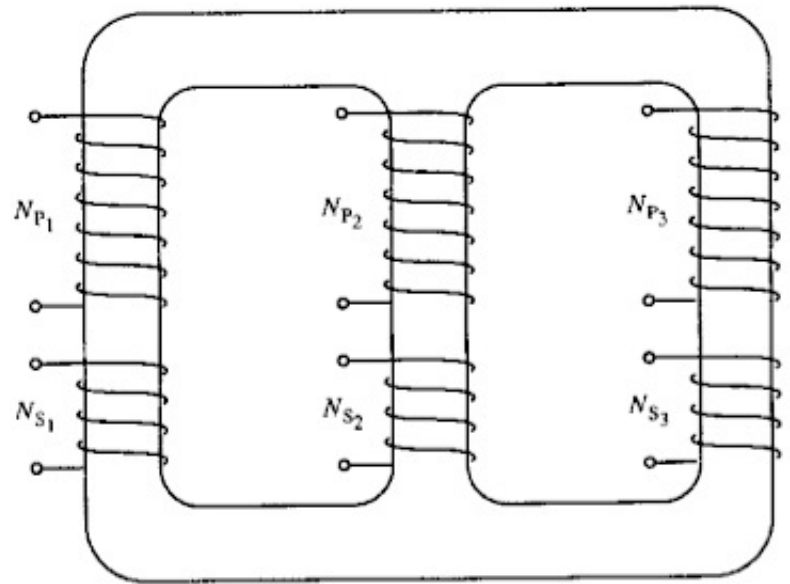


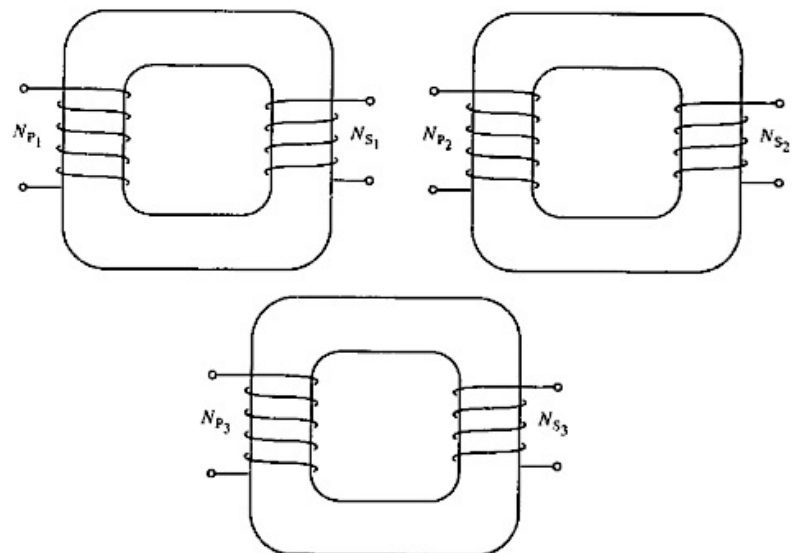
## 2.4 TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS.

Para satisfacer la demanda de la potencia trifásica se necesitan conexiones de transformador que sean compatibles con las operaciones trifásicas. Estas conexiones pueden lograrse de dos maneras: conectando tres transformadores monofásicos, lo cual forma un banco de transformadores, o usando un transformador trifásico especial. Para la misma capacidad nominal en kVA, un transformador trifásico siempre es más pequeño y menos costoso que el banco de transformadores. Es importante mencionar que las formas de onda del voltaje resultante resultan menos distorsionadas para un transformador tipo acorazado que para uno tipo núcleo con especificaciones semejantes.

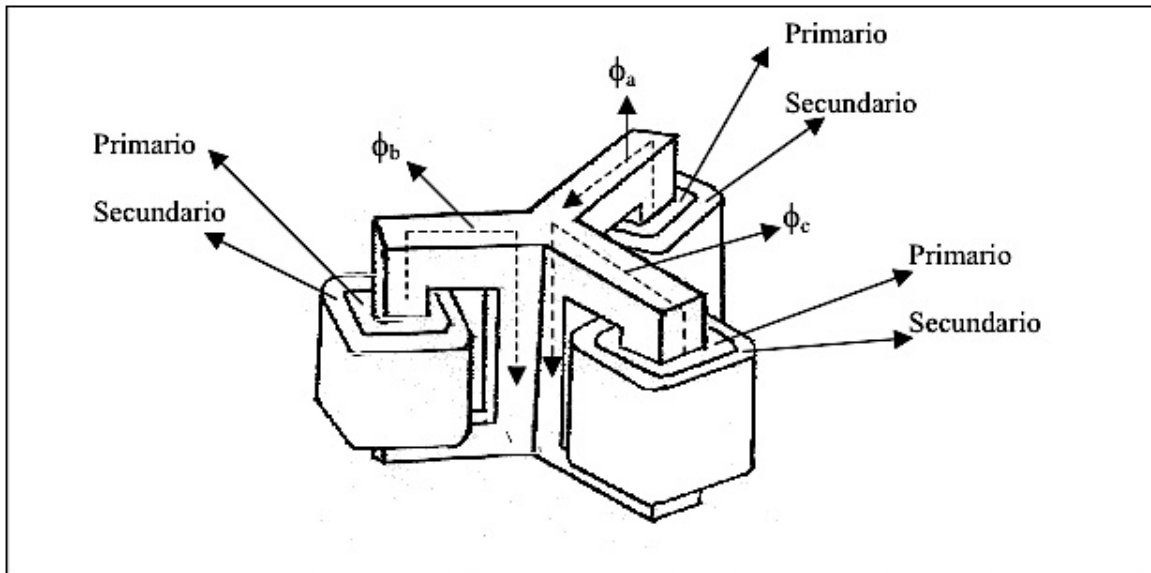
A la par se muestra un transformador trifásico, formado por tres conjuntos de devanados arrollados sobre un núcleo común.



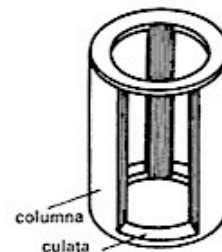
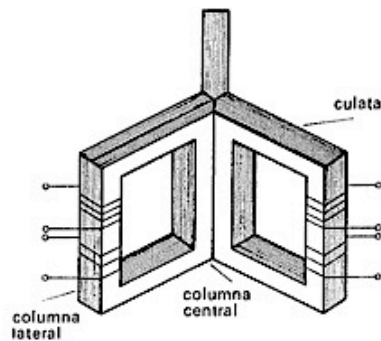
A continuación se observa la conexión de tres transformadores monofásicos conectados en un banco trifásico:



La utilización del banco trifásico es muy limitada, sólo se aplica cuando por motivos de seguridad en la instalación se tenga que disponer de transformadores de reserva, o que no se pueda transportar grandes transformadores. Es preferible el transformador trifásico propiamente dicho que consiste en devanar sobre el mismo núcleo los primarios y secundarios. De estos los más utilizados son los de culata en estrella (el más usado) y en triángulo.



**Tres Transformadores monofásicos con núcleo común.**



La designación de bornes correspondientes de los transformadores trifásicos se hace según normas CEI y las recomendaciones de UNESA.

baja tensión			
$\phi$ <i>n</i> N O	$\phi$ <i>a</i> A O	$\phi$ <i>b</i> B O	$\phi$ <i>c</i> C O
alta tensión			
baja tensión			
$\phi$ <i>n</i> N O	$\phi$ <i>u</i> U O	$\phi$ <i>v</i> V O	$\phi$ <i>w</i> W O
alta tensión			

### 2.5.1 Conexión de transformadores trifásicos:

Hay cuatro maneras estándar de conectar tres transformadores monofásicos o un transformador trifásico para operaciones trifásicas: Y – Y, Y – Δ, Δ – Δ y Δ – Y. Para todas ellas son válidas las siguientes ecuaciones:

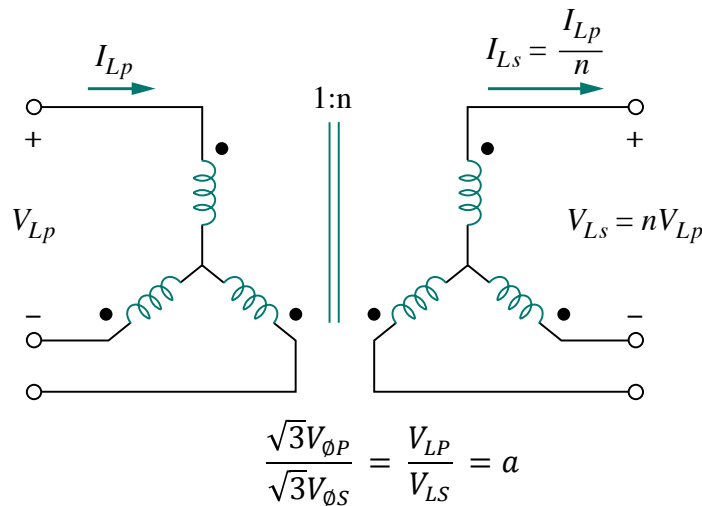
$$\begin{aligned}S_T &= \sqrt{3}V_L I_L \\P_T &= S_T \cos \theta = \sqrt{3}V_L I_L \cos \theta \\Q_T &= S_T \sin \theta = \sqrt{3}V_L I_L \sin \theta\end{aligned}$$

Es posible analizar un transformador trifásico en la misma forma en que se analiza un circuito trifásico, o sea, puede emplearse el circuito equivalente por fase de un transformador

#### ▪ Conexión Y – Y:

##### Ventajas:

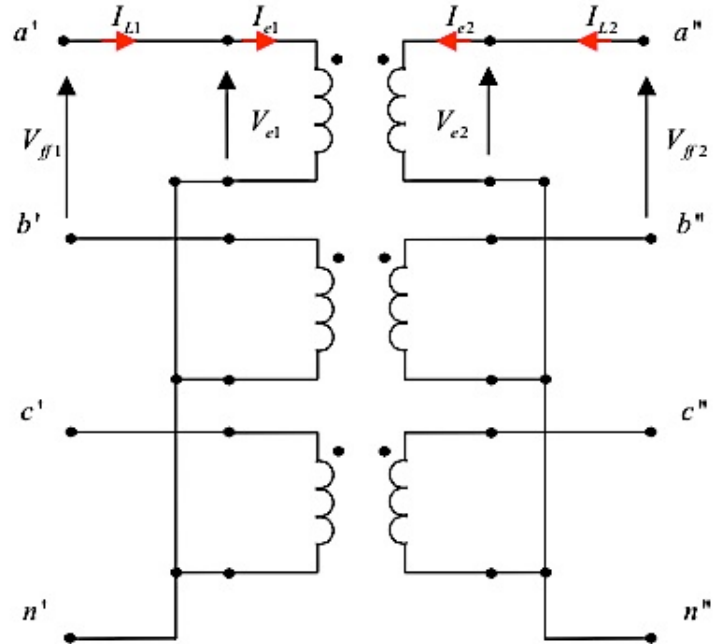
Se tiene acceso a la terminal neutra en cada lado, la cual puede conectarse a tierra y así equilibrar las corrientes de línea.



La conexión Y – Y se emplea usualmente para sistemas primarios y secundarios de tensión elevada (>30 [KV]), ya que los enrollados deben soportar sólo  $1/\sqrt{3}$  veces dicha tensión. En estos niveles de tensión las corrientes de línea (y por lo tanto de enrollados) son relativamente bajas.

Desventajas:

- Si las cargas están desbalanceadas, los voltajes de las fases del transformador pueden llegar a desbalancearse severamente.
- Los voltajes de terceras armónicas pueden ser grandes.



▪ **Conexión Y – Δ:**

Ventajas:

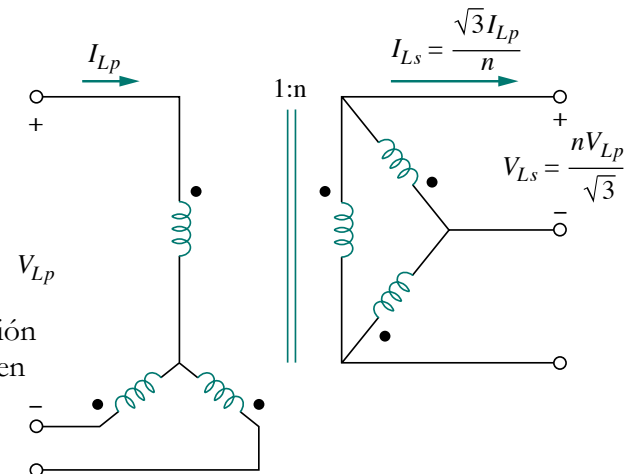
- Esta conexión es muy apropiada para aplicaciones reductoras.
- La corriente en el devanado secundario es alrededor de un 58% de la corriente de carga.
- Los voltajes en el primario se toma entre línea y neutro, mientras que del lado del secundario, de línea a línea.
- No tiene problemas de componentes de tercera armónica en sus voltajes, ya que ellas son consumidas en una corriente circulante en el devanado Δ.

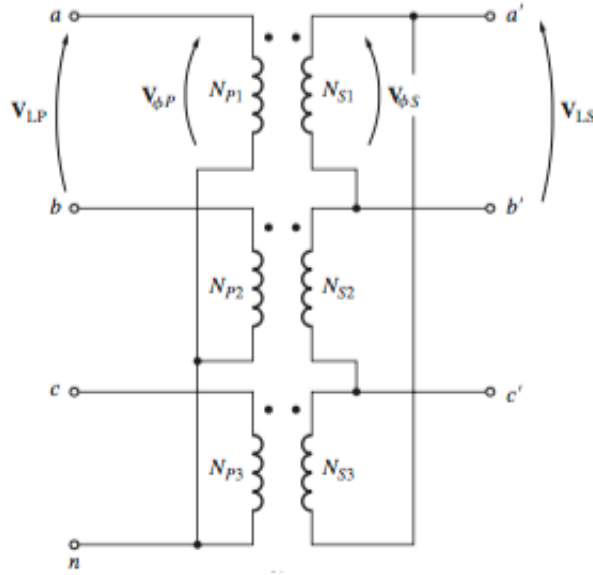
$$\frac{V_{\phi P}}{V_{\phi S}} = a$$

$$\frac{V_{LP}}{V_{LS}} = \sqrt{3} a$$

Desventajas:

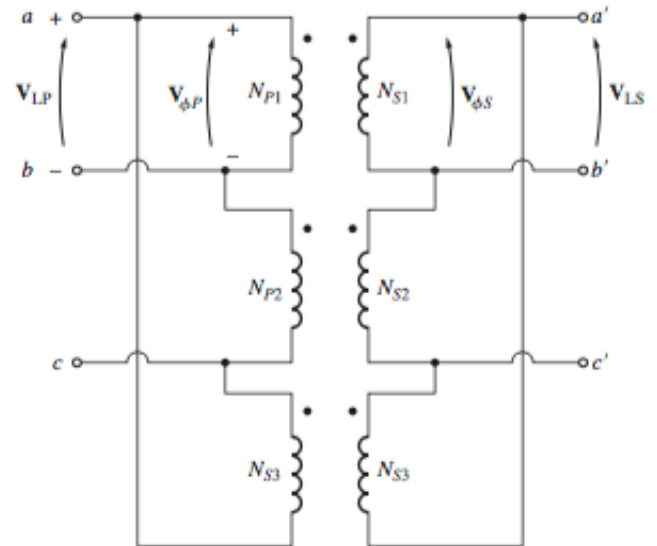
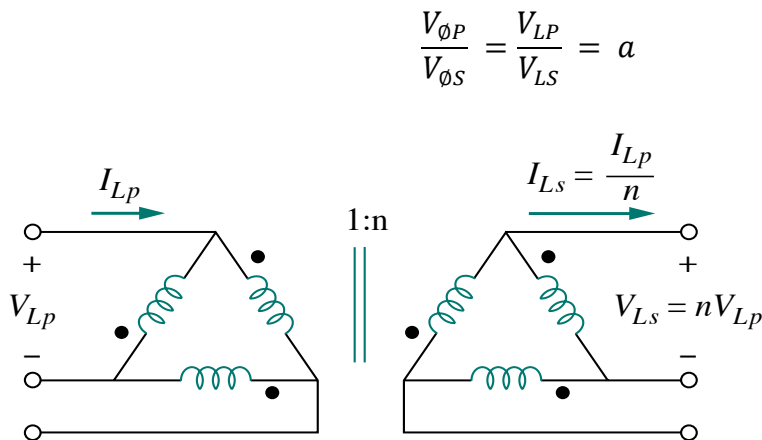
- El voltaje del secundario está desfasado 30° con relación al voltaje del primario. Esto puede causar problemas en la puesta en paralelo de los secundarios de dos bancos de transformadores.





▪ **Conexión Δ - Δ:**

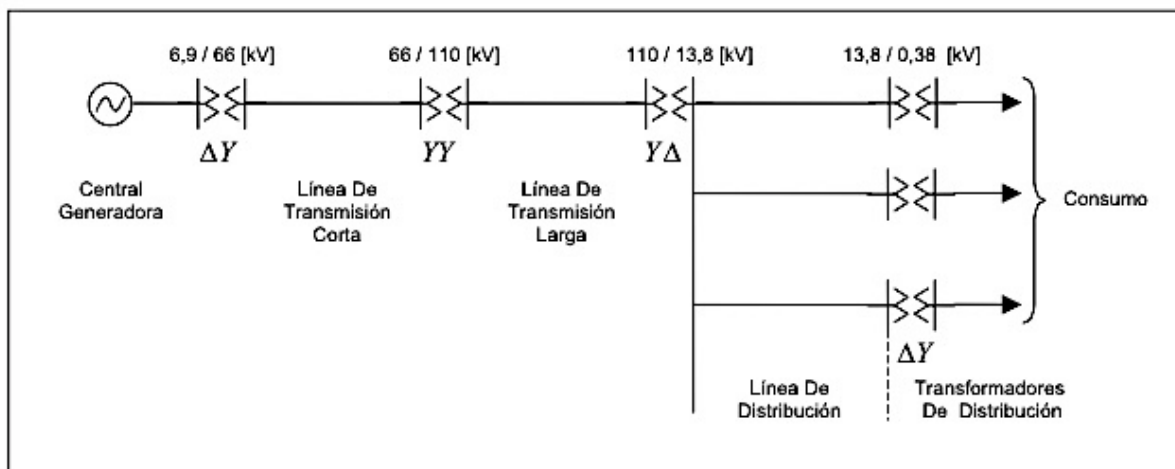
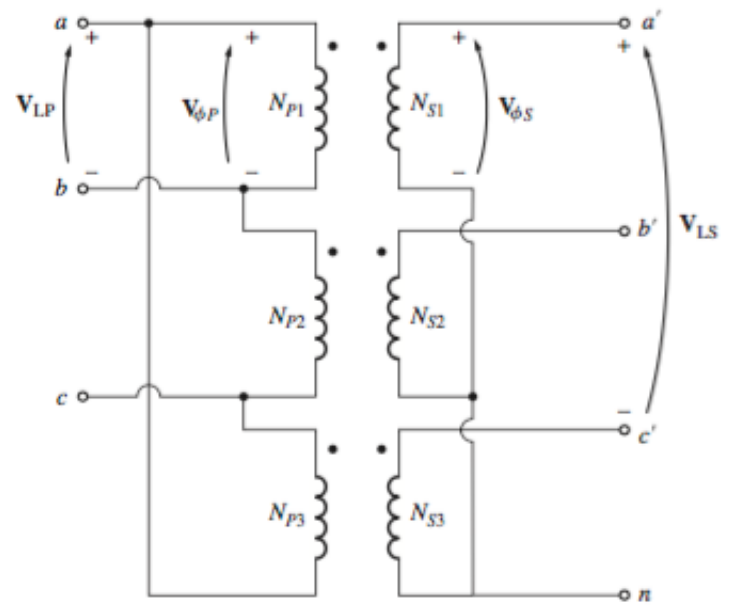
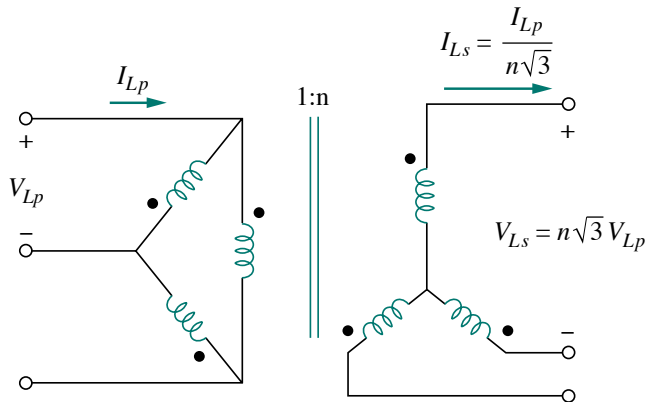
Este arreglo es útil cuando los voltajes no son muy altos, ya que aun en condiciones de carga no equilibradas, los voltajes de la carga trifásica permanecen prácticamente iguales.



▪ **Conexión Δ - Y:**

- Esta conexión es apropiada para una aplicación elevadora.
- Se usa un secundario de cuatro conductores.
- Tiene las mismas ventajas y el mismo desfase que en el caso del transformador **Y - Δ**.
- El voltaje del secundario atrasa al del primario 30°.

$$\frac{V_{LP}}{V_{LS}} = \frac{V_{\phi P}}{\sqrt{3}V_{\phi S}} = \frac{\sqrt{3}}{a}$$



**Conexión de transformadores un sistema eléctrico de potencia**

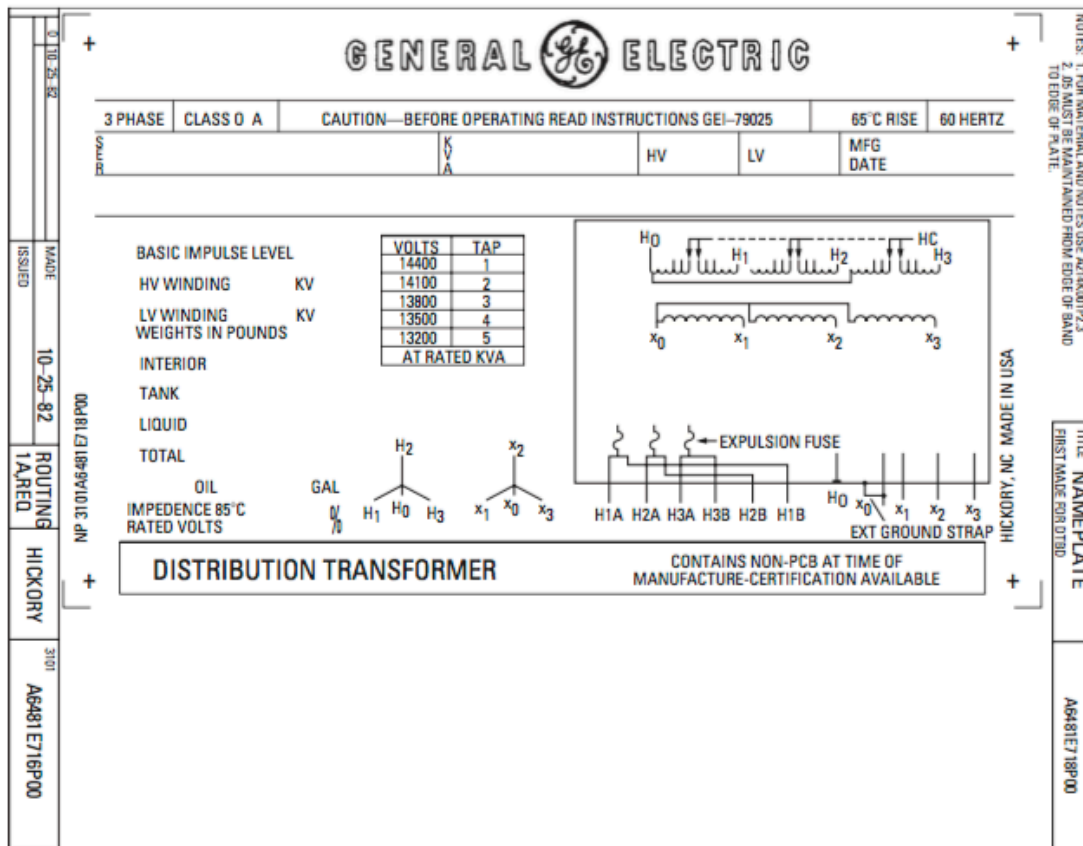
### 2.5.2 Valores nominales de los transformadores.

- a) **Potencia aparente (kVA o MVA):** Tiene como propósito principal establecer junto con el voltaje nominal, el flujo de corriente a través de los devanados del transformador, para controlar las pérdidas por calentamiento en los devanados, ya que el sobrecalentamiento de las bobinas acorta la vida útil del transformador.

b) **Voltaje primario y secundario (V)**

c) **Frecuencia (Hz):** Si un transformador de 60 Hz tiene que operar a 50 Hz, el voltaje aplicado debe ser un sexto del voltaje nominal, para que el flujo máximo no sea muy alto. Si el transformador es de 50 Hz, puede operar a un nivel de 1,2 veces su voltaje nominal.

d) **Resistencia y reactancia en serie por unidad (pu).**



### 2.5.3 Consideraciones sobre los transformadores:

- ✚ Sólo son útiles en situaciones donde el voltaje aplicado cambia con el tiempo.
- ✚ Son los elementos más grandes en un diseño.
- ✚ Debido a la no linealidad de la curva B – H (histéresis) pueden causar cierta distorsión en la onda transformada.
- ✚ A mayor clasificación de potencia, mayor tamaño.
- ✚ A menor frecuencia, mayor tamaño.
- ✚ Debido a las corrientes parásitas y la histéresis en un núcleo sólido hay mayores pérdidas.

**Datos nominales de un Transformador monofásico:**

5 kVA

2 000/100 V

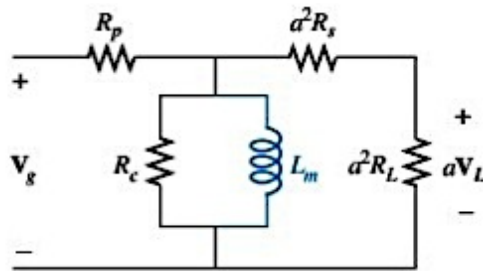
60 Hz

Los 2 000 o 100 V pueden ser el voltaje primario o el secundario. Los 5 kVA constituyen la especificación de potencia aparente del transformador. La frecuencia se incluye en los datos nominales por la ecuación:

$$E_p = 4,44fN_p\Phi_m$$

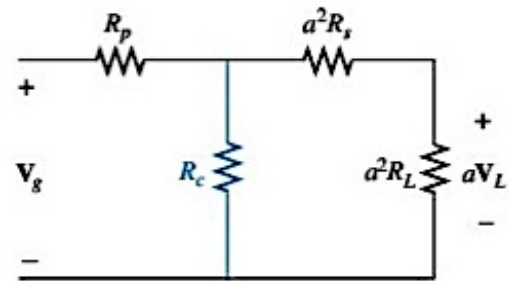
y por la curva B – H para el núcleo de hierro del transformador.

**2.5.4 Consideraciones sobre los efectos de la frecuencia en los transformadores**

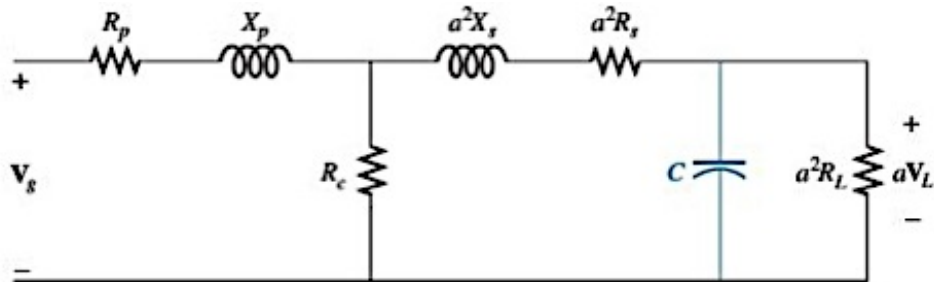


Región de baja frecuencia: Las reactancias de fuga primaria y secundaria pueden ignorarse puesto que su magnitud es pequeña. Pero debe incluirse la inductancia magnetizante, dado que aparece en paralelo con el circuito reflejado secundario. Para  $f = 0$  Hz,  $L_m$  es idealmente un cortocircuito y  $V_L = 0$ .

Región de mediana frecuencia: Prácticamente no se tienen elementos reactivos, por consiguiente hay una relación en fase entre los voltajes de carga y de generador.



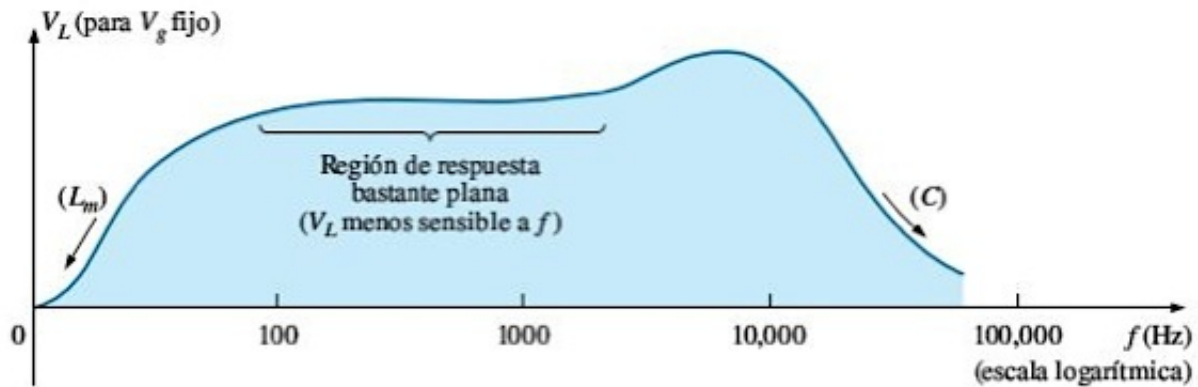
Región de alta frecuencia: Se deben tener en cuenta los elementos capacitivos y las reactancias de fuga primaria





secundaria.

La siguiente gráfica es la curva de respuesta en frecuencia de un transformador de núcleo de hierro típico. Para las regiones de baja y alta frecuencia, se indica el elemento primario de la caída. El pico que ocurre en la región de alta frecuencia se debe al circuito resonante en serie establecido por los elementos inductivo y capacitivo del circuito equivalente. En la región de valor pico, el circuito resonante en serie está en, o muy cerca de, su estado resonante o sintonizado.



#### Otras consideraciones:

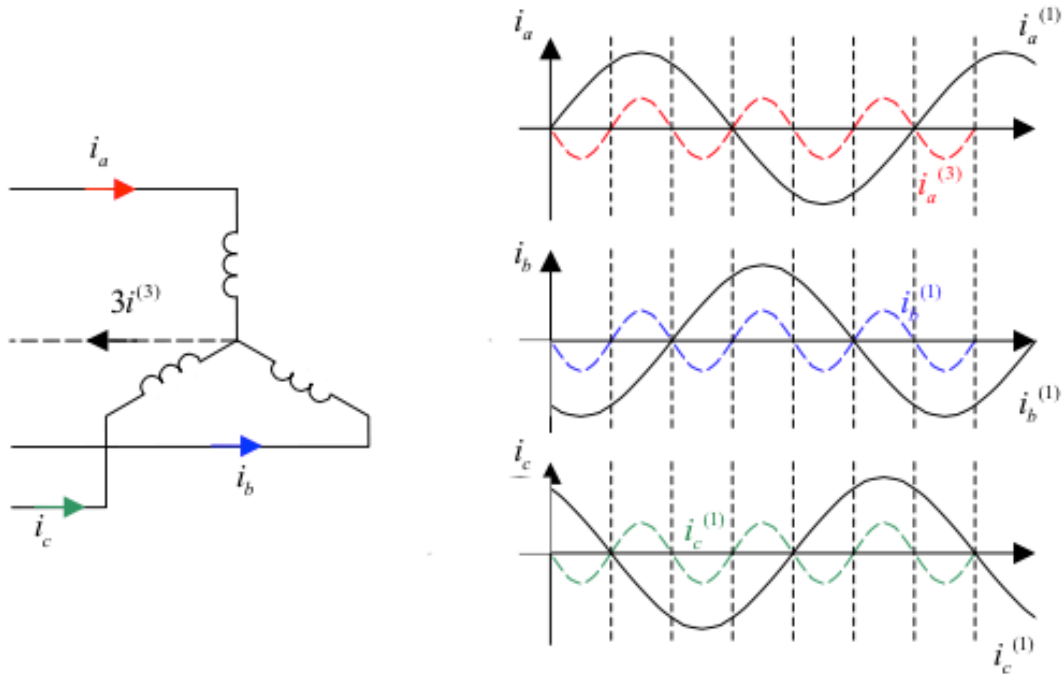
Aparte de las recomendaciones generales dadas anteriormente para la utilización de una u otra conexión en transformadores trifásicos, al decidir una instalación deben considerarse además una serie de otros aspectos técnicos y económicos; uno de estos, de relativa importancia, corresponde a las armónicas de corriente y voltaje que introduce el transformador trifásico en el sistema, los que dependen fuertemente del tipo de conexión.

Como se vio en su oportunidad, el diseñar los transformadores con el punto de operación en la zona del codo de saturación del núcleo, provoca la aparición de corrientes de magnetización con un alto contenido de 3a armónica. Se analizará lo que ocurre con estas armónicas en los distintos tipos de conexión.

Los transformadores trifásicos se designan, normalizadamente mediante 2 letras y un número. La 1a letra, en mayúscula, indica la conexión de los enrollados de alta tensión Y: estrella o D: delta; la 2a letra, en minúscula, indica la conexión de los enrollados de baja tensión (Y o  $\Delta$ ) y el número

indica el ángulo de adelanto del voltaje fase-neutro de AT respecto al voltaje fase-neutro de BT, dividido por 30°. Por ejemplo un transformador **Yd7** significa:

- Enrollados de AT conectados en estrella.
- Enrollados de BT conectados en delta.
- Voltaje fase-neutro de AT respecto al voltaje fase-neutro de BT en 210°.



**Armónicas en conexión Y**

