



**Campus Virtual FCEfyN**  
Universidad Nacional de Córdoba

---

# TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS

---

ELECTROTECNIA(IE)

29 DE ABRIL DE 2020

## Transformadores Trifásicos

Dado que una distribución trifásica implica una economía de materiales con respecto a la monofásica a igualdad de condiciones (Potencia, Distancia, Tensión de Línea y Pérdido de Tensión) resulta evidente la necesidad de utilizar la transformación trifásica en grandes líneas de transmisión para el transporte de la energía eléctrica.

Es transformaciones pueden realizarse:

a) Utilizando 3 transformadores monofásicos (a flujo independiente) apropiados para constituir un banco trifásico, pudiendo conectarse los bobinados primarios y secundarios independientemente en estrella o en triángulo.

b) Utilizando un transformador trifásico (que opera a flujo acoplado) en donde los bobinados primarios y secundarios se devanan sobre un mismo núcleo.

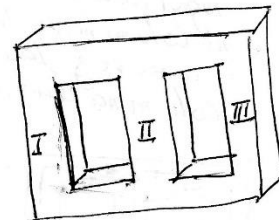
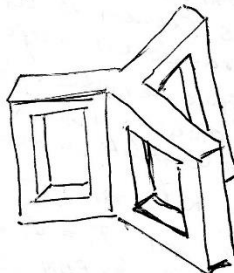
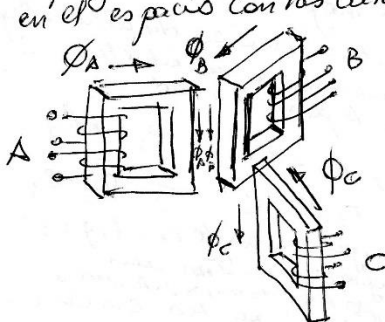
Hay diversas disposiciones de los transformadores trifásicos pero los 2 principales se derivan de los tipos Ventana y Acorazado.

La designación de bornes correspondientes a un TRAF0 TRIFÁSICO se hace según las normas C.E.I. y la recomendación de UNESA y anteriormente según las normas V.D.E.

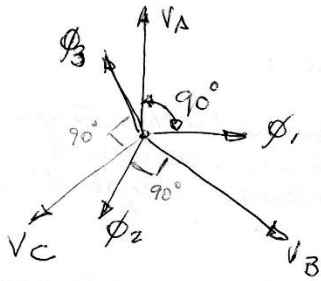
C.E.I.	<table border="1"><tr><td>H</td><td>A</td><td>B</td><td>C</td></tr><tr><td>N</td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	H	A	B	C	N				V.D.E.	<table border="1"><tr><td>H</td><td>U</td><td>V</td><td>W</td></tr><tr><td>N</td><td>0</td><td>1</td><td>2</td></tr></table>	H	U	V	W	N	0	1	2
H	A	B	C																
N																			
H	U	V	W																
N	0	1	2																
UNESA	<table border="1"><tr><td>H</td><td>A</td><td>B</td><td>C</td></tr><tr><td>N</td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	H	A	B	C	N													
H	A	B	C																
N																			

En ambos se utilizan las letras mayúsculas para los bornes de alta tensión y las minúsculas para los bornes de baja tensión.

Supongamos conectar 3 unidades monofásicas (Tipo Ventana) distribuidos en el espacio con las bobinas en estrella como muestra la Figura.



En un sistema de tensiones equilibrados, las tensiones de red estan desfasados  $120^\circ$  electricos entre si y dan lugar en los devanados primarios a tres flujos desfasados  $90^\circ$  en retraso como indica la fig



En diagrama se observa que los flujos estan tambien desfasados  $120^\circ$  entre si cumpliendose que su suma fasorial en todo instante sera nula.

$$\bar{\Phi}_1 + \bar{\Phi}_2 + \bar{\Phi}_3 = 0$$

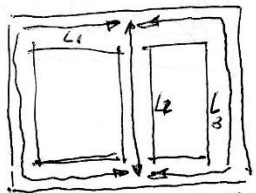
En consecuencia si se unen los nucleos en uno solo, en la columna central circular el flujo resultante, que sera nulo en todo instante.

Por lo tanto podemos eliminar esta rama si se cumple la condicion de simetria para el flujo y modificamos el circuito magnetico espacial por uno plano, donde se han situado las bobinas en el mismo plano con la consiguiente sencillez desde el punto de vista constructivo. consiguiendose un considerable ahorro de material.

Los bobinados primarios y secundarios de cada fase se bobinan en cada columna.

Cuando se usa nucleos simetricos los lineos de flujo recorren el circuito magnetico comprendido entre las laminas superior e inferior, dando lugar a un potencial magnetico entre ellos nulo. En el nucleo reforzado y a su vez las laminas cierran el circuito magnetico reparte su flujo entre las dos laminas de la columna central, motivando un desequilibrio magnetico.

En la figura se indican las longitudes medios del circuito mag de las 3 ramas que son proporcionales a sus reluctancias al suponer constante la seccion y la permeabilidad



$$R = \frac{l}{\mu S} = K l \Rightarrow R_1 = K l_1, R_2 = K l_2, R_3 = K l_3$$

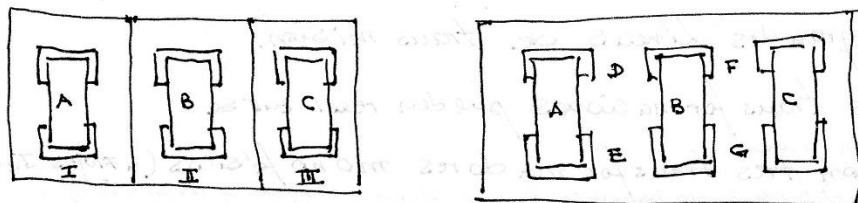
$$\text{Los FMM son } F_1 = \bar{\Phi}_1 R_1, F_2 = \bar{\Phi}_2 R_2, F_3 = \bar{\Phi}_3 R_3$$

Como se observa los FMM no son iguales por que  $l_2 < l_1 \text{ y } l_3$

Esto indica que las corrientes magnetizantes  $I_m$  son diferentes asi tambien como las corrientes de perdidas  $I_p$  por tener distintos volúmenes las ramas laterales que la central, por lo tanto la asi metria del nucleo produce desigualdad en las 3 corrientes de vacio  $I_0$

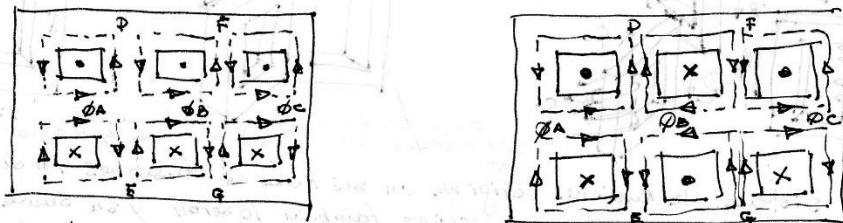


Esta disposición crea cierta asimetría en los flujos y por lo tanto en las corrientes de vacío. En carga la desigualesdad de la corriente es insignificante y además se minimiza aumentando la sección de los culates con relación al núcleo central. Si agrupamos tres transformadores acorazados monofásicos ubicados uno al lado del otro tocándose entre sí sus núcleos I, II, III. Con A, B y C se han indicado los Bobinados Primario y Secundario de cada uno de ellos.



En la otra figura se ha dibujado un transformador acorazado trifásico, donde la diferencia estriba en que los núcleos no están separados, sino que las chapas están entrelazadas entre sí, por lo tanto los flujos debido a las diferentes fases se superponen en las ramas DE y FG, lo que permite un importante ahorro de material magnético.

Según el sentido de enrollamiento relativo en que se ubiquen los bobinados, el flujo en las ramas DE y FG se suman o restan.

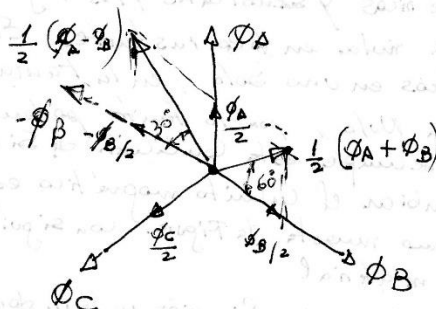


Se demuestra

$$\frac{1}{2}(\phi_A + \phi_B) = \sqrt{3} \frac{1}{2}(\phi_A + \phi_B)$$

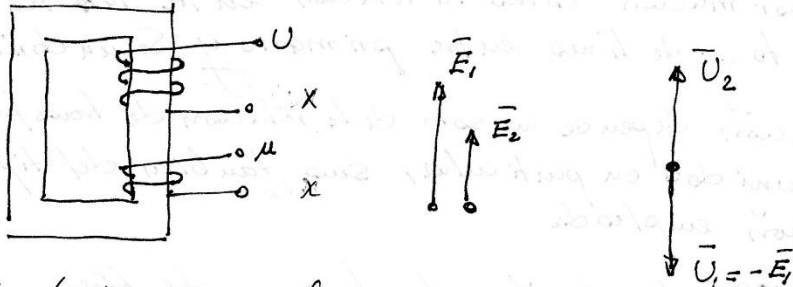
En consecuencia para tener la misma inducción B en la rama DE de cada caso se deberá tener una sección 3 veces mayor en el primer caso

$$B = \frac{\phi}{S}$$



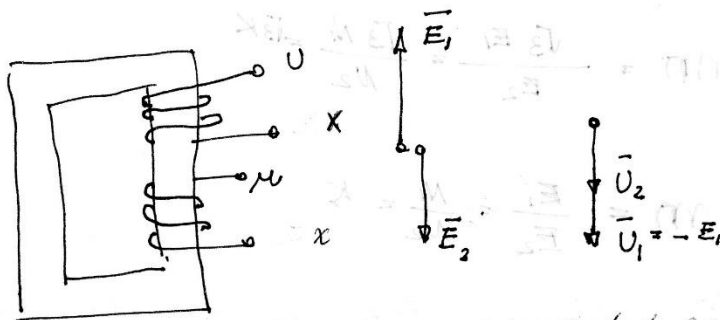
## Defasaje entre Tensiones en Un Trafo Homofase

### Polaridad de los Bobinados



En la Fig se ve el esquema de un transformador Homofaseo cuyos 2 arrollamientos están devanados en el mismo sentido. Como ambos están atravesados por el mismo flujo, Las fem. <sup>inducidas</sup> están en fase y las tensiones en oposición de fase.

En la siguiente Fig observamos lo mismo pero con un transformador cuyos devanados se han realizado en sentido contrario, y los sentidos relativos de Tensiones son ahora diferentes al caso anterior.



Se observa que de acuerdo al <sup>sentido en que</sup> están devanados los arrollamientos el desfase entre las tensiones primarias - secundarias puede ser Nulo o de  $180^\circ$ .

## Relación de Transformación Trifásica

En los transformadores trifásicos se define la relación de transformación como la relación entre la tensión Compuesto (o de línea) entre primario y Secundario

Esta relación depende no solo de la relación de transformación de cada uno de ellos en particular, sino también del tipo de conexión empleada.

Llamamos  $m$  a la relación entre tensiones de línea de entrada y Salida, para cada conexión se tiene

$$\begin{array}{l} Y y 0 \\ Y y 6 \end{array} \quad m = \frac{\sqrt{3} E_1}{\sqrt{3} E_2} = \frac{N_1}{N_2} = K$$

$$\begin{array}{l} D y 3 \\ D y 11 \end{array} \quad m = \frac{E_1}{\sqrt{3} E_2} = \frac{N_1}{\sqrt{3} N_2} = \frac{K}{\sqrt{3}}$$

$$\begin{array}{l} Y d 5 \\ Y d 11 \end{array} \quad m = \frac{\sqrt{3} E_1}{E_2} = \frac{\sqrt{3} N_1}{N_2} = \sqrt{3} K$$

$$\begin{array}{l} D d 0 \\ D d 6 \end{array} \quad m = \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = K$$

En los transformadores Trifásicos aparecen algunas diferencias con el monofásico que debemos considerar. Por una parte se modifica la relación de Transformación de acuerdo al Conexiónado de los devanados  $\lambda$  o  $\Delta$  Como se ha desarrollado en el punto anterior.

Por otra parte se produce un desfase entre las tensiones primarias y secundarias en cada bobinado que depende del sentido en que están devanados los enrollamientos y al Conexiónado de los mismos que pasamos a desarrollar.



# Desfasaje entre tensiones en un trafo trifasico

## Esquema de Conexión

El ángulo de Fase de la tensión inducida secundaria en cada fase con respecto a la tensión primaria depende exclusivamente de la conexión interna del arrollamiento. Este ángulo indica el retardo de la tensión de Salida (letras minúsculas) con relación a la tensión de entrada (letras mayúsculas). Las diferentes conexiones están normalizadas, y se las conoce con el nombre de conexiones horarias por la semejanza que hay entre la posición de los ~~fases~~ de tensiones con los agujas del reloj.

Hora	0	6	11	5
Desfasaje Angular	$0^\circ$	$180^\circ$	$330^\circ$	$150^\circ$

El desfasaje angular señala el retardo de la baja tensión respecto de la alta, en el sentido del orden cíclico UVW

Hora/g.	CONEXION
0	D d 0
	Y y 0
6	D d 6
	Y y 6
11	D y 11
	Y d 11
5	D y 5
	Y d 5

El desfasaje

se obtiene multiplicando el número que acompaña la denominación por  $30^\circ$

por Ej. para Y y 6 es

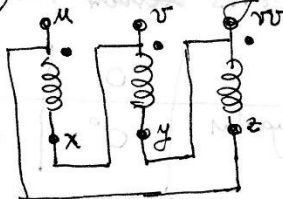
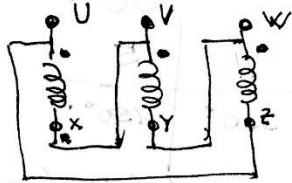
$6 \times 30^\circ = 180^\circ$

Designamos con  $U, V, W$  los bornes de entrada de línea al primario y con  $u, v, w$  los bornes de salida de línea del secundario.

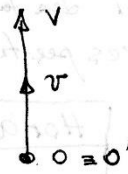
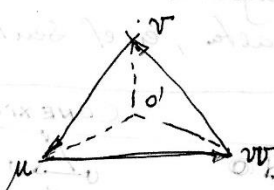
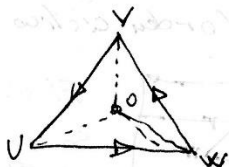
Con un punto se indica la polaridad relativa de cada par de arrollamiento primario y secundario. Tomando como referencia la tensión de fase  $0-v$  del primario observamos cuál es el desfase del secundario con respecto a esa referencia. En la conexión  $Dd0$  el primario y el secundario están conectados en triángulo (Delta-Delta).

En cada fase los factores  $E_1$  y  $E_2$  están en coincidencia de fase.

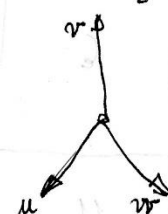
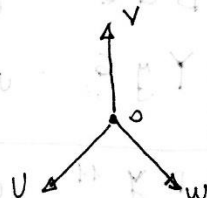
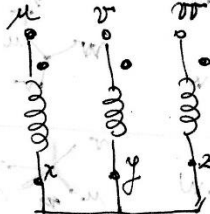
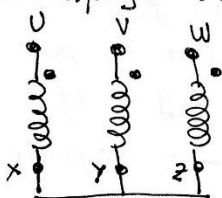
Las tensiones de línea correspondientes a una misma rama del circuito magnético deben tener el mismo sentido ( $UV$  y  $uv$ ) referidos al centro de estrella primario  $O$  y secundario  $O'$ .



Los bobinados de fase se marcan con el punto de referencia y de acuerdo como se tiene la salida obtenemos los distintos casos.



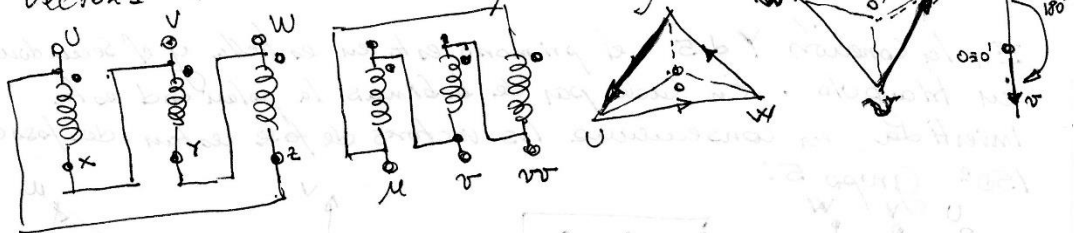
En la conexión  $Yy0$  el primario y el secundario están conectados en estrella. En cada fase  $E_1$  y  $E_2$  están en coincidencia de fase y su desfase es cero.



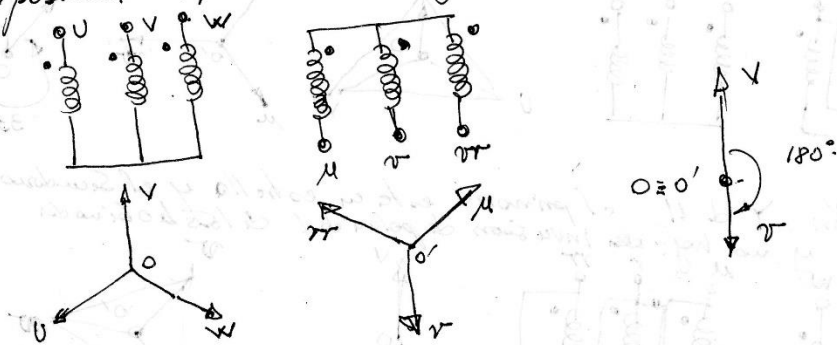


En la Conexión Dd6 el primario y el Secundario están conectados en triángulo pero en cada par de bobinas la polaridad está invertida, por lo que las tensiones de línea correspondientes a una misma rama del Circuito Magnético deben tener sentidos opuestos.

(vectores  $\overline{UV}$  y  $\overline{uv}$  por ej). En consecuencia los vectores de fase resultan opuestos y desfasados  $180^\circ$  grupo 6

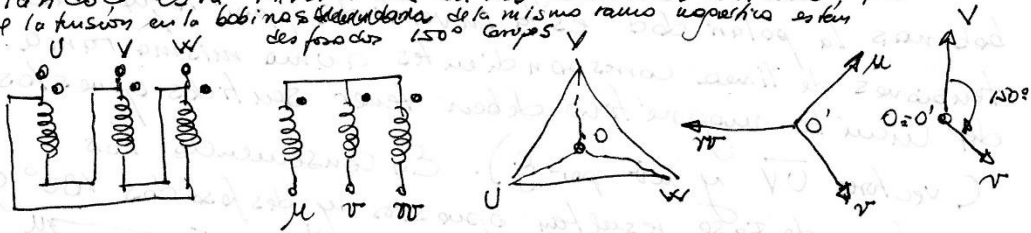


En la Conexión Yy6 el primario y el Secundario están conectados en estrella pero cada par de bobinas tienen la polaridad invertida en las conexiones a línea, por lo que las tensiones de fase correspondientes a una misma rama del Circuito Magnético tienen sentidos opuestos ( $\overline{U}$  y  $\overline{u}$  por ejemplo) en consecuencia los vectores de fase están en oposición de fase de  $180^\circ$  grupo 6.

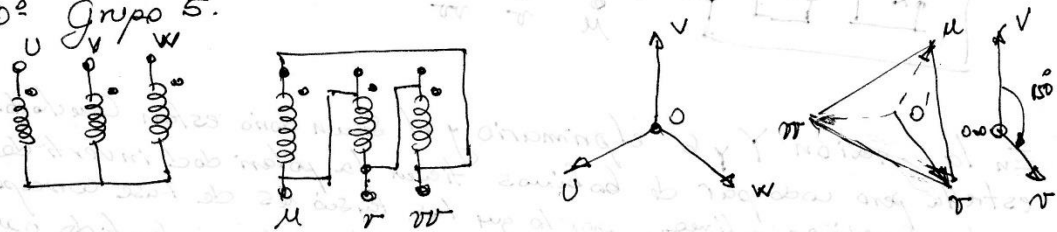


A continuación a hora las conexiones compuestas  $\Delta Y$  y  $Y \Delta$

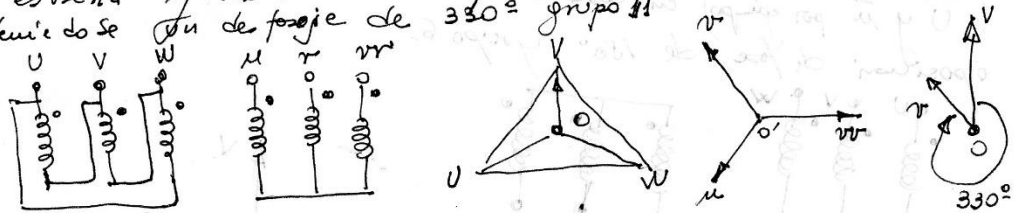
En la Conexión D y 5 el primario está en triángulo y el secundario en estrella. En cada par de bobinas la polaridad está invertida en las conexiones a línea por lo que la fusión en la bobina ~~de~~ <sup>de</sup> la misma rama ~~agregada~~ <sup>agregada</sup> están desfasados  $150^\circ$  grupo 5.



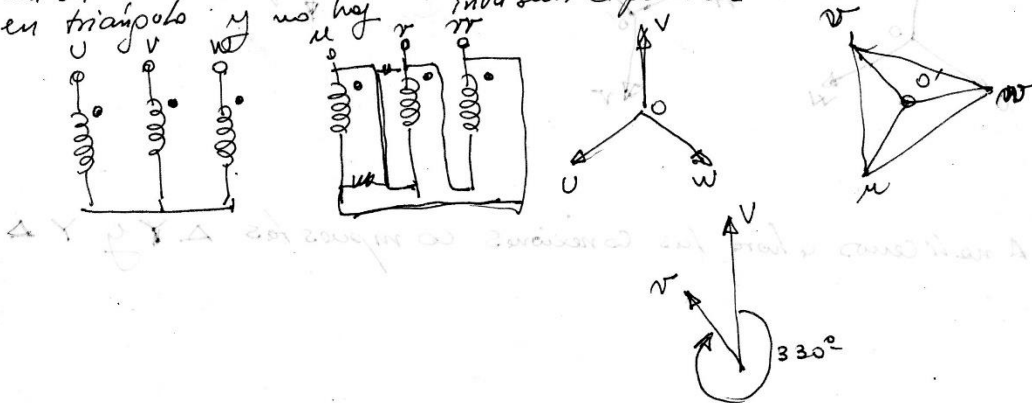
En la Conexión Y d 5 el primario está en estrella y el secundario en triángulo. En cada par de bobinas la polaridad está invertida, en consecuencia los vectores de fase están desfasados  $150^\circ$  Grupo 5.



En la Conexión D y 11 el primario está en triángulo y el secundario en estrella y los bobinados la polaridad no está invertida obteniéndose un desfase de  $330^\circ$  grupo 11.



En la Conexión Y d 11 el primario está en estrella y el secundario en triángulo y no hay inversión de polaridad de las bobinas.



## Conexión de los transformadores Trifásicos

### Conexión estrella-estrella (Y-y)

En este tipo de conexión los devanados primarios y secundarios se conectan en estrella; y se puede llevar el neutro tanto al primario como al secundario. La relación de transformación simple  $K$  se determina como cociente entre el número de espiras de una fase del primario y otra del secundario

$$K = \frac{N_1}{N_2} = \frac{E_1}{E_2}$$

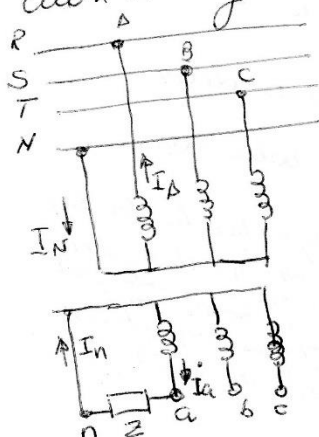
La relación de transformación compuesta  $m$  es el cociente entre las tensiones de líneas del primario al secundario en vacío.

$$m = \frac{V_{AB}}{V_{ab}} = \frac{\sqrt{3} E_1}{\sqrt{3} E_2} = \frac{E_1}{E_2} = K$$

Así en la conexión estrella-estrella

$$m = K$$

El principal inconveniente de esta conexión es el desequilibrio de las tensiones en la línea conectada al primario que aparece cuando hay fuertes desequilibrios en la carga secundaria



Así cuando hay neutro en ambos devanados. Al sobrecargarse la fase secundaria  $I_A$ , al neutro proporcionalmente la corriente de fase primaria  $I_A$  y por lo tanto provoca una caída de tensión mayor en un conductor de línea que en los otros. Note que  $I_A$  e  $I_a$  se cierran por el neutro y no por las otras fases. Si solo se dispone de neutro en el secundario el desequilibrio es aún mayor porque  $I_A$  circula por las fases  $I_B$  e  $I_C$  por donde su corriente es una asimetría en los flujos y por lo tanto en las fem del primario y secundario.

Uno ventaja muy interesante es la posibilidad de sacar neutro tanto en el lado de BT como en el AT. El neutro permite obtener 2 tensiones como ej (380/220V) o conectarlo a tierra como en ciertos tipos de instalaciones.



Por aplicarse a cada fase  $\frac{V_L}{\sqrt{3}}$ , se puede disminuir el nº de espiras, aunque se debe aumentar la sección de los conductores porque la corriente que atraviesa la Fase es  $I_L$ . Esto ~~denota~~ <sup>denota</sup> en aparatos mas económicos. y el aumento de la sección favorece la resistencia a los esfuerzos de cortocircuito.

### Conexión triángulo - triángulo (D d)

En este tipo de Conexión tanto el primario como el Secundario se conectan en triángulo.

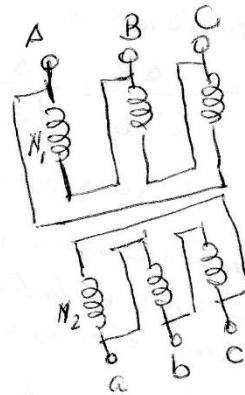
La relación de transformación Simple

$$K = \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

La relación de transformación Compuesta

$$m = \frac{V_{AB}}{V_{ab}} = \frac{E_1}{E_2} = K$$

igual que en la Conexión estrella



Entre las desventajas de esta Conexión podemos decir:

Como no dispone de Salidas de neutro en ambos bobinados se limita su utilización.

En esta Conexión cada bobinado debe soportar la tensión de (Compuesta) lo que provoca un aumento del nº de espiras.

Entre las ventajas tenemos que los desequilibrios motivados por las cargas en el secundario se reparten igualmente entre las fases del primario evitando desequilibrio en los flujos magnéticos.

Por cada fase circula  $I_L/\sqrt{3}$  lo que permite disminuir la sección de los conductores.

## Conexión Estrella - Triángulo (Y - d)

Esta Conexión no tiene problemas con los Componentes de tercer armónico de tensión porque dan lugar a una circulación de corriente en el lado conectado en triángulo. La conexión se comporta razonablemente bien bajo cargas desequilibradas ya que el triángulo redistribuye parcialmente cualquier desequilibrio que se presente.

Sin embargo, esta disposición debido a la conexión triángulo las tensiones secundarias sufren un desplazamiento de  $30^\circ$  con respecto a las tensiones del primario, lo que puede causar inconvenientes al conectar en paralelo los secundarios de 2 grupos de transformadores.

Esta conexión se adapta bien para el uso de transformadores de alta tensión como reductores de tensión de línea.

## Conexión Triángulo - Estrella (D - y)

Esta conexión presenta las mismas ventajas y el mismo desplazamiento de fase que la conexión Y-d.

Se utiliza como transformador elevador en las redes de AT.

El empleo de la conexión en estrella en la parte de alta tensión permite poner a tierra el punto neutro, con lo que queda limitado el potencial sobre cualquiera de las fases, a la Tensión Simple del Sistema, reduciéndose el costo de los devanados de AT.

Esta conexión es también muy utilizada en los transformadores de distribución, correspondiendo la estrella al lado de B.T., que permite de este modo alimentar cargas trifásicas y monofásicas. El primario conectado en triángulo tiende a compensar los desequilibrios producidos por las cargas monofásicas.