

## TECNOLOGÍA ELÉCTRICA. UNIDAD DIDÁCTICA 1

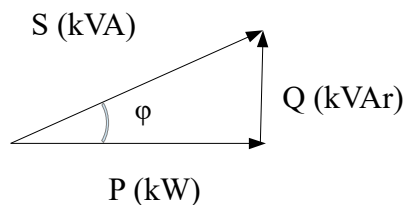
### CONCEPTOS BÁSICOS Y PROBLEMAS RESUELTOS

#### 1.- POTENCIA EN SISTEMAS DE CORRIENTE ALTERNA

- En los circuitos de corriente alterna, al producto entre tensión e intensidad se le denomina **potencia aparente, S**, y se compone de una parte real (**potencia activa, P**) y una parte imaginaria (**potencia reactiva, Q**).

$$\bar{S} = \bar{U} * \bar{I} = P + jQ = UI * (\cos\phi + j\text{sen}\phi)$$

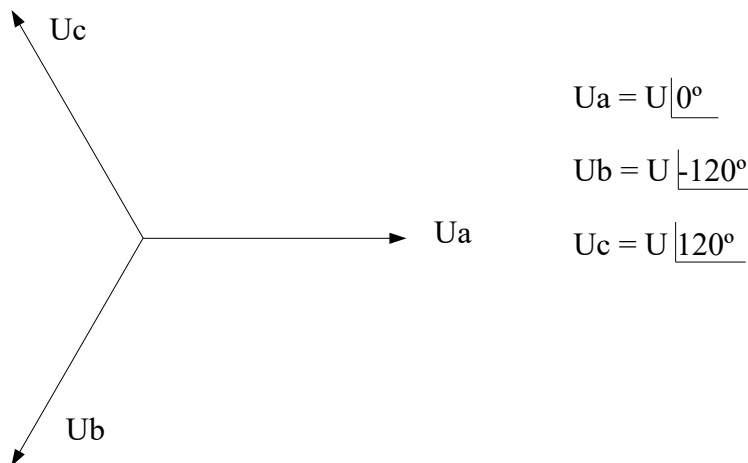
- Su representación gráfica se realiza mediante el **triángulo de potencias**. Si la parte imaginaria Q es positiva, entonces la carga es inductiva mientras que si es negativa la carga es capacitiva. Al término  $\cos\phi$  se le denomina **factor de potencia**.



*Triángulo de potencias con sus unidades*

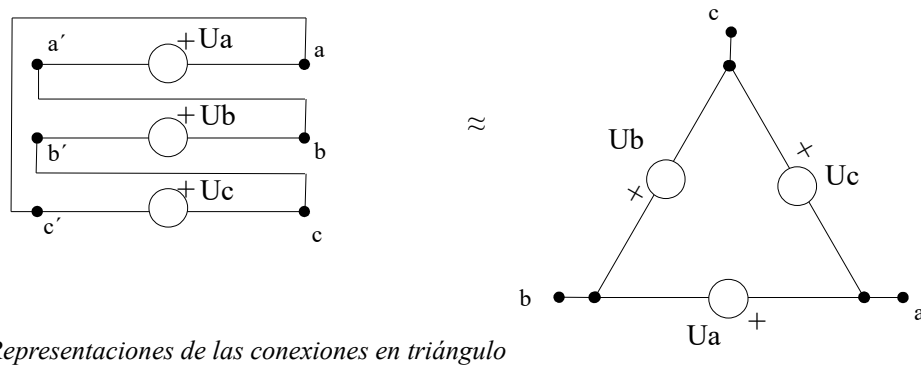
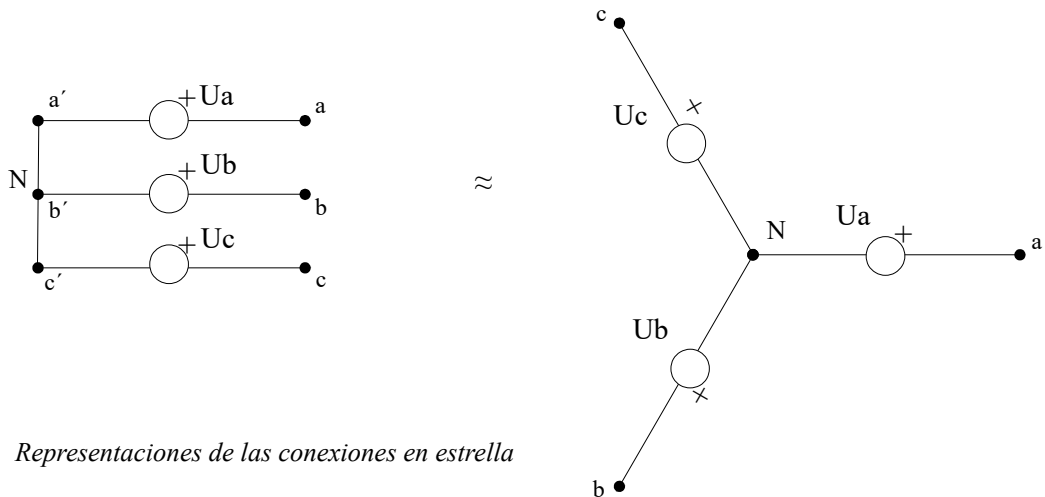
#### 2.- CORRIENTE ALTERNA TRIFÁSICA

- Un **generador trifásico** está formado por tres fuentes de alimentación de corriente alterna que tienen la misma amplitud y frecuencia pero distintas fases, como se puede apreciar en el siguiente diagrama fasorial. Puede ser de **secuencia directa**  $U_a-U_b-U_c$  (sentido agujas del reloj) o **inversa** ( $U_a-U_c-U_b$ ). Se suele tomar  $U_a$  en el origen de fases ( $0^\circ$ ) estando el resto de tensiones desfasadas  $120^\circ$ . Como se puede observar la suma de tensiones es nula.



*Sistema trifásico de secuencia directa*

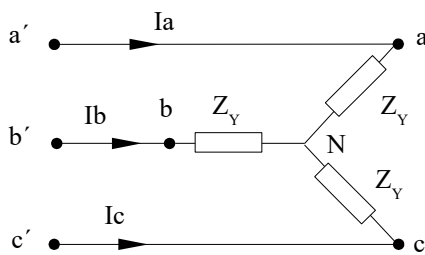
- Los dos modos más comunes de **conexión** de las fuentes trifásicas son en **estrella (Y)** o en **triángulo (Δ)**. Las conexiones en estrella se realizan mediante la unión de las fuentes a un punto común que se denomina **neutro** mientras que las conexiones en triángulo se realizan uniendo sucesivamente los terminales de las fuentes entre sí.



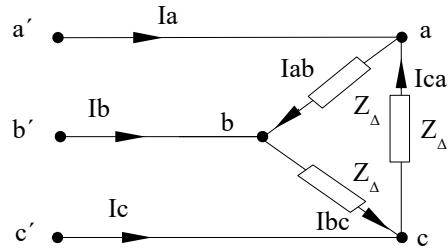
- La **tensión de fase** es la tensión entre un terminal de fase (a, b, c) y el punto neutro ( $U_{aN}$ ,  $U_{bN}$ ,  $U_{cN}$ ) mientras que la **tensión de línea** es la que existe entre dos conductores de línea ( $U_{ab}$ ,  $U_{bc}$ ,  $U_{ca}$ ).

	Tensión de fase	Tensión de línea
<b>Conexión Y</b>	$U_{aN} = U_a$ $U_{bN} = U_b$ $U_{cN} = U_c$	$U_{ab} = U_{aN} - U_{bN} = U_{aN} (1 \angle 0^\circ - 1 \angle -120^\circ) = U_{aN} \sqrt{3} \angle 30^\circ$ luego $U_{línea} = \sqrt{3} U_{fase}$
<b>Conexión Δ</b>	$U_{fase} = U_{línea} (U_a, U_b, U_c)$	

- Al igual que las fuentes generadoras, las **cargas** (representadas por sus **impedancias,  $Z_c$** , o **admitancias,  $Y_c$** ) también pueden conectarse en estrella o en triángulo, definiéndose los circuitos según el modo de conexión del generador y de la carga (YY,  $\Delta\Delta$ ,  $\Delta Y$ ,  $Y\Delta$ ).



Conexión carga en estrella



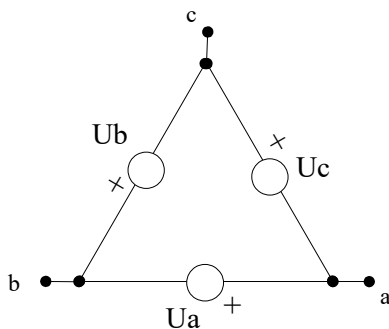
Conexión carga en triángulo

- Las líneas eléctricas que unen los generadores con las cargas presentan una **impedancia de línea ( $Z_l$ )**.
- Las **intensidades de línea** son las intensidades que circulan por los conductores de conexión entre el generador y la carga, mientras que la **intensidad de fase** es la que suministra uno de los generadores del sistema o la que consume una de las cargas.

	Intensidad de línea	Intensidad de fase
<b>Conexión Y</b>	$I_{línea} = I_{fase} (I_a, I_b, I_c)$	
<b>Conexión <math>\Delta</math></b>	$I_a = I_{ab} - I_{ca} = I_{ab} (1 \angle 0^\circ - 1 \angle 120^\circ) = I_{ab} \sqrt{3} \angle -30^\circ$ luego $I_{línea} = \sqrt{3} I_{fase}$	$I_{ab}$ $I_{bc}$ $I_{ca}$

- En un sistema trifásico equilibrado en Y no circula corriente por el neutro, el circuito se comporta como tres circuitos independientes e idénticos pero con tres fases distintas, y se puede reducir al **circuito monofásico equivalente**.
- En un sistema en triángulo se puede calcular su equivalente en estrella, tanto en el generador como en la carga (Teorema de Kennelly)

$$Z_\Delta = 3Z_Y \quad \text{Equivalencia entre las cargas estrella-triángulo}$$



Equivalencia entre los generadores triángulo-estrella

### 3.- POTENCIA TRIFÁSICA

- Las potencias trifásicas activa y reactiva se obtienen multiplicando por 3 las potencias de cada fase:

$$P_t = 3 \cdot P = 3UI \cos \varphi$$

$$Q_t = 3 \cdot Q = 3UI \sin \varphi$$

$$S_t = 3 \cdot S = 3UI$$

donde según el tipo de conexión:

	U	I
<b>Conexión Y</b>	$U_{\text{fase}}$	$I_{\text{línea}}$
<b>Conexión <math>\Delta</math></b>	$U_{\text{línea}}$	$I_{\text{fase}}$

- En función de las magnitudes de línea, para cualquier tipo de conexión, la potencia trifásica se puede expresar:

$$P_t = \sqrt{3} U_l I_l \cos \varphi$$

$$Q_t = \sqrt{3} U_l I_l \sin \varphi$$

$$S_t = \sqrt{3} U_l I_l$$

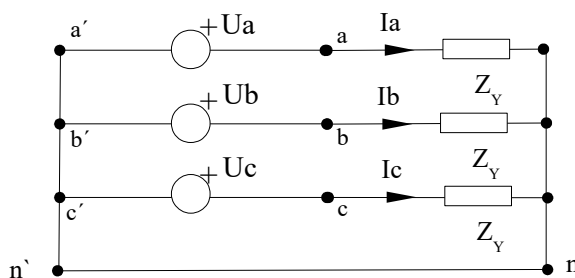
### 4.- PROBLEMAS RESUELTOS

1.- Un generador trifásico en estrella de secuencia directa con tensión de línea de 380V alimenta a una carga equilibrada en estrella de impedancia  $Z = 1 + j \Omega$ .

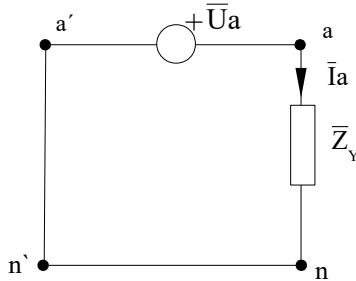
- Calcular las corrientes de línea.
- Calcular el factor de potencia.
- Calcular la potencia absorbida por la carga.

#### Solución

a) Tenemos el siguiente circuito trifásico



como es un circuito YY podemos realizar el monofásico equivalente



donde tomando como origen de fases la tensión de fase a del generador y conociendo la tensión de línea, calculamos la tensión de fase:

$$\bar{U}_a = 380/\sqrt{3} \angle 0^\circ = 220 \angle 0^\circ \text{ V}$$

y la intensidad de línea aplicando la Ley de Ohm, que coincidirá con la de fase al ser la carga en estrella

$$\bar{I}_a = \bar{U}_a / \bar{Z}_Y = 220/(1+j) = 220 \angle 0^\circ / \sqrt{2} \angle 45^\circ = 155,56 \angle -45^\circ \text{ A}$$

y el resto de intensidades de línea se obtienen desfasándolas  $120^\circ$  en secuencia directa:

$$\bar{I}_b = 155,56 \angle -165^\circ \text{ A}$$

$$\bar{I}_c = 155,56 \angle 75^\circ \text{ A}$$

b) El factor de potencia de la carga es el coseno de su ángulo  $\cos\varphi = \cos 45^\circ = 0,707$

c) La potencia total absorbida por la carga en estrella será:

$$St = 3U_{\text{fase}} I_{\text{línea}}^* = 3 * (380/\sqrt{3}) \angle 0^\circ * 155,56 \angle 45^\circ = 102386,37 \angle 45^\circ \text{ VA}$$

**IMPORTANTE** donde  $I_{\text{línea}}^*$  es el fasor conjugado de  $I_{\text{línea}}$  es decir, mismo módulo y ángulo de distinto signo, ya que la potencia tiene el ángulo de la impedancia de la carga

o de otro modo

$$St = \sqrt{3} U_{\text{línea}} I_{\text{línea}} = \sqrt{3} * 380 * 155,56 = 102386,37 \text{ VA con el ángulo de la impedancia de la carga } (45^\circ)$$

2.- Un generador trifásico equilibrado de secuencia directa conectado en estrella de 1200V alimenta una carga en triángulo de impedancia  $Z = 9 + 3j \Omega$ . La carga se alimenta a través de una línea de impedancia  $Z_l = 0,1 + 0,1j \Omega$ .

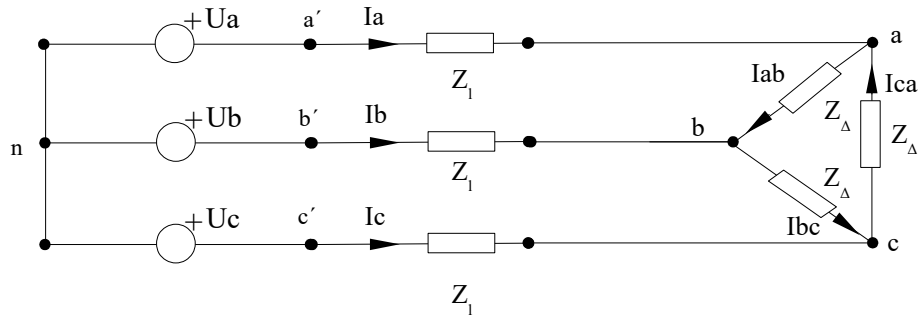
a) Calcular las corrientes de línea.

b) Calcular la potencia absorbida por la carga y por la línea.

c) Calcular la tensión en los bornes de la carga en triángulo.

Solución

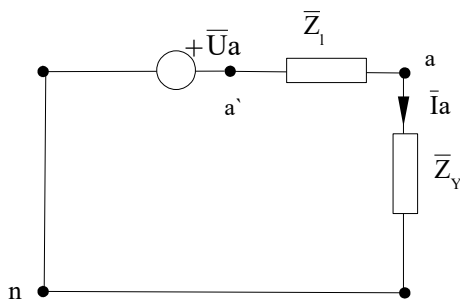
a) Tenemos el siguiente circuito trifásico



que para convertirlo en el monofásico equivalente hemos de transformar la carga de triángulo a estrella:

$$Z_{\Delta} = 3Z_Y \text{ luego } Z_Y = 1/3(9+3j) = 3+j \Omega$$

Por tanto el circuito equivalente será:



tomamos la tensión  $U_a$  en el origen de fases (el enunciado nos da la tensión en el generador, es decir, la de fase)

$$\bar{U}_a = 1200 \angle 0^\circ \text{ V}$$

y la intensidad de línea se calculará aplicando la Ley de Ohm, que coincidirá con la de fase al ser la carga en estrella. En este caso hay que tener en cuenta la impedancia de línea.

$$\bar{I}_a = \bar{U}_a / (\bar{Z}_Y + \bar{Z}_1) = 1200 / (3+j+0,1+0,1j) = 1200 \angle 0^\circ / 3,29 \angle 19,53^\circ = 364,74 \angle -19,53^\circ \text{ A}$$

y el resto de intensidades de línea se obtienen desfasándolas  $120^\circ$  en secuencia directa:

$$\bar{I}_b = 364,74 \angle -139,53^\circ \text{ A}$$

$$\bar{I}_c = 364,74 \angle 100,47^\circ \text{ A}$$

b) La potencia absorbida por la carga será la que absorba la impedancia de la carga por la corriente de línea (al haber también una impedancia de línea)

**IMPORTANTE**

$$S_c = 3\bar{Z}_Y |\bar{I}_a|^2 = Z_{\Delta} |\bar{I}_a|^2 = (9+3j) * 364,74^2 = 1262 \angle 18,43^\circ \text{ kVA}$$

La potencia absorbida por la línea será:

$$Sl = 3\bar{Z}_l |\bar{I}_a|^2 = 3*(0,1+0,1j)*364,74^2 = 56,44 \angle 45^\circ \text{ kVA}$$

c) Para calcular la tensión en los bornes de la carga en triángulo calculamos la tensión en la carga en estrella y deshacemos el equivalente:

$$\bar{V}_{Y_a} = Z_Y \bar{I}_a = (3+j)*364,74 \angle -19,53^\circ = 3,16 \angle 18,43^\circ * 364,74 \angle -19,53^\circ = 1152,5 \angle -1,1^\circ \text{ V}$$

como sabemos que  $\bar{V}_Y = \bar{V}_\Delta / \sqrt{3} \angle 30^\circ$

$$\bar{V}_{\Delta_a} = \sqrt{3} \angle 30^\circ * 1152,5 \angle -1,1^\circ = 1996,2 \angle 28,9^\circ \text{ V}$$

y el resto de tensiones lo obtenemos aplicando el desfase de  $120^\circ$

$$\bar{V}_{\Delta_b} = 1996,2 \angle -91,1^\circ \text{ V}$$

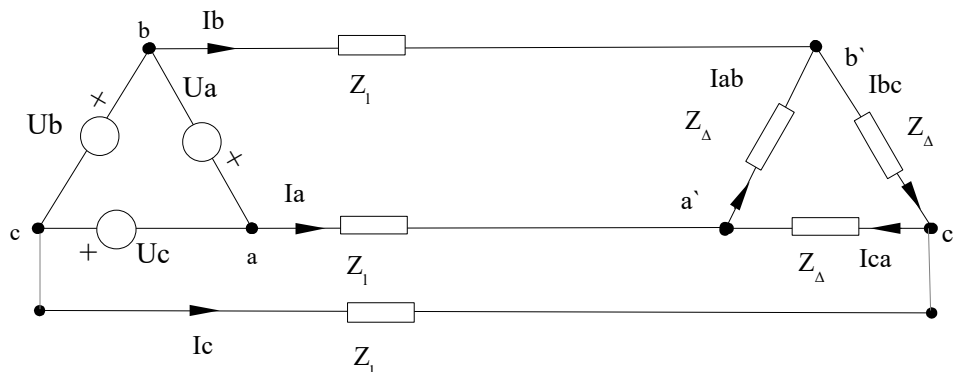
$$\bar{V}_{\Delta_c} = 1996,2 \angle 148,9^\circ \text{ V}$$

3.- Un generador trifásico equilibrado de secuencia directa conectado en triángulo de 400V alimenta una carga en triángulo de impedancia  $Z = 1 + 2j \Omega$ . La carga se alimenta a través de una línea de impedancia  $Z_l = 0,3 + 0,6j \Omega$ .

- Calcular las corrientes de línea.
- Calcular la potencia absorbida por la carga y por la línea.
- Calcular la tensión de línea del lado de la carga

### Solución

a) Tenemos el siguiente circuito trifásico

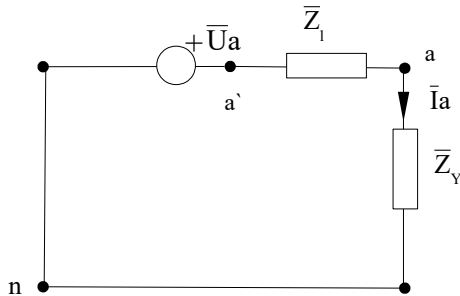


para calcular el circuito monofásico equivalente transformamos las conexiones del generador y de la carga en estrella:

$$Z_{\Delta} = 3Z_Y \text{ luego } Z_Y = 1/3(1+2j) = 0,333+0,666j \ \Omega$$

$$\bar{V}_Y = \bar{V}_{\Delta} / \sqrt{3} = 400/\sqrt{3} = 231 \angle 0^{\circ} \text{ V que tomamos como origen de fases para trabajar más cómodamente}$$

Por tanto el monofásico equivalente será:



y procediendo como en el ejercicio anterior

$$\bar{I}_a = \bar{U}_a / (\bar{Z}_Y + \bar{Z}_l) = 231 / (0,33+0,66j+0,3+0,6j) = 231 \angle 0^{\circ} / 1,40 \angle 63,46^{\circ} = 165 \angle -63,46^{\circ} \text{ A}$$

y el resto de intensidades de línea se obtienen desfasándolas  $120^{\circ}$  en secuencia directa:

$$\bar{I}_b = 165 \angle -183,46^{\circ} \text{ A}$$

$$\bar{I}_c = 165 \angle 56,54^{\circ} \text{ A}$$

b) Para determinar las potencias, al igual que en el ejercicio anterior, tenemos que la potencia absorbida por la carga será:

$$S_c = 3\bar{Z}_Y |\bar{I}_a|^2 = Z_{\Delta} |\bar{I}_a|^2 = (1+2j) * 165^2 = 60,87 \angle 63,4^{\circ} \text{ kVA}$$

La potencia absorbida por la línea será:

$$S_l = 3\bar{Z}_l |\bar{I}_a|^2 = 3 * (0,3+0,6j) * 165^2 = 54,79 \angle 63,4^{\circ} \text{ kVA}$$

c) Para calcular la tensión en los bornes de la carga en triángulo calculamos la tensión en la carga en estrella y deshacemos el equivalente:

$$\bar{V}_{Ya} = Z_Y \bar{I}_a = (0,333+0,666j) * 165 \angle -63,46^{\circ} = 0,74 \angle 63,46^{\circ} * 165 \angle -63,46^{\circ} = 122,1 \angle 0^{\circ} \text{ V}$$

$$\text{como sabemos que } \bar{V}_Y = \bar{V}_{\Delta} / \sqrt{3} \angle 30$$

$$\bar{V}_{\Delta a} = \sqrt{3} \angle 30 * 122,1 \angle 0^{\circ} = 211,4 \angle 30^{\circ} \text{ V}$$

y el resto de tensiones lo obtenemos aplicando el desfase de  $120^{\circ}$

$$\bar{V}_{\Delta b} = 211,4 \angle -90^{\circ} \text{ V}$$

$$\bar{V}_{\Delta c} = 211,4 \angle 150^{\circ} \text{ V}$$