

# TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS

*Norberto A. Lemozy*

## 1 INTRODUCCIÓN

La mayoría de los transformadores utilizados en la transmisión y distribución de energía eléctrica son trifásicos, por una cuestión de costos, tamaños y transporte; pero hay excepciones: cuando las potencias son muy grandes, cientos de MVA, o se requieren varios transformadores de gran potencia e iguales, por ejemplo en una central con una cierta cantidad de máquinas de gran potencia, puede convenir utilizar *bancos* trifásicos armados con tres transformadores monofásicos, e inclusive tener algún transformador de reserva (por ejemplo en la Central Atucha II actualmente en construcción).

## 2 BANCOS TRIFÁSICOS

Los bancos trifásicos de transformadores monofásicos, siempre resultan más caros y ocupan más espacio que un transformador trifásico de la misma potencia, pero son más fáciles de transportar (lo que no es un problema menor), y permiten tener unidades de reserva, para que en caso de una falla se pueda resolver el problema mucho más económica y rápidamente que si se tratara de una sola unidad trifásica.

Los núcleos de esos grandes transformadores monofásicos normalmente son acorazados, figura 1, ya que tienen menor altura y permiten economizar material ferromagnético. Al poseer circuitos magnéticos independientes e iguales para cada fase, resultan perfectamente simétricos, lo que en general es ventajoso.

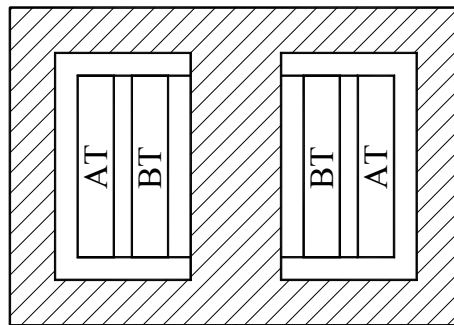


Fig. 1. Transformador monofásico acorazado.

## 3 TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS

El núcleo trifásico más utilizado es el de tres columnas, figura 2. Este núcleo tiene el yugo y las tres columnas de la misma sección y sobre cada una de ellas se colocan los arrollamientos de una misma fase, dejando el bobinado de mayor tensión en la parte exterior para facilitar su aislamiento.

Estos son los núcleos trifásicos más utilizados porque son los que emplean menor cantidad de chapa magnética y consecuentemente tienen menos pérdidas en el hierro. Además tienen el mejor

comportamiento frente cargas asimétricas, lo que es muy deseable en las redes de distribución de energía.

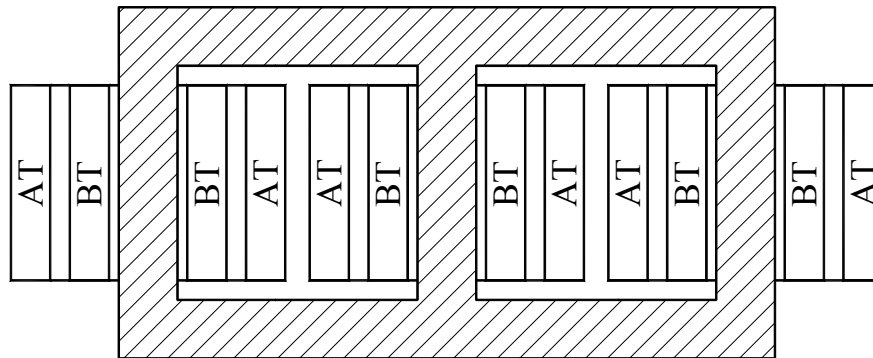


Fig. 2. Transformador trifásico de tres columnas.

Estos núcleos de tres columnas son ligeramente asimétricos: la columna central presenta menor reluctancia que las laterales y, por lo tanto, toma una corriente de vacío 15 a 20 % menor que las otras, lo que en la mayoría de las aplicaciones no tiene mayor importancia.

El transporte de los transformadores trifásicos de potencias de 100 ó más MVA, puede resultar bastante complicado. Para reducir el peso, las dimensiones y facilitar el transporte, a los grandes transformadores se le quitan los aisladores, los radiadores, el tanque de expansión y el aceite aislante; no obstante la altura de la cuba, colocada en el medio de transporte, puede ser grande y superar los gálibos ferroviarios o de los puentes carreteros. Por ese motivo los fabricantes tratan de reducir la altura de los núcleos y una forma de hacerlo es reducir la sección de los yugos, derivando parte del flujo que los atraviesa, por dos columnas adicionales que se colocan en los extremos, figura 3. A estos núcleos se los denomina de cinco columnas y son bastante empleados en potencias grandes.

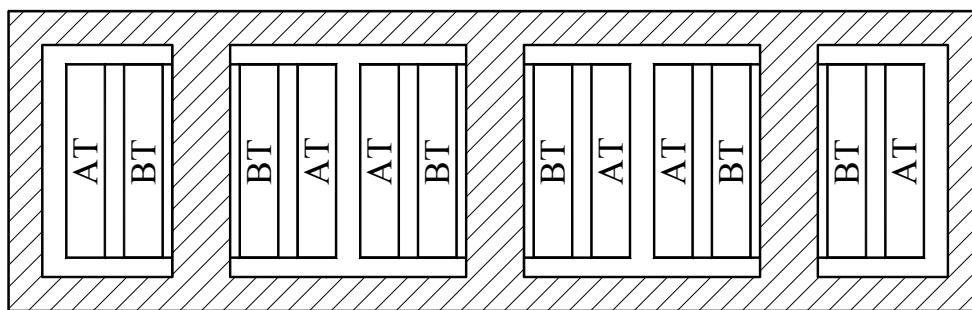


Fig. 3. Transformador trifásico de cinco columnas.

Existen otros tipos de núcleos trifásicos, por ejemplo los acorazados, pero ya están prácticamente en desuso y han sido reemplazados por los mencionados *utes supra*, que son más económicos y fáciles de construir.

Los distintos tipos de núcleos influyen en el comportamiento de los transformadores que operan con cargas alineales o asimétricas, pero el estudio de ese tema escapa al alcance de este capítulo introductorio.

## 4 CONEXIONES TRIFÁSICAS

Las conexiones trifásicas más empleadas son la estrella y el triángulo, pero no son las únicas, existen otras, para aplicaciones especiales, como ser las conexiones “*zig zag*”, en “*V*”, en “*T*”, etc. Estas conexiones especiales no serán analizadas.

Las conexiones estrella se emplean cuando se necesita la presencia de un conductor neutro, generalmente conectado a tierra, como ocurre en las redes tetrafilares de distribución de baja tensión. También se emplea en las redes de alta tensión porque permiten obtener elevadas tensiones de línea, con menor tensión en cada fase. En una estrella la tensión de línea es un 73% mayor que la de fase, mientras que en un triángulo son iguales.

La conexión en triángulo se emplea en la mayoría de las redes de media tensión y, como no posee neutro, se debe buscar la forma de referenciar la red a tierra, por ejemplo por medio de un reactor de neutro.

El mejor comportamiento de un transformador frente a cargas alineales o asimétricas se obtiene utilizando una estrella y un triángulo, por eso es la combinación más empleada.

Las fases de las máquinas trifásicas se identifican con letras normalizadas, que en nuestro caso, como en muchos otros países son, figura 4.

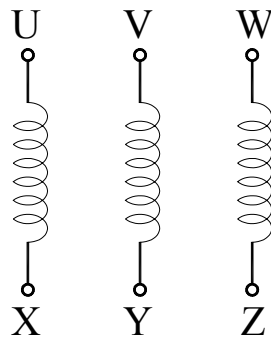


Fig. 4. Identificación de fases.

Utilizándose letras mayúsculas para los bornes de los arrollamientos de mayor tensión y minúsculas para los de menor tensión.

Las conexiones de los transformadores deben estar claramente indicadas en las chapas de características y se las identifica por medio de letras:

|            |                     |
|------------|---------------------|
| Estrella:  | <i>Y</i> o <i>y</i> |
| Triángulo: | <i>D</i> o <i>d</i> |

Acá también se emplean letras mayúsculas para el lado de mayor tensión y minúsculas para el de menor tensión. En el caso de la estrella suele agregarse una */n* para indicar que hay conexión al centro de la misma.

## 5 CIFRA DE HORA

Según se realicen las conexiones de ambos lados del transformador aparecen distintos desfases entre las tensiones de línea de alta y baja tensión, y en los sistemas trifásicos esos desfases son múltiplos de  $30^\circ$ . Por ese motivo el desfase se indica por medio de un número denominado “*cifra de hora*”, por su semejanza con la agujas de un reloj, que resulta de dividir el desfase por 30. En la figura 5 se muestra las tensiones entre los bornes  $UV$  y  $uv$  para un transformador con cifra de hora 5.

$$\text{Cifra de hora} = \frac{\theta}{30} \quad (1)$$

El ángulo  $\theta$  se mide desde la tensión de alta a la de baja correspondiente y en el sentido de las agujas del reloj.

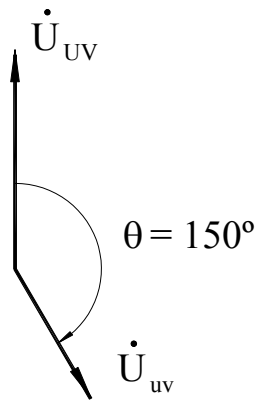


Fig. 5. Cifra de hora.

No todas las combinaciones pueden dar cualquier cifra de hora: cuando las conexiones de ambos lados son del mismo tipo la cifra de hora es par y, en el caso contrario, impar.

$Y - y$  o  $D - d$ : cifra de hora par.  
 $Y - d$  o  $D - y$ : cifra de hora impar.

Las cifras de hora normalizadas en la Argentina y en muchos otros países son: 0; 5; 6 y 11, a partir de las cuales se pueden obtener todas las restantes, sin modificar el conexionado interno de los transformadores.

Los transformadores que tienen la misma cifra de hora se dicen que pertenecen al mismo *grupo de conexión*.

En la chapa de características se indica las conexiones y la cifra de hora con las letras y números correspondientes, por ejemplo  $Yy0$ ,  $Dy/n5$ ,  $Yy0d5$ , etc.

## 6 TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS DE TRES ARROLLAMIENTOS

Los transformadores trifásicos de tres arrollamientos se emplean cuando se debe extraer potencia de una línea de alta tensión para alimentar un consumo local, como se muestra en la figura 6.

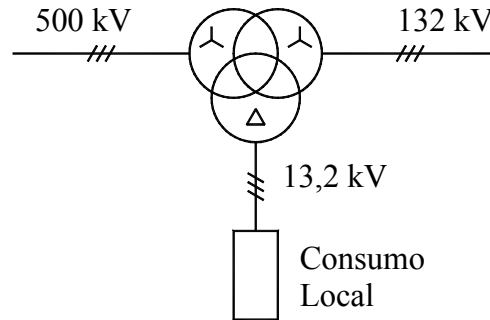


Fig. 6. Derivación de una línea de alta tensión.

Cuando se deben acoplar líneas de alta tensión, se utilizan transformadores con conexiones estrella, sin conductor de neutro en ambos lados; y para evitar problemas de armónicos en las tensiones de fase, al transformador se le agrega un terciario en triángulo el que, a diferencia del mostrado en el ejemplo de la figura 6, puede no estar conectado a ninguna carga, y solamente se conecta a tierra uno de sus vértices para evitar sobretensiones.

También se los emplea para acoplar dos generadores y que salgan por una sola línea de alta tensión, como se muestra en la figura 7.

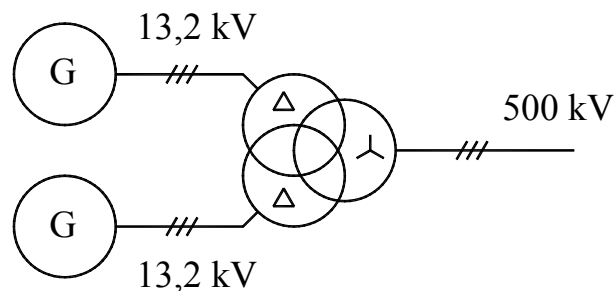


Fig. 7. Acoplamiento de dos generadores.

## 7 BIBLIOGRAFÍA

EE Staff del MIT: "Circuitos Magnéticos y Transformadores" Editorial Reverté, 1943.

Stephen J. Chapman: "Máquinas Eléctricas" Editorial Mac Graw Hill, 2005.

B. S. Guru y H. R. Hiziroğlu: "Máquinas Eléctricas y Transformadores" Editorial Oxford University Press, 2003.

Ing. Norberto A. Lemozy  
2010