CORRIENTE ALTERNA TRIFASICA

1. GENERACION DE LA TENSION TRIFASICA

Si se disponen tres bobinas independientes desfasadas entre sí 120°, en el estator de una máquina eléctrica, como se representa en la figura 1, al girar el campo magnético (rotor), en cada una de las tres bobinas se induce una f.e.m. alterna senoidal, de igual valor y frecuencia pero desfasadas entre sí 120° (es decir 1/3 del periodo).

A esta máquina se le llama generador trifásico, siendo cada bobina una fase de la máquina.

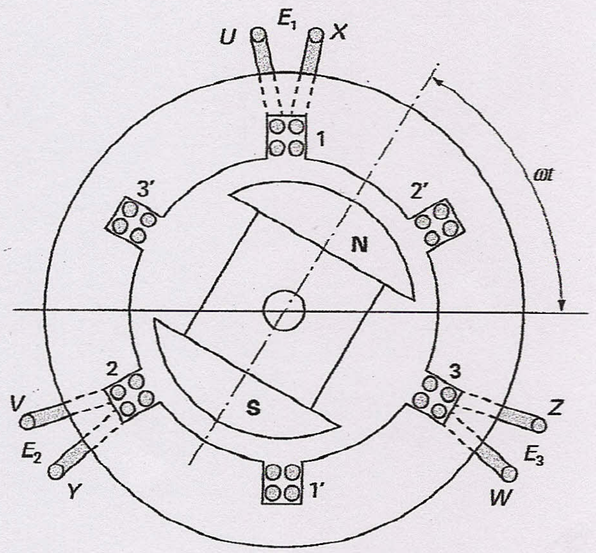

Figura 10.1. Generador trifásico bipolar.

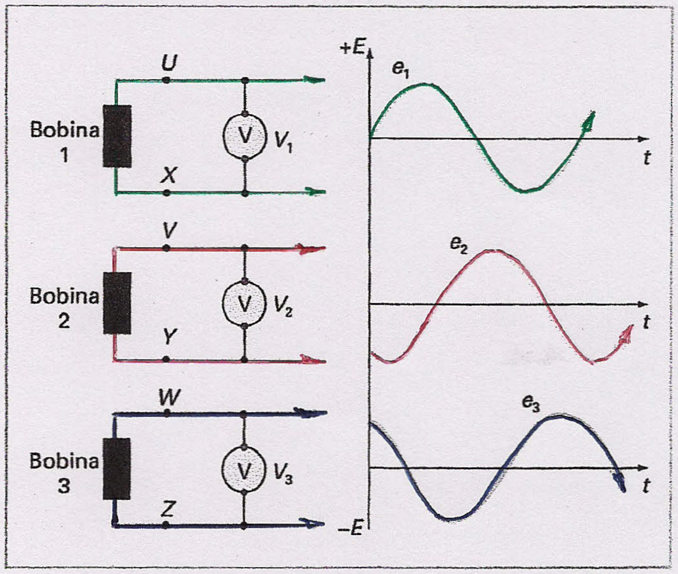

Figura 10.2. Fases de cada bobina.

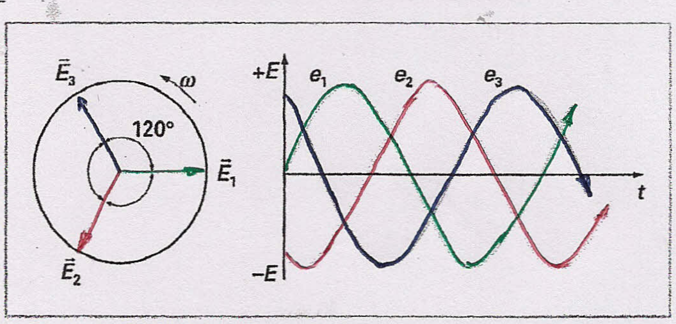

Figura 10.3. Sistema trifásico de fems.

El principio de cada bobina se conoce por **U, V, W** y el final por **X, Y, Z** respectivamente

A la f.e.m. que se induce en cada bobina (Fase) se le llama **TENSION DE FASE** (Figura 2) y el conjunto de las tres fases se denomina **SISTEMA TRIFASICO** (Figura 3)

Los sistemas trifásicos pueden estar formados por tres o por cuatro conductores o fases (Figura 4) a los que se reconoce por las siguientes siglas:

L_1 = Conductor de la fase 1
L_2 = Conductor de la fase 2
L_3 = Conductor de la fase 3
N = Conductor neutro

Cuando se trata de redes de distribución en Baja Tensión, se utiliza el sistema trifásico de cuatro conductores (3F+N), que permite realizar suministros monofásicos.

2. TIPOS DE ACOPLAMIENTO

Al igual que en corriente contínua los generadores se pueden acoplar de varias maneras (serie, paralelo y mixto) En c.a. trifásica se utilizan dos formas de acoplamiento: Estrella y Triángulo.

El acoplamiento en Estrella se realiza Uniendo entre si todos los finales (X, Y, Z) de Cada una de las tres bobinas (fases), mientras que los principios (U, V, W) se conectan a los conductores de la líneas de distribución (fig.5)

El Acoplamiento en triángulo se realiza Uniendo el final de una bobina (fase) con el principio de la siguiente, y así sucesivamente:

Z con U, X con V , Y con W

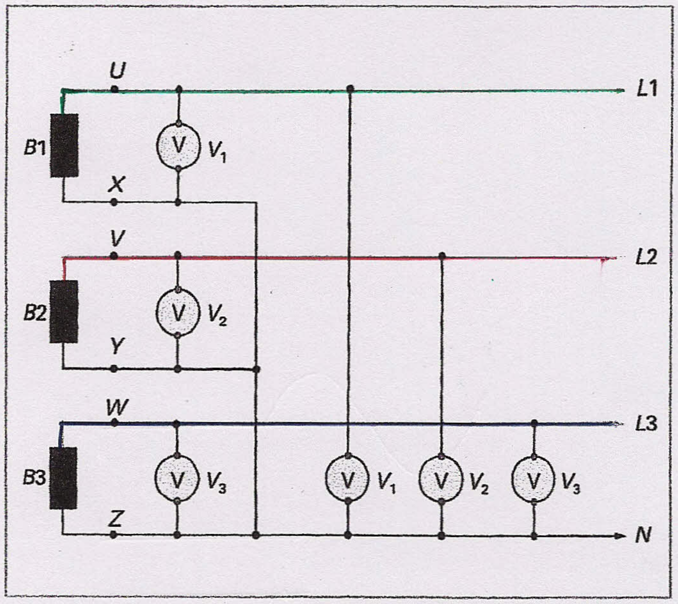

Figura 10.4. Sistema trifásico a tres o cuatro conductores.

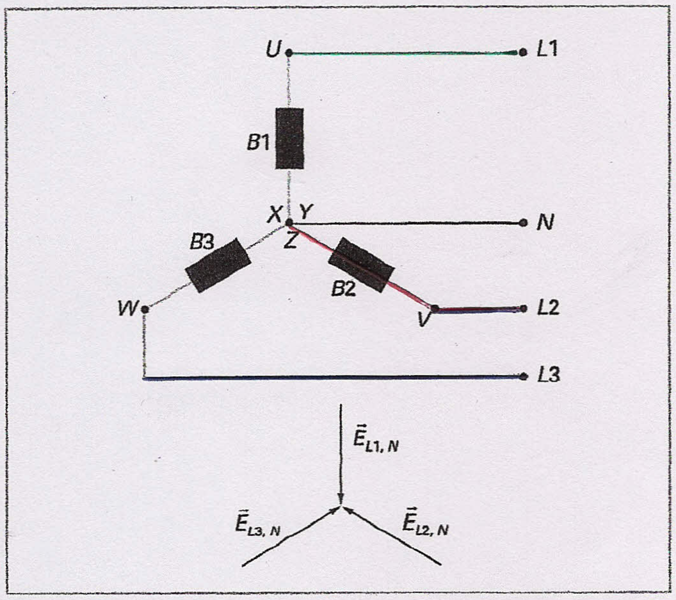

Figura 10.5. Acoplamiento en estrella.

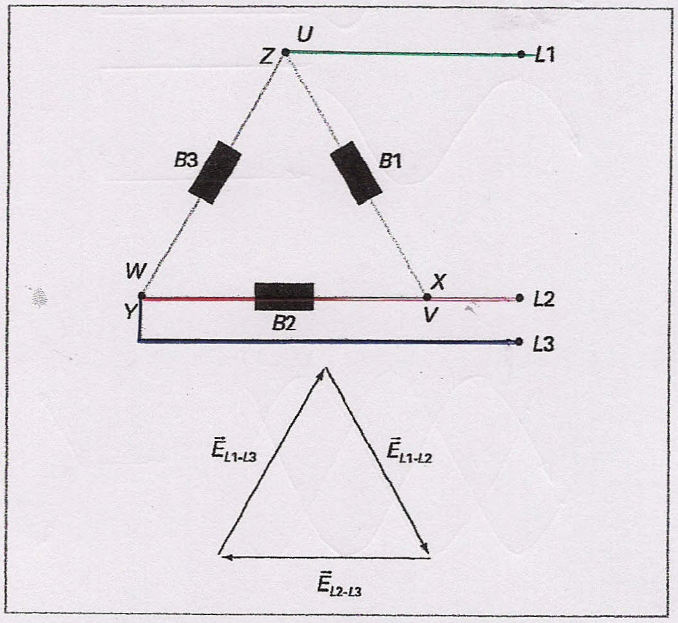

Figura 10.6. Acoplamiento en triángulo.

3. TENSION SIMPLE Y TENSION COMPUESTA

Para poder distinguir la tensión existente entre los distintos conductores de un sistema triofásico, se establecen los criterios siguientes:

Tensión compuesta (U_c) ó Tensión de Línea (U_l) es la tensión entre fases.

Tensión simple (U_s) ó Tensión de fase (U_f) es la tensión entre fase y neutro

En la fig.9, los voltímetros: V_1 , V_2 y V_3 miden las tensiones Simples o de fase (entre cada Fase y el neutro)

Los voltímetros: $V_{1,2}$, $V_{2,3}$ y $V_{3,1}$ miden las Tensiones compuestas o de línea (tensiones entre dos fases)

Estas tensiones representan las diferencia vectorial entre cada una de las fases (fig.8)

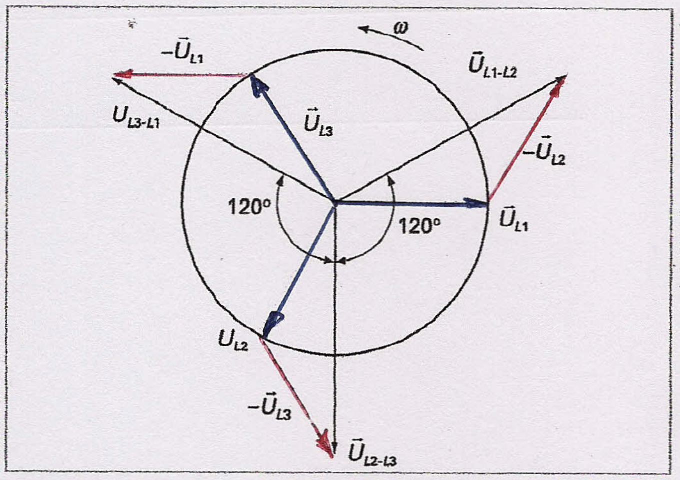

Figura 10.8. Diagrama vectorial de tensiones simples y compuestas.

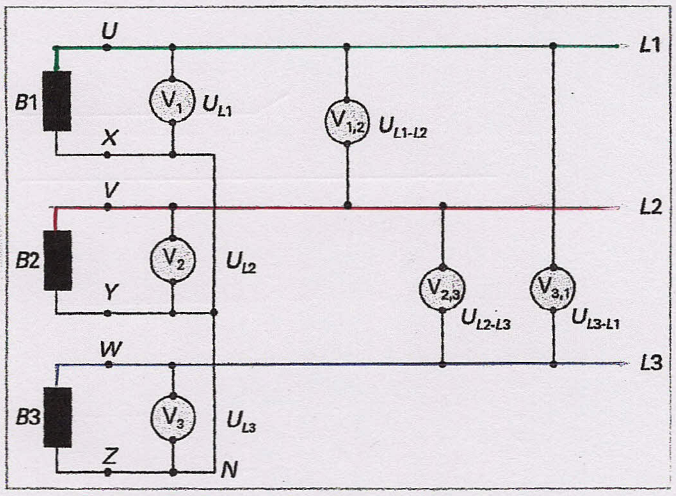

Figura 10.9. Sistema trifásico.

Por tanto en todo sistema trifásico (fig.9) existen tres tensiones simples: $\mathbf{U_{L1}}$ $\mathbf{U_{L2}}$ y $\mathbf{U_{L3}}$ y tres tensiones compuestas: $\mathbf{U_{L1-L2}}$ $\mathbf{U_{L2-L3}}$ y $\mathbf{U_{L3-L1}}$ de tal forma que:

$$\mathbf{U_{L1-L2} = U_{L1} - U_{L2}} \qquad \mathbf{U_{L2-L3} = U_{L2} - U_{L3}} \qquad \text{y} \qquad \mathbf{U_{L3-L1} = U_{L3} - U_{L1}}$$

Las tres tensiones compuestas son como las tensiones simples, es decir iguales entre sí y desfasadas 120º.

4. RELACION ENTRE TENSION SIMPLE Y TENSION COMPUESTA

Para encontrar la relación entre ambas tensiones, basta con sumar dos tensiones simples, (fig.10).

Así:

$U_{L1-L2}/2 = U_{L1} \cdot \cos 30^{o}$

Como $\cos 30^{o} = \sqrt{3}/2$, entonces:

$\mathbf{U_{L1-L2} = \sqrt{3} \cdot U_{L1}}$

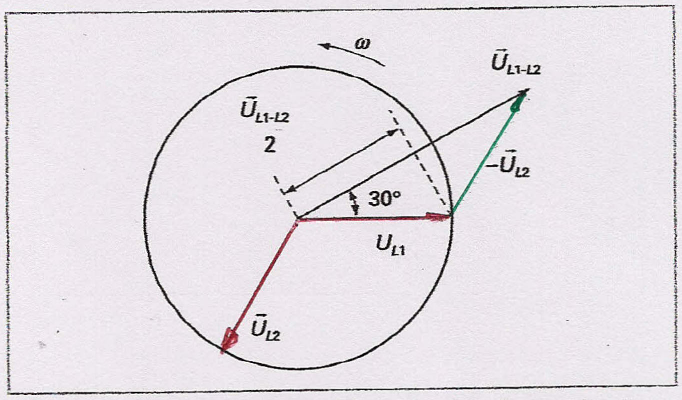

Figura 10.10. Suma vectorial de dos tensiones simples.

Las redes de distribución de Alta Tensión (más de 1KV) se componen generalmente de tres conductores (no llevan neutro) y solo existe una tensión, la compuesta o de línea.

En los sistemas trifásicos de tres o más conductores tanto si son de B.T. o de A.T., la tensión nominal es siempre la tensión compuesta o de línea.

5. INTENSIDADES EN LOS SISTEMAS TRIFASICOS

En los sistemas trifásicos pueden presentarse diferentes modos de conectar los receptores, bien a las tres fases, a dos, o entre fase y neutro, lo que origina distintas intensidades en cada uno de los conductores del sistema.

Esto es debido a que los factores de potencia de los receptores pueden ser diferentes, dando lugar a distintos cos φ en cada una de las fases.

Por lo que los sitemas trifásicos hay que considerarlos bajo dos aspectos:

a) Sistemas trifásicos equilibrados
b) Sistemas trifásicos desiquilibrados

a) Sistemas trifásicos equilibrados

Las condiciones para que un sistema se considere equilibrado son:

1. Que la intensidad en las tres fases ha de ser igual: $I_{L1} = I_{L2} = I_{L3}$

2. Los factores de potencia deben ser los mismos:

   $\text{Cos } \varphi_{L1} = \text{Cos } \varphi_{L2} = \text{Cos } \varphi_{L3}$

   Si se cumplen estas dos condiciones, la Intensidad por el conductor Neutro es: $I_N = 0$

b) Sistemas trifásicos desiquilibrados

Se denominan así cuando no cumplen alguna o las dos condiciones anteriores:

$I_{L1} \neq I_{L2} \neq I_{L3}$ y/o $\text{Cos } \varphi_{L1} \neq \text{Cos } \varphi_{L1} \neq \text{Cos } \varphi_{L2}$

En este caso la $I_N \neq 0$

Solo en el caso de que las tres intensidades formaran un triángulo, la intensidad por el neutro sería 0.

6. CONEXIÓN DE RECEPTORES EN LOS SISTEMAS TRIFASICOS

Se pueden conectar de dos formas:

a) Entre Fase y Neutro
b) Entre dos fases

La elección de un tipo u otro depende de la tensión nominal de los receptores y de la tensión de la red.

6.1.- Conexión entre Fase y neutro:

Se realiza cuando la tensión nominal de los receptores coincide con la tensión simple de la red (**U_s**) (fig 11). Esta conexión es conocida con el nombre de conexión en estrella (fig 12)

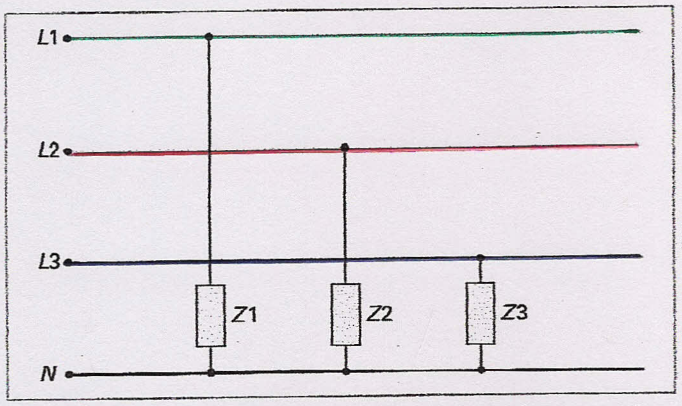

Figura 10.11. Conexión de receptores entre fase y neutro.

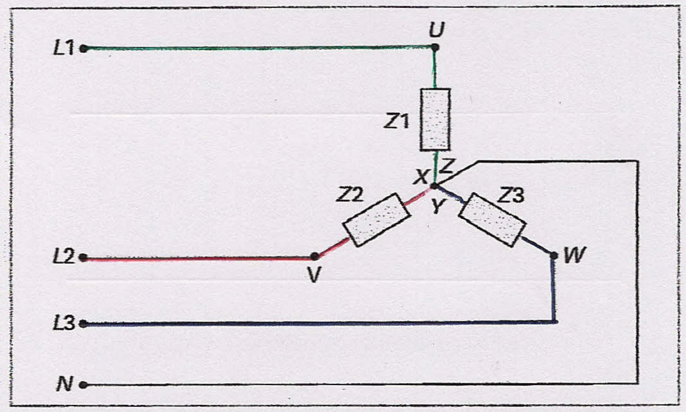

Figura 10.12. Conexión de receptores estrella.

6.2.- Conexión entre dos Fases:

Se realiza cuando la tensión nominal de los receptores coincide con la tensión compuesta de la red (**U**$_c$) (fig 13). Esta conexión es conocida con el nombre de conexión en triángulo (fig 14)

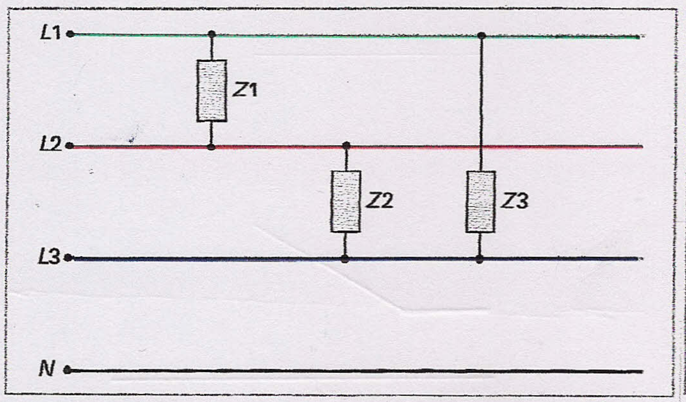

Figura 10.13. Conexión de receptores entre dos fases.

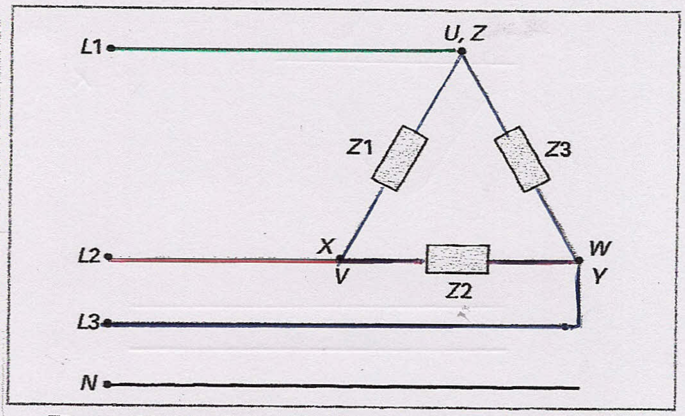

Figura 10.14. Conexión de receptores en triángulo.

7. CONEXIÓN DE RECEPTORES EN ESTRELLA

7.1. CIRCUITO EQUILIBRADO

Si recordamos las condiciones que debe cumplir este sistema cuando se conectan tres receptores idénticos (misma impedancia y mismo Cos φ) en estrella (fig15), se ha de cumplir:

$\mathbf{I}_{L1} + \mathbf{I}_{L2} + \mathbf{I}_{L3} = \mathbf{I}_N = \mathbf{0}$

Las condiciones que definen este Sistema trifásico en estrella, son:

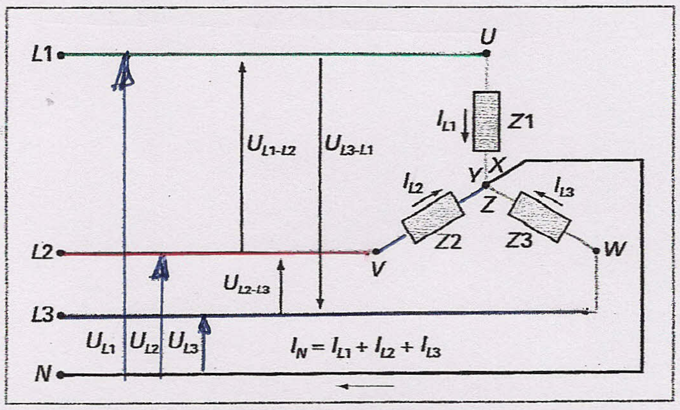

Figura 10.15. Conexión de receptores en estrella (circuito equilibrado).

- Las intensidades simples o de fase son iguales a las intensidades de línea (e iguales entre sí en un sistema equilibrado)

  $$\mathbf{I}_{fase} = \mathbf{I}_{linea}$$

- Las tensiones compuestas o de línea son √3 veces las tensiones simples o de fase (e iguales en un sistema equilibrado)

  $$\mathbf{U}_{linea} = \sqrt{3}\ \mathbf{U}_{fase}$$

El diagrama vectorial de esta conexión en estrella se representa en la fig 16.

En dicha figura se puede apreciar que al estar el sistema equilibrado, la suma vectorial de las tres intensidades de cada una de las fases es 0.

Al punto de unión X,Y,Z de las tres fases se le llama **punto neutro artificial**, siendo su tensión la misma que la del conductor neutro.

Siendo:

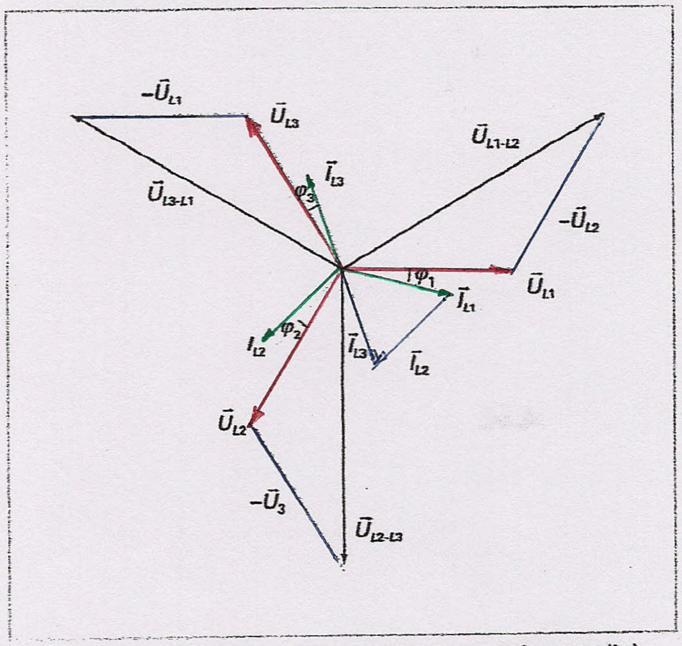

Figura 10.16. Diagrama vectorial (conexión estrella).

$$Z_1 = \sqrt{R_1^2 + X_1^2}$$

$$Z_1 = \sqrt{R_2^2 + X_2^2}$$

$$Z_1 = \sqrt{R_3^2 + X_3^2}$$

Y

$$\varphi_1 = \text{arc tg } (X_1 / R_1)$$

$$\varphi_2 = \text{arc tg } (X_2 / R_2)$$

$$\varphi_3 = \text{arc tg } (X_3 / R_3)$$

Las intensidades serán: $\mathbf{I}_{L1} = \mathbf{U}_{L1} / \mathbf{Z}_1$ $\quad \mathbf{I}_{L2} = \mathbf{U}_{L2} / \mathbf{Z}_2$ y $\mathbf{I}_{L3} = \mathbf{U}_{L3} / \mathbf{Z}_3$

7.2. CIRCUITO DESEQUILIBRADO

En el circuito en estrella desequilibrado, es fundamental el conductor neutro, ya que las intensidades de fase no son las mismas, porque las impedancia de cada fase son distintas.

Esto da como resultado que la suma vectorial de las intensidades de fase no sea nula:

$$\mathbf{I}_{L1} + \mathbf{I}_{L2} + \mathbf{I}_{L3} \neq 0$$

8. CONEXIÓN DE RECEPTORES EN TRIANGULO

8.1. CIRCUITO EQUILIBRADO

El circuito de la figura 18 representa tres impedancias Z_1 , Z_2 y Z_3 conectadas en un circuito trifásico en triángulo equilibrado.

Observamos que las intensidades de fase I_{L1}, I_{L2} e I_{L3} son mayores que las intensidades I_{L1-L2} I_{L2-L3} e I_{L3-L1} que absorben los receptores.

Mientras que las tensiones de fase U_{L1}, U_{L2} y U_{L3} son las mismas que las de línea U_{L1-L2}, U_{L2-L3} y U_{L3-L1}

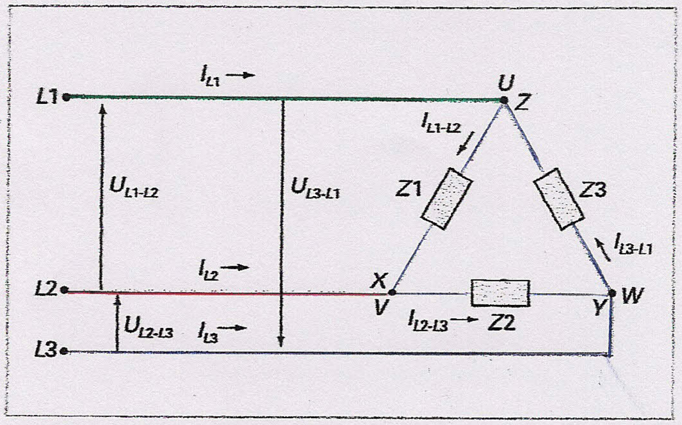

Figura 10.18. Conexión de receptores en triángulo (circuito equilibrado).

En el diagrama vectorial de la fig.19 se observa la relación existente entre las intensidades de fase (simples) y las de línea (compuestas) en un montaje en triángulo.

Se cumple que:

$$I_{L1} = I_{L1-L2} - I_{L3-L1}$$

$$I_{L2} = I_{L2-L3} - I_{L3-L2}$$

$$I_{L3} = I_{L3-L1} - I_{L2-L3}$$

Del diagrama de la fig19 se deduce que :

$$I_{L1} / 2 = I_{L1-L2} \cdot \cos 30°$$

y como **cos 30° = √3/2**

$$I_{L1} = \sqrt{3}\, I_{L1-L2}$$

Las condiciones que determinan este montaje en triángulo, son:

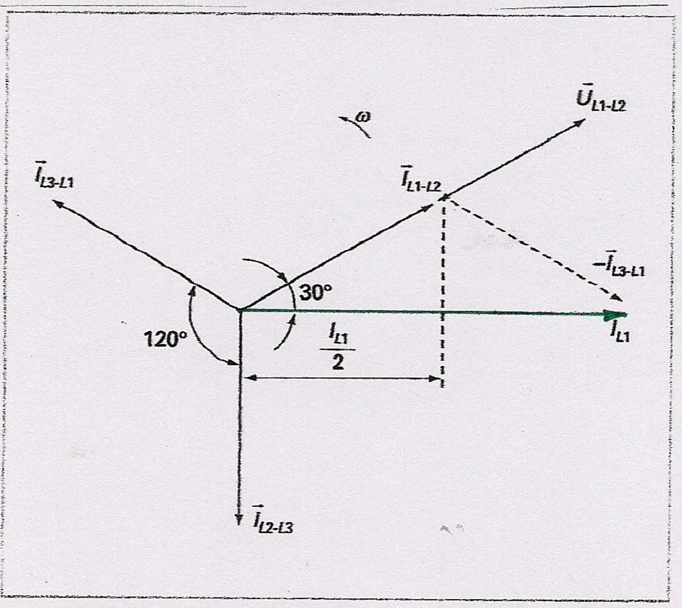

Figura 10.19. Diagrama vectorial (relación entre intensidades de fase y de línea).

- Las tensiones de fase son igual a las línea: $U_{fase} = U_{línea}$
- Las intensidades de línea son √3 veces las intensidades de fase: $I_{L1} = \sqrt{3}\, I_{fase}$

8.2. CIRCUITO DESEQUILIBRADO

Cuando se realice un montaje de receptores en circuito trifásico desequilibrado hay que tener en cuenta los dos aspectos siguientes:

- Los cos φ de cada fase son distintos al cos φ de cada receptor
- La relación entre la intensidad de línea y de fase no es √3

- En el arranque de un motor trifásico de poca potencia es frecuente variar su conexión estrella-triángulo para que la corriente en el momento del arranque no sea elevada. Para conseguir esto, se acopla primero en estrella y cuando ya está arrancado se pasa a triángulo.

10. POTENCIAS EN LOS SISTEMAS TRIFASICOS

El cálculo de la potencia de cada una de las fases de un sistema trifásico se realiza de la misma forma que en un sistema monofásico.

POTENCIAS EN CIRCUITO DESEQUILIBRADO

La potencia del sistema se determinará calculando por separado la potencia activa, la potencia reactiva y la potencia aparente de cada fase, es decir:

FASE 1:

$$\mathbf{P_{L1} = U_{L1} \cdot I_{L1} \cdot \cos \varphi_{L1}}$$

$$\mathbf{Q_{L1} = U_{L1} \cdot I_{L1} \cdot sen\ \varphi_{L1}}$$

$$\mathbf{S_1 = U_{L1} \cdot I_{L1}}$$

FASE 2:

$$\mathbf{P_{L2} = U_{L2} \cdot I_{L2} \cdot \cos \varphi_{L2}}$$

$$\mathbf{Q_{L2} = U_{L2} \cdot I_{L2} \cdot sen\ \varphi_{L2}}$$

$$\mathbf{S_2 = U_{L2} \cdot I_{L2}}$$

FASE 3:

$$\mathbf{P_{L3} = U_{L3} \cdot I_{L3} \cdot \cos \varphi_{L3}}$$

$$\mathbf{Q_{L3} = U_{L3} \cdot I_{L3} \cdot sen\ \varphi_{L3}}$$

$$\mathbf{S_3 = U_{L3} \cdot I_{L3}}$$

Donde: P = Potencia activa
Q = Potencia reactiva
S = Potencia aparente

Las potencias activa y reactiva total del sistema trifásico es la suma de las potencias activas y reactivas respectivamente de las tres fases:

$$P_T = P_{L1} + P_{L2} + P_{L3}$$

$$Q_T = Q_{L1} + Q_{L2} + Q_{L3}$$

La potencia aparente total es: $S_T = \sqrt{(P_T^2 + Q_T^2)}$

POTENCIAS EN CIRCUITO EQUILIBRADO

Las intensidades y los desfases son iguales:

$$I_{L1} = I_{L2} = I_{L3} = I_L$$

$$\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi_3 = \varphi$$

por lo que las expresiones de las potencias son:

$$P_T = 3 \cdot U_F \cdot I_F \cdot \cos\varphi$$

$$Q_T = 3 \cdot U_F \cdot I_F \cdot \text{sen}\,\varphi$$

$$S_T = 3 \cdot U_F \cdot I_F$$

10.1. POTENCIAS DEL SISTEMA TRIFASICO EQUILIBRADO EN ESTRELLA

Recordando que en este sistema $U_L = \sqrt{3}\, U_F$ y que:

$$I_{L1} = I_{L2} = I_{L3} = I_L = I_F \qquad \varphi_1 = \varphi_2 = \varphi_3 = \varphi$$

Y sustituyendo en las expresiones de las potencias en circuito equilibrado:

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

$$Q_T = 3 \cdot U_L/\sqrt{3} \cdot I_L \cdot \text{sen}\,\varphi = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \cdot \text{sen}\,\varphi$$

$$S_T = 3 \cdot U_L/\sqrt{3} \cdot I_L = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L$$

10.2. POTENCIAS DEL SISTEMA TRIFASICO EQUILIBRADO EN TRIANGULO

Si procedemos de igual forma que en el caso anterior, con la condición de triangulo equilibrado, y recordando que:

$$U_{L1\text{-}L2} = U_{L2\text{-}L3} = U_{L3\text{-}L1} = U_L = U_F$$

$$I_{L1\text{-}L2} = I_{L2\text{-}L3} = I_{L3\text{-}L1} = I_L$$

$$I_{L1} = I_{L2} = I_{L3} = I_F$$

Y que : $I_L = \sqrt{3}\, I_F$ tendremos:

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

$$Q_T = 3 \cdot I_L/\sqrt{3} \cdot U_L \cdot \text{sen}\,\varphi = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \cdot \text{sen}\,\varphi$$

$$S_T = 3 \cdot I_L/\sqrt{3} \cdot U_L = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L$$