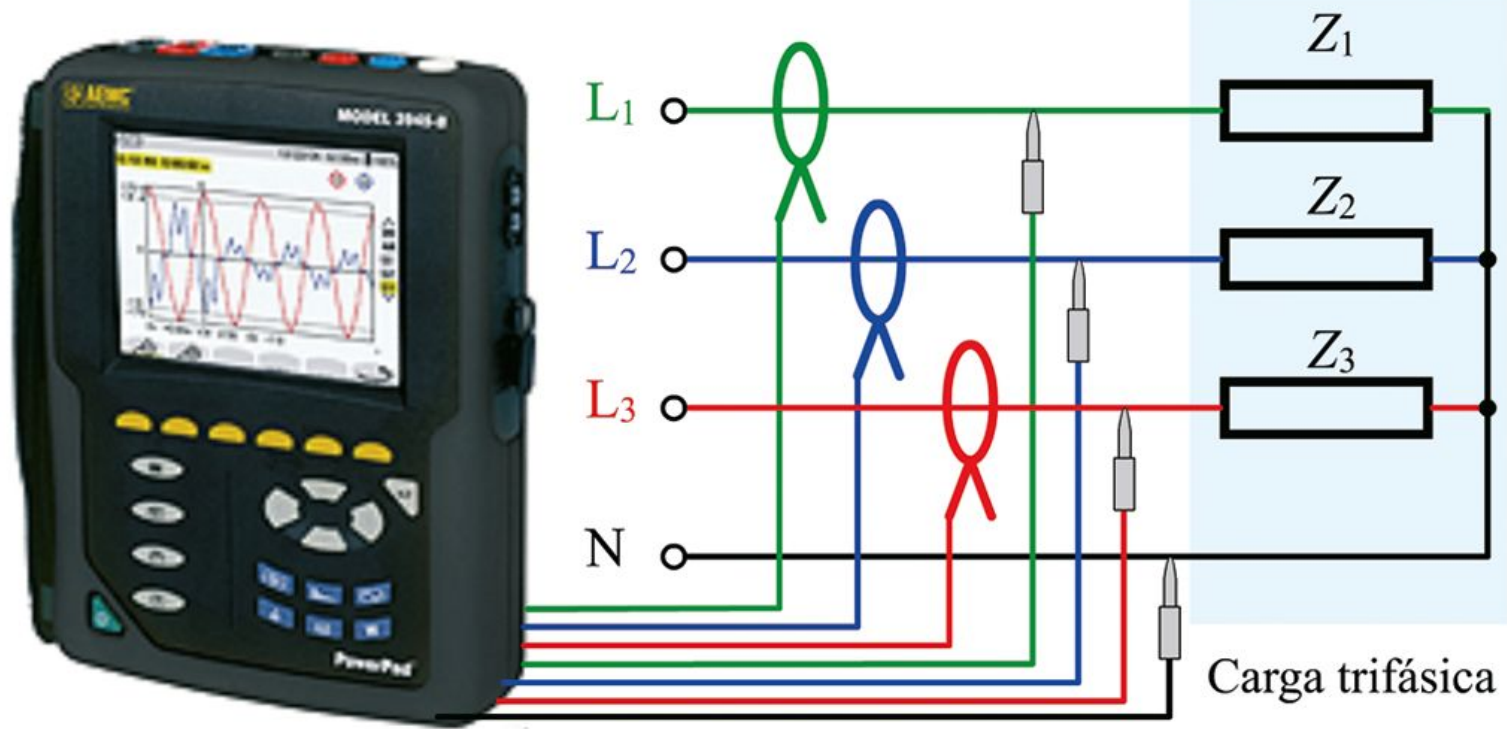
Dimensiona la batería de condensadores en triángulo que será necesario conectar a la línea general que alimenta a esta instalación para corregir el FP a 0,97.

5.- Componentes armónicas en C.A.

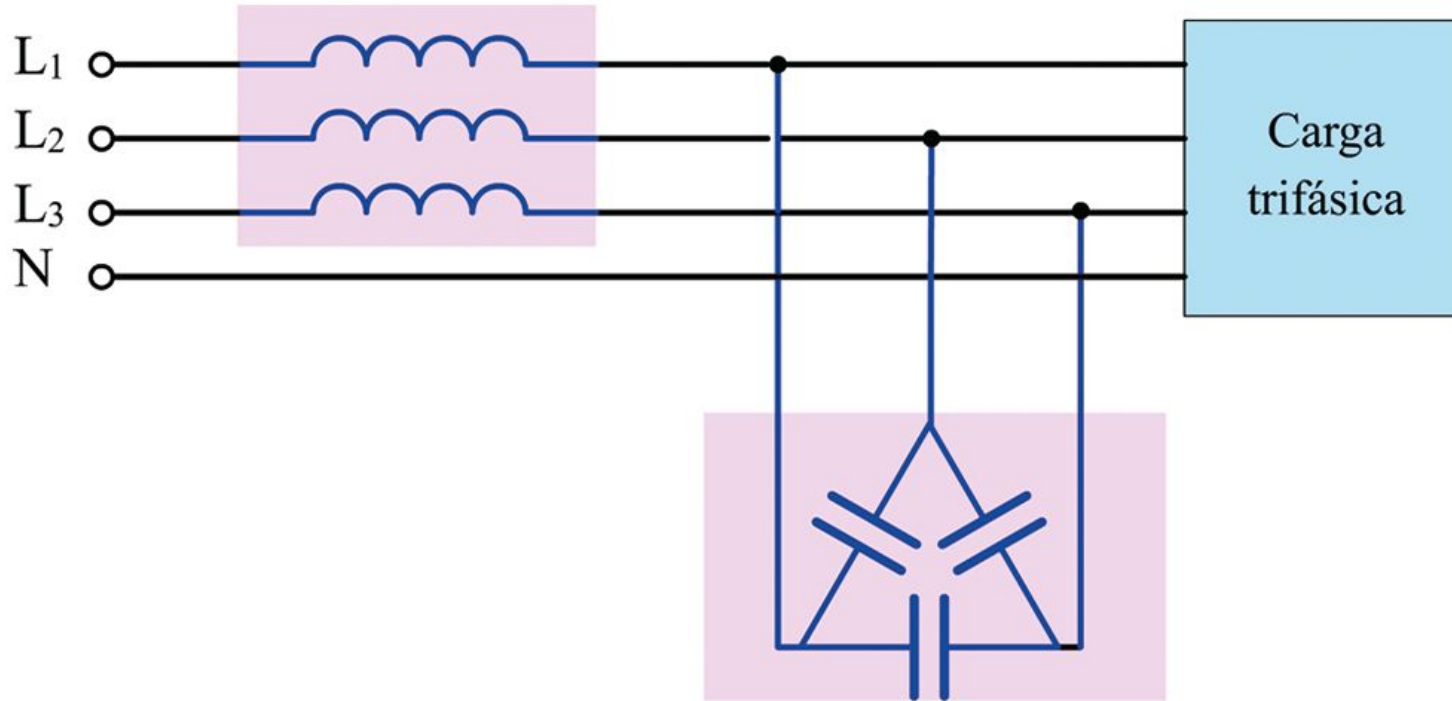
Las tensiones senoidales que generan las centrales eléctricas son prácticamente puras; sin embargo, estas sufren alteraciones en las líneas de alimentación de los usuarios que hacen que aparezcan componentes de alta frecuencia.

Los cambios bruscos de corriente producen fluctuaciones en la tensión y corriente dando lugar a distorsiones en la forma de onda, lo que se conoce por armónicos.

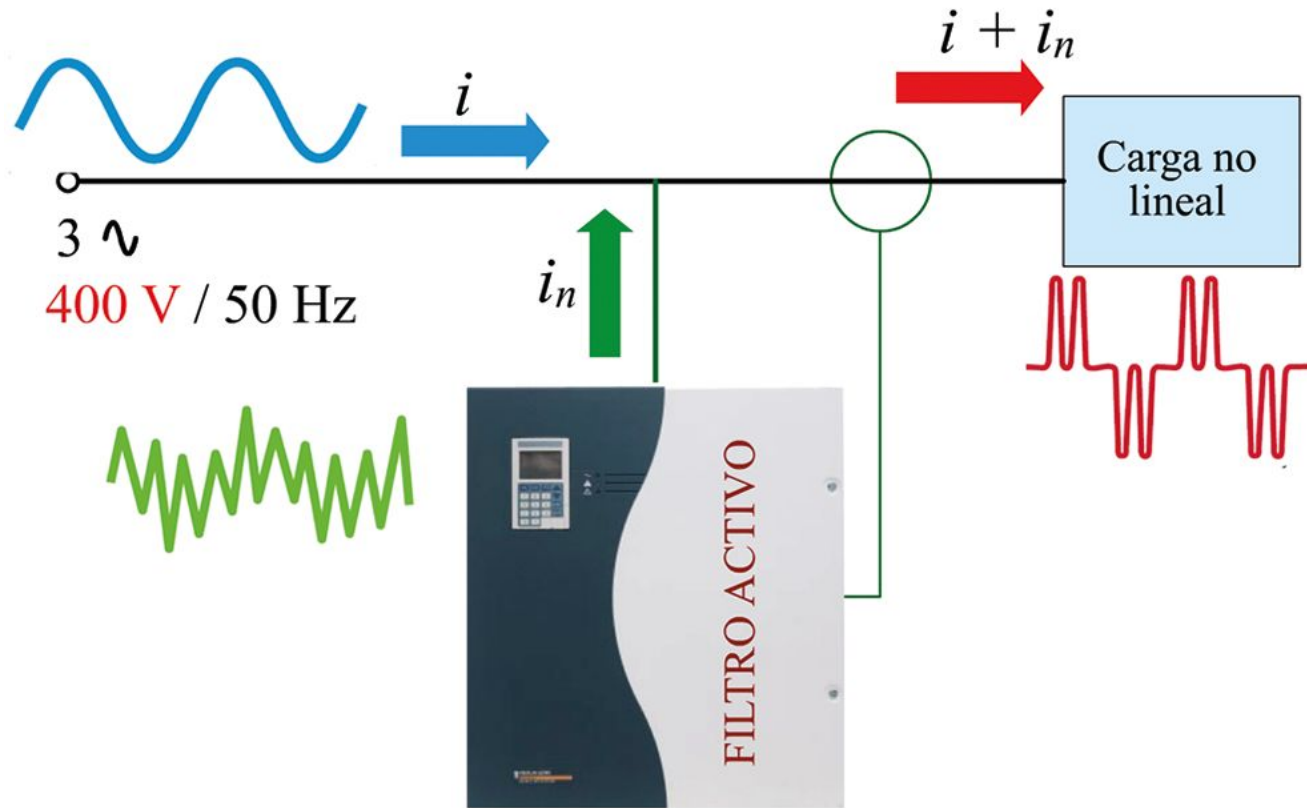




Medida de armónicos: Analizador de red midiendo los armónicos con puntas de prueba y pinzas amperimétricas de medida.



Filtro pasivo para la eliminación de armónicos a base de bobinas y condensadores.



Filtro activo para la eliminación de armónicos en una carga no lineal.

En un sistema trifásico con carga equilibrada se mide una intensidad en la línea de 30 A con un factor de potencia de 0,75. Si la tensión entre fases es 230 V, averigua las potencias de la carga.

Una instalación industrial de 50 kW, con un factor de potencia de 0,65, se alimenta a través de un transformador trifásico con una tensión en el primario entre fases de 24 kV y de 400 V en el secundario. Averigua:

- a)** La potencia nominal del transformador en kVA, así como la corriente por el primario y el secundario.
- b)** Nuevas características del transformador si se corrige el *FP* de la instalación a 0,98 mediante una batería automática de condensadores conectada en el lado de baja tensión.

En un sistema trifásico con carga equilibrada a tres hilos se mide una potencia en la línea de 36 kW, una intensidad de 97,4 A y una tensión de 225 V. Averigua el factor de potencia de la carga.

Un aparato de calefacción trifásico consta de tres resistencias de $10\ \Omega$ conectadas en estrella. Determina la potencia que desarrollarán cuando se les aplique 230 V entre fases, así como la corriente de fase y de línea.

¿Y si conectamos en triángulo las mismas resistencias que en la actividad anterior?

Se conectan en triángulo tres bobinas iguales de $16\ \Omega$ de resistencia óhmica y $0,2\ \text{H}$ de coeficiente de autoinducción cada una. Si se conectan a un sistema trifásico de $240\ \text{V}$ entre fases y $50\ \text{Hz}$, determina:

- a)** La corriente por cada fase y por la línea.
- b)** La potencia activa y el FP de la carga trifásica.

Un motor trifásico conectado a 400 V consume 56 A. Su potencia es de 29,4 kW. Determina el factor de potencia, potencia reactiva y aparente.