

# *Análisis comparativo de los grupos de conexión más importantes*

Separata del Curso Transformadores de Potencia

## **FORMAS MÁS FRECUENTES DE CONEXIÓN DE LOS DEVANADOS**

### **Transformadores trifásicos**

Un transformador trifásico consta de tres transformadores monofásicos, bien sean separados (banco trifásico) o combinados sobre un mismo núcleo.

#### **Conexión estrella**

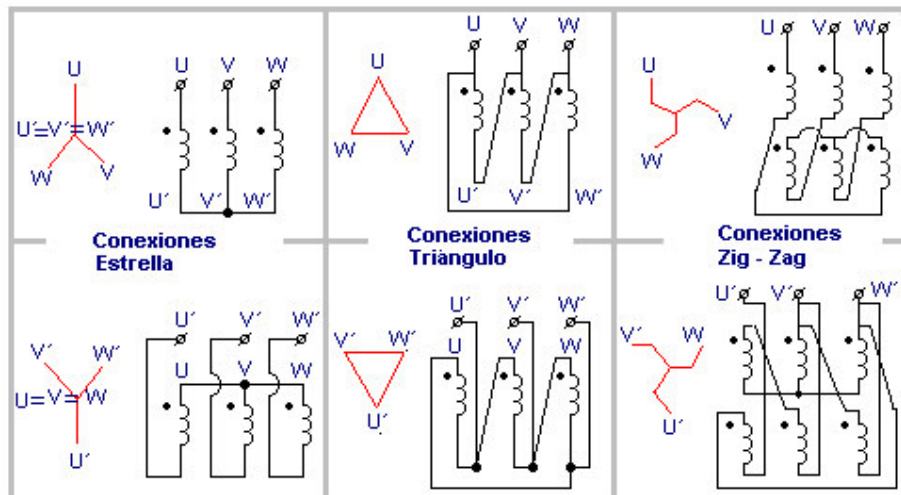
En la conexión estrella se unen en un mismo punto los tres extremos de los devanados que poseen la misma polaridad, existiendo dos formas básicas según se unan, (U, V, W) o bien (U', V', W').

#### **Conexión triángulo**

En la conexión en triángulo se unen sucesivamente los extremos de polaridad opuesta de cada dos devanados hasta cerrar el circuito. Según sea el orden de sucesión se obtienen dos configuraciones.

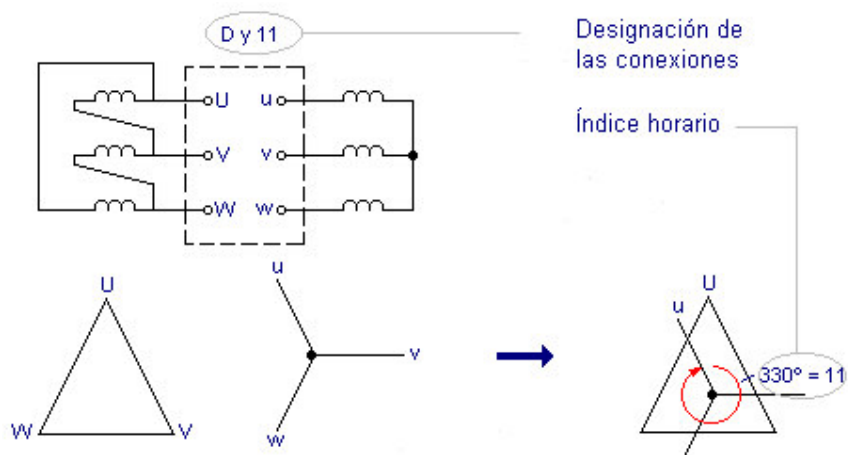
#### **Conexión zig-zag**

La conexión zig-zag en la práctica sólo se emplea en el lado de menor tensión. Consiste en subdividir en dos partes iguales los devanados secundarios, una parte se conecta en estrella y luego cada rama se une en serie con las bobinas invertidas de las fases adyacentes, siguiendo un determinado orden cíclico.



## Nomenclatura

Un transformador conectado en su primario en triángulo (A.T.) y en su secundario en estrella (B.T), y cuyas tensiones compuestas están desfasadas  $330^\circ$ , se identificaría como:



## Designación de las conexiones

Las diferentes conexiones se designan con letras, de acuerdo a la siguiente nomenclatura:

	En el lado de A.T.	En el lado de B.T.
Estrella	Y	y
Triángulo	D	d
Zig-zag	Z	z

## Índice horario

El desfase entre las tensiones compuestas se mide con el llamado índice horario. El índice horario indica los desfases en múltiplos de  $30^\circ$ , de tal forma que  $30^\circ = 1$ ,  $60^\circ = 2$ ,  $90^\circ = 3$ , etc.

## Determinación del índice horario

Dependiendo de los tipos de conexión de los devanados de un transformador, pueden aparecer unas diferencias de fase entre las tensiones compuestas de primario y secundario.

Para que esta diferencia de fase quede unívocamente determinada se supondrá que el transformador se alimenta por medio de un sistema equilibrado de tensiones de sentido directo (RST, UVW o ABC, según la notación usada). De esta forma son ángulos positivos los de retraso del lado de menor tensión respecto al devanado de tensión más elevada.

Los ángulos se miden en múltiplos de  $30^\circ$ , identificando por 1 a  $30^\circ$ , 2 a  $60^\circ$ , 3 a  $90^\circ$ , etc. Esto permite nombrar los ángulos como se nombrarían las horas en un reloj.

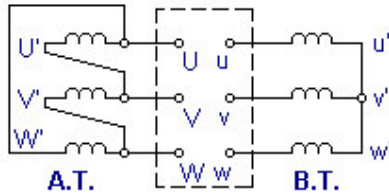
Pasos que deben seguirse para determinar el índice horario:

Se representan las f.e.m.s. simples del devanado primario, de tal forma que el terminal U se sitúa en la parte superior del diagrama (coincidiendo con el nº 12 del reloj imaginario).

Se representan las f.e.m.s. simples secundarias. Para ello debe tenerse en cuenta que los devanados primario y secundario situados en la misma columna del núcleo producen f.e.m.s. en fase, para los pares homólogos, y en contrafase para pares no homólogos.

Se superponen ambos diagramas. El ángulo horario es el que forman dos vectores, uno que pasa por el punto U, y el otro el que pasa por u y ese mismo centro. Este ángulo coincide con el que forman las tensiones compuestas. De aquí se deduce el índice horario.

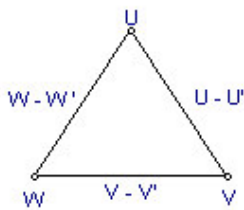
Ejemplo



Tenemos un transformador conectado en triángulo (A.T) - estrella (B.T).

Se comienza por representar las bobinas de la mismas columnas enfrentadas entre sí, a través de lo que sería la caja de bornes.

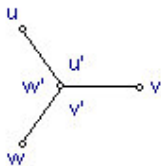
Se supone aplicado un sistema de tensiones directo y se dibujan las f.e.m.s simples del primario, colocando el terminal U coincidiendo con las 12 h del reloj. El resto de f.e.m.s simples se dibujan situándonos en U y siguiendo las bobinas en el orden U, V, W.



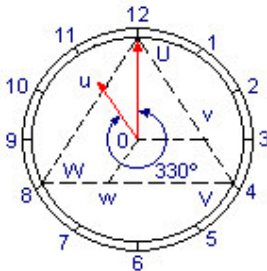
De U pasamos por U' y llegamos a V, de V a V' y llegamos a W y de W por W' llegamos a U.

Para dibujar las f.e.m.s. secundarias se comprueba si los puntos de la caja de bornes son homólogos. En este ejemplo lo son, puesto que tenemos U, V, W y u, v, w.

Para bornes homólogos, los devanados de una misma columna del núcleo (U y u por ejemplo) están en fase, lo que indica que sus tensiones compuestas y simples tienen la misma fase. Esto implica que el vector U-U' es paralelo al u-u', el V-V' lo es al v-v', y el W-W' lo será al w-w'.



En este caso, secundario estrella, comenzamos señalando el punto  $u'=v'=w'$ , y marcamos u-u' paralelo U-U' y lo mismo con v-v', w-w'.



Sobreponiendo ambos gráficos resulta un ángulo de  $330^\circ$  (siguiendo el sentido directo) que equivale a un índice horario de 11.

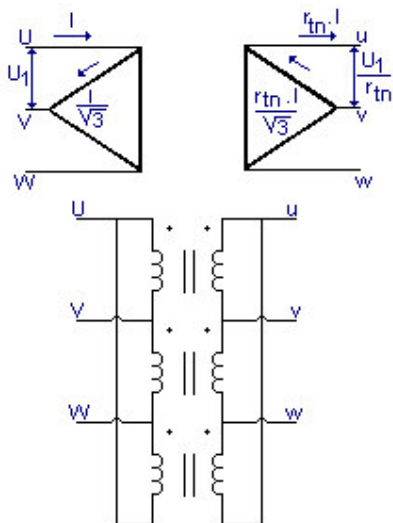
## Grupos de conexión de transformadores trifásicos

GRUPOS DE CONEXIÓN DE TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS							
Índice de conexión	Grupo de conexión		Diagrama vectorial		Esquema de conexiones		Relación de transformación $V_{uy} / V_{uv}$
	VDE	CEI	Alta tensión	Baja tensión	Alta tensión	Baja tensión	
0	A1	Dd0					$\frac{n_1}{n_2}$
	A2	Yy0					$\frac{n_1}{n_2}$
	A3	Dz0					$\frac{2}{3} \times \frac{n_1}{n_2}$

## Conexión D - d

Se utiliza mucho en transformadores de B.T., ya que se necesitan más espiras de menor sección. Esto es así porque la corriente por los devanados del transformador es un 58% menor que la de línea. Sin embargo la tensión que soportan es la propia tensión compuesta de la línea.

$$I_L = \sqrt{3} \cdot I_{\text{devanado}} = 1,73 \cdot I_{\text{devanado}}$$



Como primario y secundario están en triángulo la relación de transformación será directamente la relación entre el número de espiras:

## Ventajas

La conexión D-d tiene la ventaja de que, en caso de avería, uno de los transformadores puede ser separado del conjunto sin que esto impida la continuidad en el funcionamiento del sistema trifásico, aunque con una potencia total menor.

$$r_t = \frac{u_1}{u_2} = \frac{u_{s1}}{u_{s2}} = \frac{N1}{N2}$$

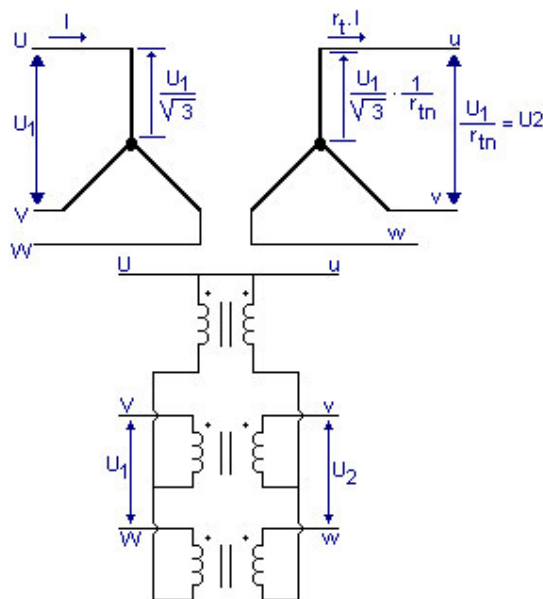
### Conexión Y - y

Para las conexiones estrella Y, la corriente de línea es la misma que la que circula por cada devanado del transformador. En cambio la tensión en bornes de una bobina del devanado es un 58% menor que la tensión compuesta:

$$U_L = \sqrt{3} \cdot U_{\text{devanado}} = 1,73 \cdot U_{\text{devanado}}$$

Como primario y secundario están en estrella, la relación de transformación será directamente la relación entre el número de espiras:

$$r_{\text{tIII}} = \frac{u_1}{u_2} = \frac{\sqrt{3} \cdot u_{s1}}{\sqrt{3} \cdot u_{s2}} = \frac{N1}{N2}$$



#### Ventajas

La conexión Y-y permite disponer del neutro tanto en el devanado de alta tensión como en el de baja, y conectar así el neutro del primario del transformador con el neutro de la fuente de energía (alternador).

#### Inconvenientes

La conexión Y-Y debe evitarse a menos que se haga una conexión neutra muy sólida (de baja impedancia) entre el primario y la fuente de potencia. Si no se proporciona neutro, los voltajes de fase tienden a desequilibrarse severamente cuando la carga es desequilibrada. También surgen problemas con las armónicas terceras.

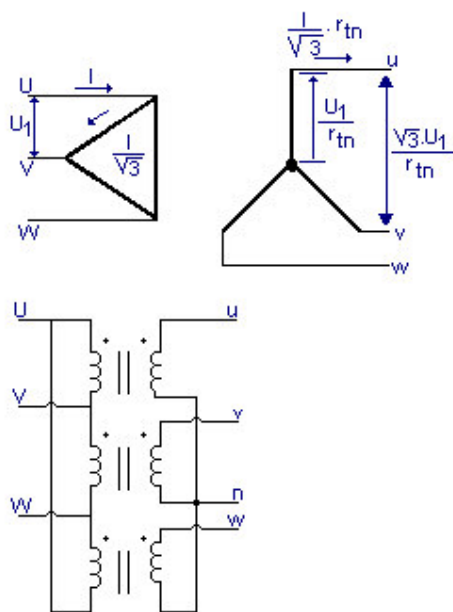
Si es necesario tener una conexión Y-y con un neutro primario débil o sin uno, cada transformador de fase debe tener un tercer devanado además del primario y del secundario al que se llama "terciario". Este tercer devanado se conecta en triángulo y permite anular los problemas debidos a armónicos o a desequilibrios de cargas. Aunque no es necesario, estos devanados suelen disponerse con terminales hacia el exterior para aprovechar su potencia en servicios auxiliares (lámparas, ventiladores, bombas, etc.).

Principales aplicaciones de transformadores con grupo de conexión Yy0:

Transformadores de distribución.

Carga en neutro 10 % de carga nominal.

GRUPOS DE CONEXIÓN DE TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS							
Índice de conexión	Grupo de conexión		Diagrama vectorial		Esquema de conexiones		Relación de transformación $V_{uy} / V_{uv}$
	VDE	CEI	Alta tensión	Baja tensión	Alta tensión	Baja tensión	
5	C1	Dy5					$\frac{1}{\sqrt{3}} \times \frac{n_1}{n_2}$
	C2	Yd5					$\sqrt{3} \times \frac{n_1}{n_2}$
	C3	Yz5					$\frac{2}{\sqrt{3}} \times \frac{n_1}{n_2}$



### Conexión D - y

La conexión D-y se utiliza para elevar la tensión, ya que, además de la propia relación de transformación debida a las espiras, interviene el factor **3** que multiplica la tensión del secundario.

$$r_t = \frac{u_1}{u_2} = \frac{u_{s1}}{u_{s2} / \sqrt{3}} = \frac{\sqrt{3} u_{s1}}{u_{s2}} = \frac{\sqrt{3} N_1}{N_2}$$

Esta conexión se utiliza mucho como transformador elevador en las redes de A.T. En este caso la alta tensión está en el lado de la estrella, lo cual permite poner a tierra el punto neutro, con lo que queda limitado del potencial sobre cualquiera de las fases a la tensión simple del sistema.

También se usa mucho esta configuración en transformadores de distribución, colocando la estrella al lado de baja tensión. Esto permite alimentar cargas trifásicas y

monofásicas (entre fase y neutro).

Principales aplicaciones de transformadores con grupo de conexión Dy5:

Transformadores de distribución.  
Carga en neutro = carga nominal.

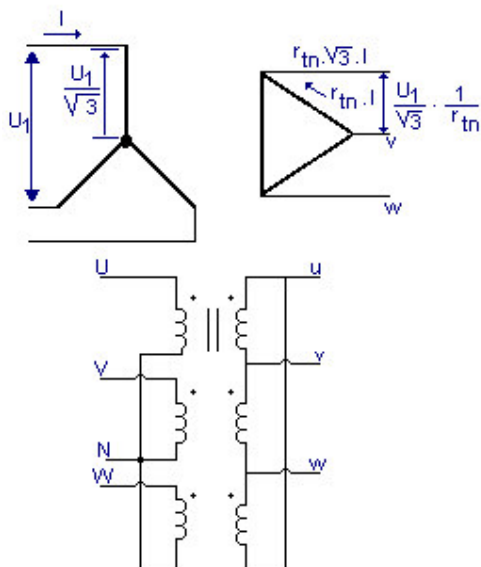
### Principales aplicaciones de transformadores con grupo de conexión Dy11:

Transformadores de red.  
Carga en neutro = carga nominal.  
Preferible a Yz5.

### Conexión Y - d

La conexión Y-d se utiliza para reducir la tensión, ya que, además de la propia relación de transformación debida a las espiras, interviene el valor **3** para reducir la tensión del secundario.

$$r_{\text{III}} = \frac{u_1}{u_2} = \frac{u_{s1}/\sqrt{3}}{u_{s2}} = \frac{N1}{\sqrt{3} \cdot N2}$$



Debido a este factor reductor añadido, esta conexión se usa en subestaciones de alta tensión reductoras, subestaciones de reparto y de distribución.

## Ventajas

No tiene problemas de armónicos de tensión. Se comporta bien ante cargas desequilibradas, ya que el triángulo redistribuye posibles desequilibrios.

## Inconvenientes

La conexión Y-d da como resultado un desplazamiento de fase de  $30^\circ$  entre los voltajes primarios y secundarios, lo cual puede dar inconvenientes al conectar en paralelo dos grupos de transformadores.

### Principales aplicaciones de transformadores con grupo de conexión Yd5:


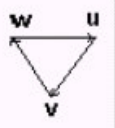
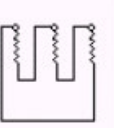
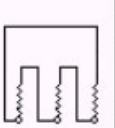
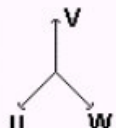
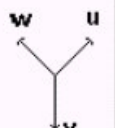
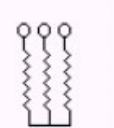
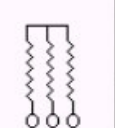
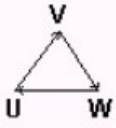
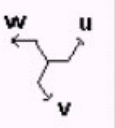
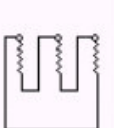
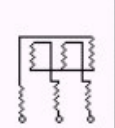
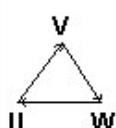
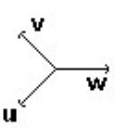
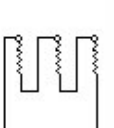
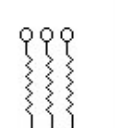
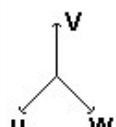
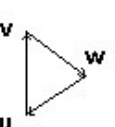
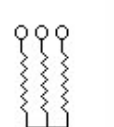
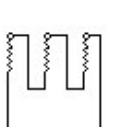
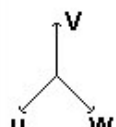
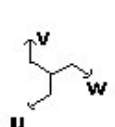
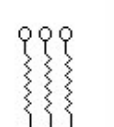
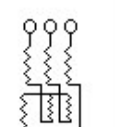
Transformadores de centrales y subestaciones.  
Carga en neutro = carga nominal.

### Conexión Y - z

La conexión zig-zag se emplea únicamente en el lado de B.T. Este montaje se utiliza en redes de distribución ya que permite el uso de un neutro en el secundario. Se comporta bien frente a desequilibrios de cargas. Debido a la composición de tensiones del lado secundario se requiere un 15% más de espiras que una conexión en estrella convencional.

### Principales aplicaciones de transformadores con grupo de conexión Yz5:

Transformadores de red.  
Carga en neutro = carga nominal.  
Potencia limitada a 400 kVA.

GRUPOS DE CONEXIÓN DE TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS							
Índice de conexión	Grupo de conexión		Diagrama vectorial		Esquema de conexiones		Relación de transformación $V_{uy} / V_{uv}$
	VDE	CEI	Alta tensión	Baja tensión	Alta tensión	Baja tensión	
6	B1	Dd6					$\frac{n_1}{n_2}$
	B2	Yy6					$\frac{n_1}{n_2}$
	B3	Dz6					$\frac{2}{3} \times \frac{n_1}{n_2}$
11	D1	Dy11					$\frac{1}{\sqrt{3}} \times \frac{n_1}{n_2}$
	D2	Yd11					$\sqrt{3} \times \frac{n_1}{n_2}$
	D3	Yz11					$\frac{2}{\sqrt{3}} \times \frac{n_1}{n_2}$



## Transformación trifásica con 2 transformadores monofásicos

Existen varios modos de transformación trifásica con sólo dos transformadores. Estos diseños desaprovechan parte de la capacidad de potencia de los dos transformadores usados, si bien su uso queda explicado por razones prácticas o económicas.

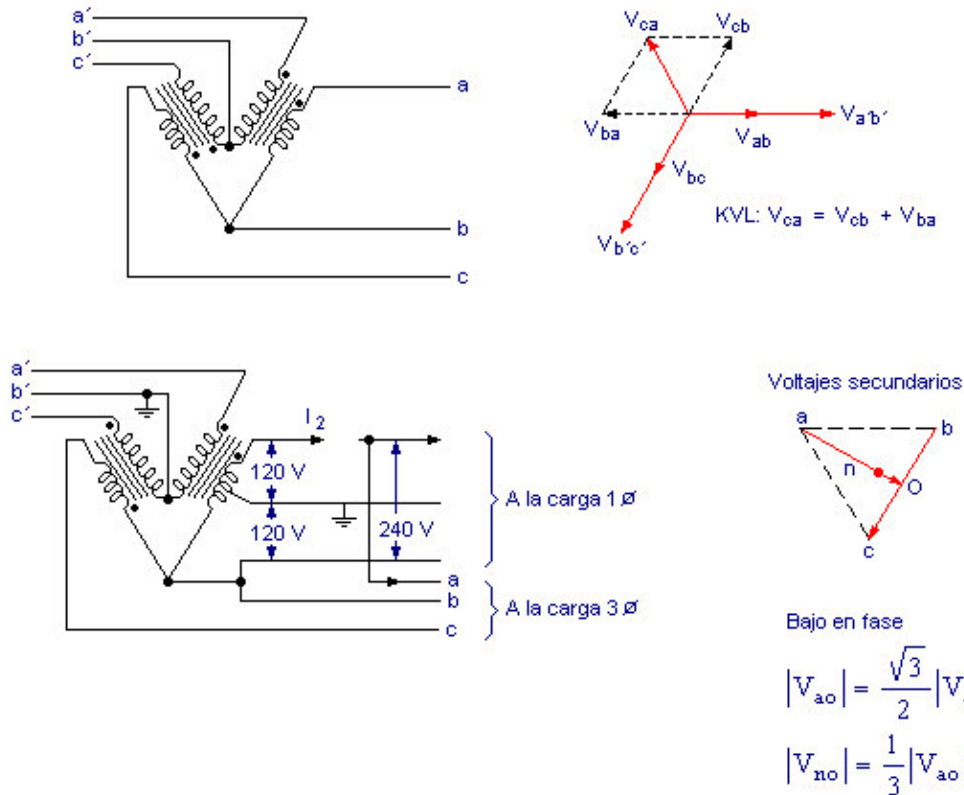
Las conexiones más comunes son:

V-V o D abierta  
Y abierta-D abierta  
Conexión T  
Conexión Scott-T

### V-V o D abierta

¿Cuándo se usa?

- Como una solución temporal cuando se daña una fase de un grupo trifásico en conexión D-d.
- En áreas que esperan un crecimiento de carga y se prevé para el futuro la adición de un tercer transformador para completar la conexión D-d del banco trifásico.
- Para soportar cargas que son una combinación de una carga monofásica grande y una carga trifásica más pequeña.
- Cuando esta conexión puede ser más económica en el uso de materiales. Por ejemplo, ciertos autotransformadores trifásicos (como en el caso de un compensador de arranque para un motor de inducción).



La pérdida de capacidad con respecto al grupo trifásico total es del 42,3%, es decir, sólo puede aprovecharse un 57,7% de la potencia que suministraría el grupo trifásico al completo.

Considerando sólo los dos transformadores restantes, sólo es posible utilizar un 86,7% de la potencia nominal de los dos transformadores restantes.

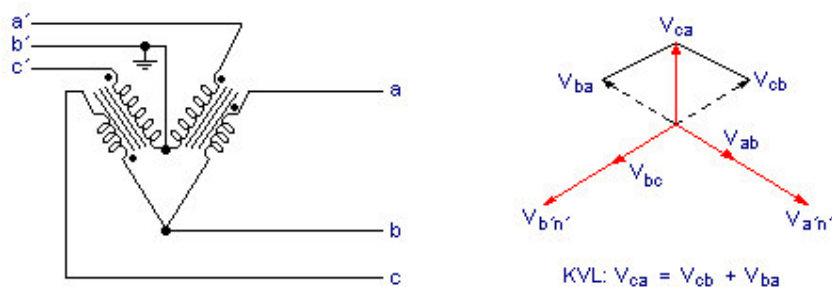
### Y abierta-D abierta

¿Cuándo se utiliza?

Para dar servicio a pequeños establecimientos que requieran corriente trifásica en áreas rurales en donde aún no se han instalado las tres fases en los postes de la línea de conducción. Así el usuario puede obtener servicio de corriente trifásica de manera provisional, hasta que con el aumento de la demanda se requiera de la tercera fase en los postes de conducción.

Las pérdidas son las mismas que para el caso V-V. La pérdida de capacidad con respecto al grupo trifásico total es del 42,3%, es decir, sólo puede aprovecharse un 57,7% de la potencia que suministraría el grupo trifásico al completo.

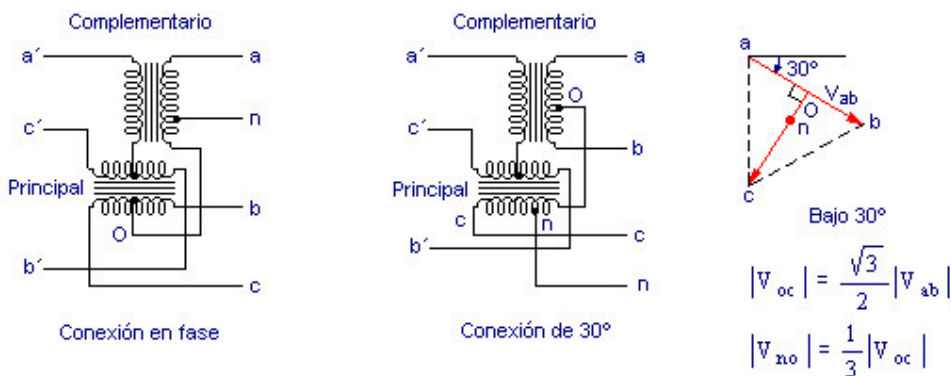
Su principal desventaja es que por el neutro del circuito primario debe fluir una corriente de retorno muy alta.



### Conexión T

¿Cuándo se utiliza?

En la construcción de algunos transformadores de distribución, pues sus costes menores compensan la desventaja de su pérdida de capacidad.



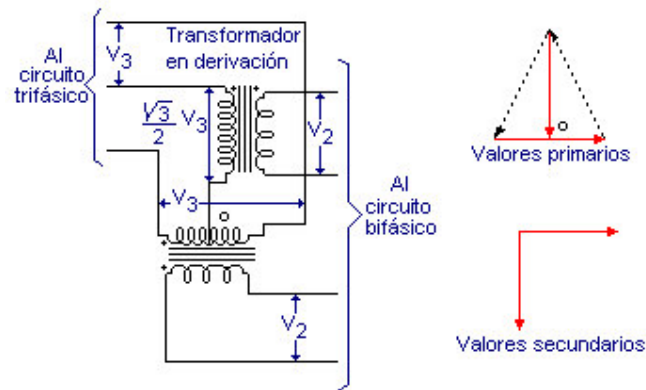
Una de sus ventajas es que puede conectarse un neutro tanto al primario como al secundario del grupo.

Su pérdida de capacidad es sólo del 7,1811 % respecto con la capacidad propia de los dos transformadores.

## Conexión Scott-T

¿Cuándo se utiliza?

La conexión Scott-T permite acoplar circuitos trifásicos con bifásicos y viceversa. Eran usuales cuando, en los comienzos de la transmisión con corriente alterna, había sistemas bifásicos y trifásicos de potencia.



Aplicación

En el sistema japonés de ferrocarriles, las locomotoras se han diseñado para funcionar a 60 Hz monofásicos, de modo que sólo se requiere un cable adicional.

La red de potencia es trifásica. Se emplean bancos de transformadores de Scott para suministrar dos voltajes monofásicos desde el sistema trifásico.

Una fase para los trenes que corren hacia el Norte y otra para los que van hacia el Sur.

## Circuito equivalente

El estudio del transformador trifásico con carga equilibrada se reduce al estudio del transformador monofásico equivalente por fase, suponiendo que los devanados de alta y baja tensión están conectados en estrella y por tanto la tensión a utilizar será la tensión entre fase y neutro, sea el neutro real o imaginario.

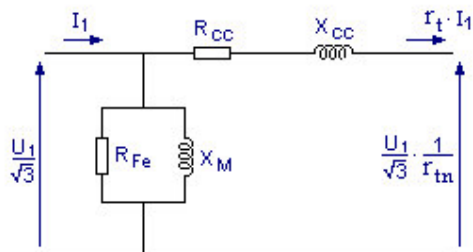
Esquema equivalente por fase para conexión Y-y

Esquema equivalente por fase para conexión Y-d

Esquema equivalente por fase para conexión D-d

Esquema equivalente por fase para conexión D-y

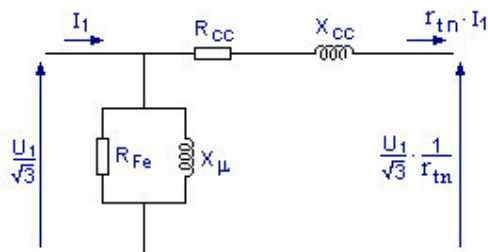
La potencia y pérdidas del circuito monofásico equivalente serán la tercera parte de las del transformador trifásico.

**Esquema equivalente por fase para conexión Y-y**

$$R_{cc} = R_1 + R_2 \cdot r_{tIII}^2$$

$$X_{cc} = X_{d1} + X_{d2} \cdot r_{tIII}^2$$

$$r_t = \frac{N_1}{N_2} = r_{tIII}$$

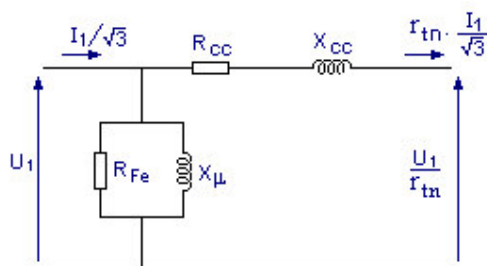
**Esquema equivalente por fase para conexión Y-d**

$$R_{cc} = R_1 + R_2 \cdot r_{tIII}^2$$

$$X_{cc} = X_{d1} + X_{d2} \cdot r_{tIII}^2$$

$$r_t = \frac{N_1}{N_2}$$

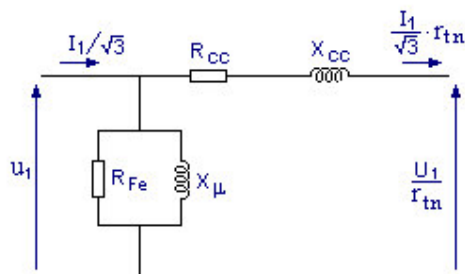
$$r_{tIII} = \sqrt{3} \cdot r_t$$

**Esquema equivalente por fase para conexión D-d**

$$R_{cc} = R_1 + R_2 \cdot r_{tIII}^2$$

$$X_{cc} = X_{d1} + X_{d2} \cdot r_{tIII}^2$$

$$r_t = \frac{N_1}{N_2} = r_{tIII}$$

**Esquema equivalente por fase para conexión D-y**

$$R_{cc} = R_1 + R_2 \cdot r_{tIII}^2$$

$$X_{cc} = X_{d1} + X_{d2} \cdot r_{tIII}^2$$

$$r_t = \frac{N_1}{N_2}$$

$$r_{tIII} = \frac{r_t}{\sqrt{3}}$$

### Paso de impedancias de un devanado a otro

El paso de impedancias de uno a otro devanado en un transformador trifásico es más complejo que para el monofásico, en el que intervenía únicamente la relación de espiras al cuadrado.

Ahora es necesario definir dos relaciones características para el transformador trifásico, denominadas:

Relación de transformación monofásica **rt**.

$$r_t = \frac{N_1}{N_2}$$

Relación de transformación trifásica **rt,III**.

$$r_{t,III} = \frac{\text{Tensión de línea de primario}}{\text{Tensión de línea del secundario}} = \frac{V_{ff1}}{V_{ff2}} = \frac{I_2}{I_1}$$

La impedancia por fase de la carga trifásica siempre se podrá poner como su equivalente en estrella mediante la expresión:

$$Z_y = \frac{Z_{\Delta}}{3} = \frac{V_{ff2} / \sqrt{3}}{I_2}$$

Esta misma impedancia "vista desde el primario" (en función de las tensiones e intensidades del primario) y siguiendo con la hipótesis del transformador ideal, será:

$$Z_y^* = \frac{V_{ff1} / \sqrt{3}}{I_1}$$

Para referir una impedancia del secundario al primario se aplicará la siguiente relación:

$$\frac{Z_y^*}{Z_y} = \frac{V_{ff1}}{V_{ff2}} = \frac{I_2}{I_1}$$

Expresión válida independientemente de cómo estén organizados los devanados de primario y secundario.

En el caso de conexión D-d e Y-y, el valor de **rt,III** es igual a **rt**.

En el caso de Y-d será:

$$r_{t,III} = \sqrt{3} \cdot r_t$$

En el caso D-y será:

$$r_{t,III} = \frac{r_t}{\sqrt{3}}$$

## **ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS GRUPOS DE CONEXIÓN MÁS IMPORTANTES**

### **GRUPO DE CONEXION ESTRELLA-ESTRELLA**

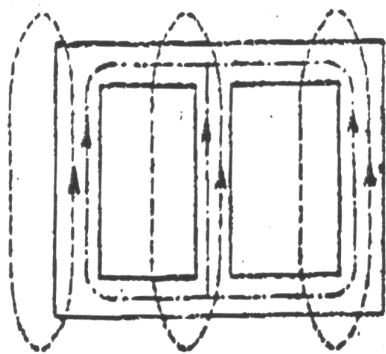
Los grupos de conexión más usuales de dicho grupo son Yy 0 y Yy 6.

En lo que concierne al funcionamiento del transformador en vacío, conviene distinguir los dos casos de aparatos con circuito magnético de flujos libres (3 circuitos monofásicos o circuito acorazado) o con circuito magnético de flujos enlazados (circuito trifásico con tres columnas).

En el caso de un grupo trifásico compuesto por tres transformadores monofásicos, las corrientes en vacío de cada uno de ellos suelen ser distintas debido a diferencias de calidad de las chapas magnéticas, o debido a la fabricación; el grupo de conexión estrella del arrollamiento primario con neutro aislado impone que las corrientes en vacío de las 3 fases se anulen en el punto neutro; dado que las tensiones de la red de alimentación son fijas, las tensiones de cada fase se establecerán de modo que se respete esta condición y de ello resultará un desplazamiento del neutro en el diagrama de las tensiones (sobretensión en el punto neutro).. En las mismas condiciones, los armónicos de tercer grado de la corriente magnetizante, en fase en las tres fases, no pueden circular y, por lo tanto, existir: esto provoca una deformación de la tensión en cada fase correspondiente a una tensión armónica de tercer grado que causará también un desplazamiento del neutro (sobretensión en el punto neutro).

Si el neutro del arrollamiento está conectado a tierra, con el de la red aislado, aparecerán corrientes capacitivas de frecuencia triple entre la línea y la tierra y podrán producirse resonancias entre la inductancia del arrollamiento y la capacidad de la red.

Si el neutro del arrollamiento está conectado a tierra, así como el de la red de alimentación, las corrientes homopolares pueden circular, las tensiones de cada arrollamiento de fase permanecen equilibradas y existe una circulación de corriente armónica de tercer grado en la red.



**Figura 1**

En el caso de un transformador con circuito magnético trifásico con tres columnas y grupo de conexión estrella-estrella con el neutro aislado, un flujo homopolar que se cierra por aire, figura 1, se desarrolla en las tres columnas y se superpone al flujo trifásico de modo que la suma de las corrientes en vacío resultante se anula en el punto neutro.

Se llega a las mismas conclusiones con los transformadores con circuitos magnéticos trifásicos acorazados.

Debido al importante valor del armónico de tercer grado en la corriente magnetizante de los circuitos magnéticos de flujos libres, el grupo de conexión estrella-estrella de los arrollamientos no debe utilizarse para los transformadores con dichos circuitos. Se elegirá preferentemente el grupo de conexión triángulo-estrella o estrella-triángulo o estrella-estrella con arrollamiento terciario conectado en triángulo.

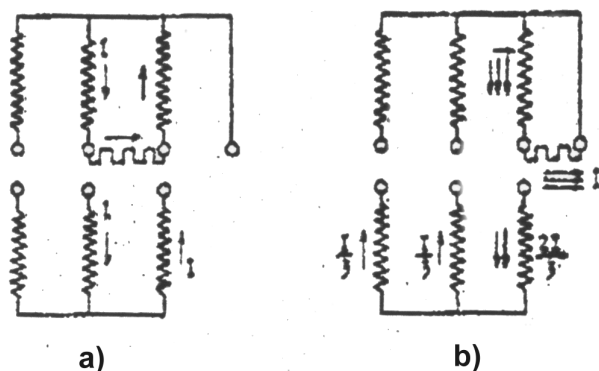
Los flujos homopolares producidos por los amperios-vuelta correctivos que vuelven a formarse en el aire tienen valores relativamente reducidos que conducen a un desplazamiento poco importante del punto neutro de la estrella de las tensiones. Lo mismo ocurre para el desplazamiento del punto neutro debido a los armónicos de tercer grado que no pueden existir en una corriente en vacío; la tensión armónica de tercer grado por fase no sobrepasa más del 5 % de la onda fundamental, lo que no presenta un grave inconveniente.

Cuando funciona en carga equilibrada, los amperios-vuelta del primario y secundario se anulan en las tres fases.

Un desequilibrio de cargas puede proceder de una carga monofásica entre dos fases o entre fase y neutro o por fusión de un fusible.

Cuando la carga está entre fases, figura 2 (a), la corriente circula como indican las flechas, los amperios-vuelta primarios y secundarios se equilibran en cada fase y las correspondientes caídas de tensión permanecen normales.

Cuando la carga está entre fase y neutro, figura 2 (b), la corriente circula en una sola fase secundaria, la corriente en la fase correspondiente primaria se divide en dos partes iguales que circulan en las otras dos fases primarias. Suponiendo que la relación de transformación es igual a 1, las corrientes en las tres fases primarias determinadas por el método de las componentes simétricas son :  $2 I/3$ ,  $I/3$  y  $I/3$ . En cada fase existen  $N I/3$  amperios-vuelta no compensados.



**Figura 2**

Con un circuito magnético de flujos libres, los flujos que corresponden a estos  $N I/3$  amperios-vuelta se cierran en el hierro cuya reluctancia es débil; tienen un elevado valor lo que causa un desplazamiento prohibitivo del punto neutro en la estrella de las tensiones secundarias.

En el caso de un circuito magnético trifásico con tres columnas, los flujos correspondientes a los  $N I/3$  amperios-vuelta de misma fase en las tres columnas deben cerrarse en el aire; las reluctancias que ocurren a su paso son grandes y los flujos son mucho menos importantes que en el caso anterior. Puede tolerarse entonces entre fase y neutro una carga igual hasta del 10 % de la potencia

nominal del transformador.

En conclusión, sólo debe utilizarse, sin precauciones especiales, el grupo de conexión estrella-estrella de los arrollamientos para transformadores con circuitos magnéticos trifásicos con tres columnas y cuando la carga prevista entre fase y neutro no sobrepasa el 10 % de la potencia nominal del transformador.

### GRUPO DE CONEXION TRIÁNGULO-ESTRELLA O ESTRELLA-TRIÁNGULO

Las conexiones más usuales de estos grupos son respectivamente Dy5 , Dy 11 y Yd 5, Yd 11.

En vacío el equilibrio de las tensiones de fase se conserva bien gracias al arrollamiento triángulo bien sea primario o secundario; si es primario, la corriente magnetizante se establece en consecuencia en cada arrollamiento del triángulo; si es secundario, una corriente magnetizante circulará en el triángulo para mantener este equilibrio, teniendo en cuenta que la tensión de alimentación en los bornes de la estrella es trifásica equilibrada y que la suma de las tensiones en el triángulo debe ser nula.

Los armónicos de tercer grado de la corriente magnetizante y sus múltiplos circulan en el arrollamiento del triángulo y, por lo tanto, no existe ninguna tensión anormal entre el neutro y la fase del arrollamiento de la estrella.

Cuando funciona en carga equilibrada, los amperios-vuelta del primario y secundario se anulan en las tres fases.

Los esquemas de la figura 3, donde las corrientes son representadas por flechas, muestran que, para cargas monofásicas entre fases de los arrollamientos estrella o triángulo, figuras (a) y (c), y entre fase y neutro del arrollamiento estrella, figura (b), los amperios-vuelta del primario y secundario se anulan siempre en cada fase, lo que conduce a caídas de tensión inductivas normales debidas a la reactancia de fuga.

El grupo de conexión triángulo-estrella permite por lo tanto la distribución entre fase y neutro con la corriente nominal (33 % de la potencia del transformador).

Debido a las ventajas que presentan, los grupos de conexión que utilizan un triángulo y una estrella se emplean mucho.

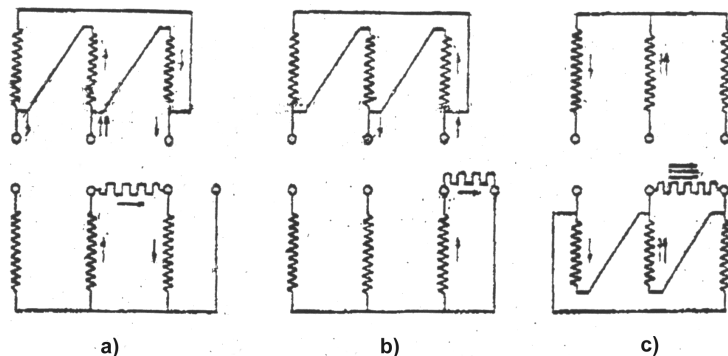


Figura 3

### GRUPO DE CONEXIÓN TRIÁNGULO-TRIÁNGULO (Dd 0 y Dd 6)

El hecho de prever dos arrollamientos conectados en triángulo en un transformador no añade nada a las ventajas indicadas anteriormente para los grupos de conexión triángulo-estrella. Debido a los inconvenientes de la conexión triángulo para los arrollamientos, el modo de conexión triángulo-triángulo se utiliza muy poco.

Su ventaja, que se ha explotado sobre todo en Estados Unidos, reside en la posibilidad, cuando se tiene un grupo de tres transformadores monofásicos, de potencia total  $P$ , de permitir su funcionamiento con potencia reducida  $0,575 P$ , con dos aparatos montados en V cuando el tercero está fuera de servicio.

Debe subrayarse que, en este caso, las caídas de tensión no son las mismas en las tres fases.

### CONCLUSIONES:

#### Grupos de conexión típicos:

**Yyn 0** .- para transformadores distribución. El neutro puede cargarse con el 10% o durante 1,5 horas máximo con el 25 % de la intensidad nominal (conexión de bobinas de derivación a tierra).

**YNyn 0** .- con arrollamiento de compensación para grandes transformadores de acoplamiento de redes. El neutro puede cargarse continuamente con la intensidad nominal.

**YNd 5** .- transformadores de máquinas y principales de grandes centrales generadoras y transformadoras. El neutro puede cargarse con la intensidad nominal.

**Yzn 5** .- para transformadores de distribución hasta aproximadamente 250 kVA para redes locales. El neutro puede cargarse con la intensidad nominal.

**Dyn 11** .- para transformadores de distribución superiores a 315 kVA para redes locales e industriales. El neutro puede cargarse con la intensidad nominal.

**li 0** .- para transformadores monofásicos, previstos para abastecer instalaciones ferroviarias o para grupos trifásicos con muy altas tensiones y potencias.



**Conexión estrella - estrella (YNyn).-****Inconvenientes :**

- Fuertes desequilibrios de tensiones en primario con desequilibrios en la carga secundaria. Con neutro solo en secundario, el desequilibrio de tensiones en primario aún es más acusado.
- Utilizado generalmente para pequeñas potencias.

**Ventajas :**

- Posibilidad de acceder al neutro en primario y secundario, permitiendo obtener dos tensiones, muy útil en líneas de distribución, o bien conectarse a tierra como medida de seguridad para las instalaciones.
- Son más económicos por aplicarse a cada fase una tensión  $\frac{V_L}{\sqrt{3}}$  y por tanto, disminuye el nº de espiras, aunque aumenta la sección de los conductores, por circular la misma corriente de línea  $I_L$ .
- Este aumento de sección de conductores favorece la resistencia mecánica a los esfuerzos de cortocircuito.

**Conexión estrella - triángulo (YNd).-****Inconvenientes:**

- Sin posibilidad de acceder a un neutro secundario para redes de distribución, por lo cual no podrá tampoco conectarse a una tierra de seguridad.
- No es aconsejable conectar el neutro del primario a una tierra de protección por dar lugar a la aparición de armónicos perjudiciales.
- Transformador de uso muy limitado; por ejemplo, como reductor de tensión al final de líneas.

**Ventajas:**

- Los desequilibrios de las cargas secundarias quedan compensadas en las tres fases del primario.

**Conexión estrella - zigzag (Yz).-****Inconvenientes:**

- Proporciona en el secundario una tensión compuesta inferior a la que daría un transformador estrella - estrella del mismo nº de espiras en primario y secundario, por tanto, para compensar este inconveniente habrá que aumentar el nº de espiras en el secundario un 15,4% con relación al estrella - estrella con el mismo nº de espiras primario para ambos.
- Este aumento del nº de espiras secundarios da lugar a un mayor coste con relación al resto de conexiones, lo cual limita sus aplicaciones para potencias elevadas sustituyéndose para estos casos por el transformador triángulo - estrella.

**Ventajas:**

- No se producen desequilibrios en el primario cuando aparecen cargas desequilibradas en secundario.
- Permite distribuir el neutro al igual que la conexión estrella, siendo de aplicación para redes de distribución que suministren dos tensiones.

**Conexión triángulo - triángulo (Dd).-****Inconvenientes:**

- No dispone de salida de neutro, tanto en el primario como en el secundario, con la consiguiente limitación de su utilización.

- Cada bobinado debe soportar la tensión de red (compuesta), con el consiguiente aumento del número de espiras.

**Ventajas :**

- Los desequilibrios motivados por las cargas secundarias se reparten entre las fases del primario, evitando los desequilibrios de los flujos magnéticos.
- Cuando han de circular corrientes elevadas, por cada fase sólo circulará  $\frac{I_L}{\sqrt{3}}$ , lo que permitirá disminuir la sección de los conductores.

**Conexión triángulo - estrella (Dyn).-**

**Inconvenientes:**

- Prácticamente no tiene inconvenientes, aunque su utilización ha de ser adecuada a sus características; por ejemplo, muy empleado como elevador al principio de línea y no al final, ya que cada devanado primario ha de soportar la tensión entre fases de la red.

**Ventajas :**

- Al producirse una asimetría en la carga, no motiva asimetría del flujo, por producirse un reparto entre las tres columnas del primario.
- Puede distribuirse el neutro en su secundario siendo muy utilizado para redes de distribución con dos tensiones. No se aconseja conectar el neutro a tierra en las líneas de transporte.
- La posibilidad de tener un neutro accesible, permite ponerlo a tierra con protección de la instalación.
- Las ventajas anteriores y sus escasos inconvenientes motivan la utilización de este transformador tanto en transporte como en distribución de energía.