

TRANSFORMADORES TRIFASICOS

Efrén Espinoza T
Universidad Politécnica Salesiana.
Ingeniería Electrónica, Área de Formación Profesional
Máquinas Eléctricas I
efrenet21@hotmail.com

I. INTRODUCCION

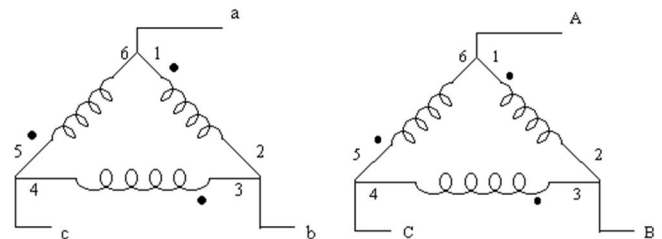
Los transformadores trifásicos son utilizados para el suministro o el transporte de energía a grandes distancias de sistemas de potencias eléctricas. Lo que normalmente conocemos como la distribución eléctrica, pero a grandes distancias. Quizás haya oído hablar de los bancos de transformadores. Pues bien, los bancos de transformadores consisten en tres transformadores monofásicos conectados entre ellos para simular un transformador trifásico. Esto estaría muy bien para el caso de que se desee tener un transformador monofásico de repuesto para los casos de averías, pero la realidad es que los transformadores trifásicos resultan más económicos, es decir, un transformador trifásico es más barato que tres transformadores monofásicos.

Además, está la relación de tamaño, un único transformador trifásico siempre será más pequeño que un banco de transformadores monofásicos. Tanto los bancos de transformadores monofásicos como el transformador trifásico se pueden conectar de diferentes formas. En el caso del transformador trifásico, solo hay que decir que los devanados de las bobinas están conectados internamente y, estas conexiones pueden ser en estrella o en triángulo

en construir los diagramas fasoriales de tensiones y corrientes, conociendo: la conexión en baja y alta tensión (estrella, triángulo o zig-zag), las polaridades de los enrollados en un mismo circuito magnético o fase, y las designaciones de los bornes.

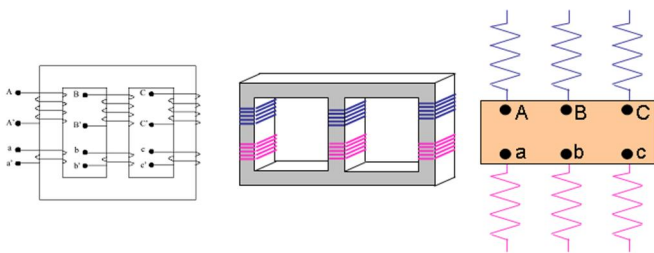
Lo que se presentará a continuación son todos los tipos de conexiones para transformadores trifásicos: Delta-delta, delta-estrella, estrella-delta, estrella-estrella; también se mostrará mediante gráficas el cambio que sufren los valores de corriente y voltaje a lo largo de las líneas y fases del circuito.

Conexión Delta - Delta:



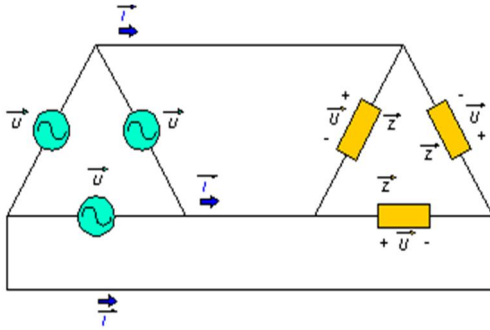
II. DESARROLLO

1. Grupos de Conexión de Transformadores Trifásicos

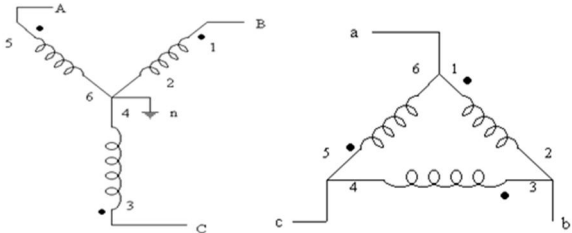


Para relacionar las tensiones y las corrientes primarias con las secundarias, no basta en los sistemas trifásicos con la relación de transformación, sino que se debe indicar los desfases relativos entre las tensiones de una misma fase entre el lado de Alta Tensión y el de Baja Tensión. Una manera de establecer estos desfases consiste

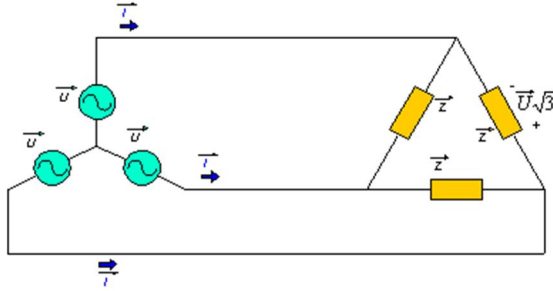
Se utiliza esta conexión cuando se desean mínimas interferencias en el sistema. Además, si se tiene cargas desequilibradas, se compensa dicho equilibrio, ya que las corrientes de la carga se distribuyen uniformemente en cada uno de los devanados. La conexión delta-delta de transformadores monofásicos se usa generalmente en sistemas cuyos voltajes no son muy elevados especialmente en aquellos en que se debe mantener la continuidad de unos sistemas. Esta conexión se emplea tanto para elevar la tensión como para reducirla. En caso de falla o reparación de la conexión delta-delta se puede convertir en una conexión delta abierta-delta abierta.



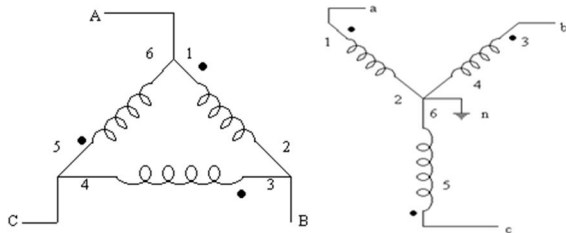
Circuito Estrella - Delta:



La conexión estrella-delta es contraria a la conexión delta-estrella; por ejemplo en sistema de potencia, la conexión delta-estrella se emplea para elevar voltajes y la conexión estrella-delta para reducirlos. En ambos casos, los devanados conectados en estrella se conectan al circuito de más alto voltaje, fundamentalmente por razones de aislamiento. En sistemas de distribución esta conexión es poco usual, salvo en algunas ocasiones para distribución a tres hilos.

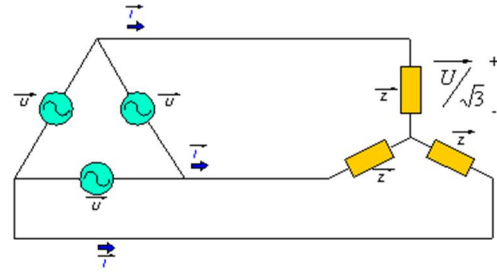


Circuito Delta - Estrella:

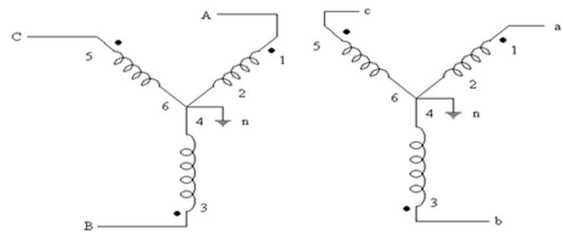


La conexión delta-estrella, de las más empleadas, se utiliza en los sistemas de potencia para elevar voltajes de generación o de transmisión, en los sistemas de

distribución (a 4 hilos) para alimentación de fuerza y alumbrado.



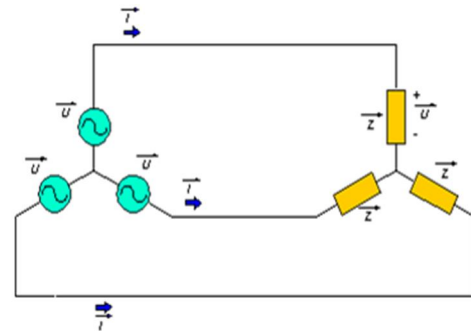
Circuito Estrella - Estrella:



Las corrientes en los devanados en estrella son iguales a las corrientes en la línea. Si las tensiones entre línea y neutro están equilibradas y son sinusoidales, el valor eficaz de las tensiones respecto al neutro es igual al producto de $1/\sqrt{3}$ por el valor eficaz de las tensiones entre línea y línea y existe un desfase de 30° entre las tensiones de línea a línea y de línea a neutro más próxima.

Las tensiones entre línea y línea de los primarios y secundarios correspondientes en un banco estrella-estrella, están casi en concordancia de fase.

Por tanto, la conexión en estrella será particularmente adecuada para devanados de alta tensión, en los que el aislamiento es el problema principal, ya que para una tensión de línea determinada las tensiones de fase de la estrella sólo serían iguales al producto $1/\sqrt{3}$ por las tensiones en el triángulo.

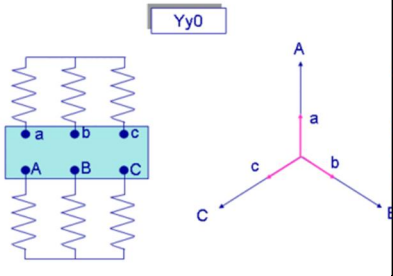


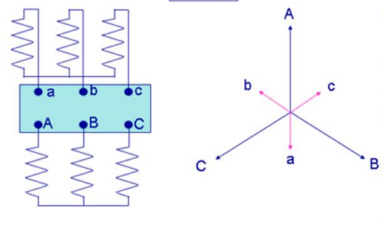
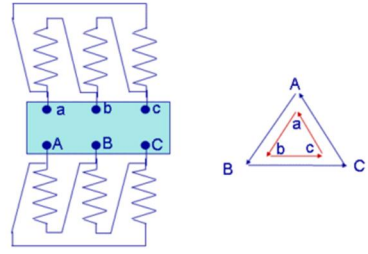
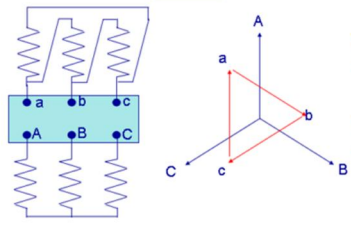
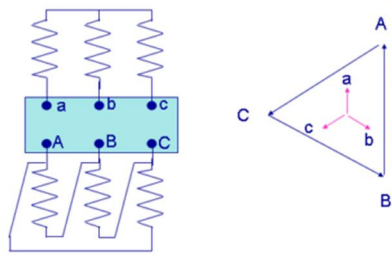
Índice Horario:

Todos los arrollamientos montados sobre una misma columna abrazan en cada instante el mismo flujo común ϕ y con el fin de precisar el sentido de las f.e.m. suponemos que el sentido de arrollamiento de las bobinas primarias y secundarias es el mismo. Si designamos con la misma letra los terminales homólogos en cuanto a polaridad instantánea de dos cualesquiera de estos arrollamientos montados sobre la misma columna, los vectores representativos de las f.e.m. respectivos se presentaran como se indica a continuación.

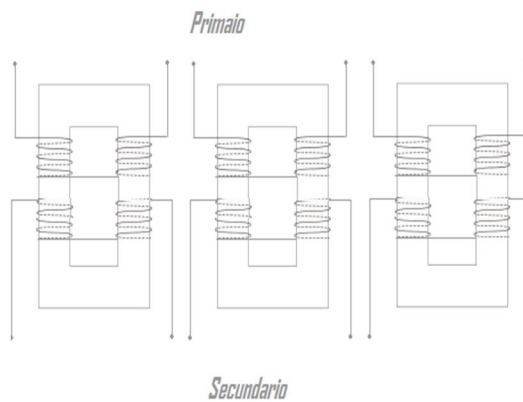
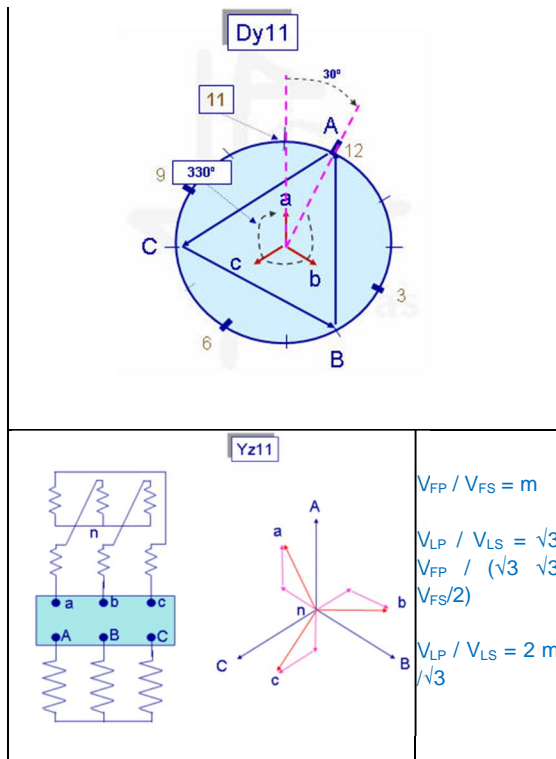
Dependiendo del tipo de conexión, las tensiones simples del primario y del secundario pueden no estar en fase, cosa que siempre ocurre en los transformadores monofásicos. Para indicar el desfase existente entre las tensiones simples, se suele utilizar el llamado índice horario (ángulo formado por la aguja grande y la pequeña de un reloj cuando marca una hora exacta), expresado en múltiplos de 30° (ángulo entre dos horas consecutivas, $360^\circ/12=30^\circ$). El conocimiento del desfase (índice horario) es muy importante cuando se han de conectar transformadores en paralelo, dado que entonces, todos los transformadores deben tener el mismo índice horario, para evitar que puedan producirse corrientes de circulación entre los transformadores cuando se realice la conexión.

A continuación veremos algunas de las formas más frecuentes de conexión (el desfase se obtiene multiplicando el número que acompaña la denominación por 30, ejemplo: en Yy6 el desfase es $6 \cdot 30=180^\circ$):

Conexión	Relación de Transformación
V_{FP} = Tensión fase primario; V_{FS} = tensión fase secundario; V_{LP} = Tensión línea primario; V_{LS} = tensión línea secundario	
<div><div>Yy0</div></div>	$V_{FP} / V_{FS} = m$ $V_{LP} / V_{LS} = (\sqrt{3} * V_{FP}) / (\sqrt{3} * V_{FS}) = m$

<div><div>Yy6</div></div>	$V_{FP} / V_{FS} = m$ $V_{LP} / V_{LS} = (\sqrt{3} * V_{FP}) / (\sqrt{3} * V_{FS}) = m$
<div><div>Dd0</div></div>	$V_{FP} / V_{FS} = m$ $V_{LP} = V_{FP}$ $V_{LS} = V_{FS}$ $V_{LP} / V_{LS} = V_{FP} / V_{FS} = m$
<div><div>Yd11</div></div>	$V_{FP} / V_{FS} = m$ $V_{LP} / V_{LS} = (\sqrt{3} * V_{FP}) / V_{FS}$ $V_{LP} / V_{LS} = (\sqrt{3} * m)$
<div><div>Dy11</div></div>	$V_{FP} / V_{FS} = m$ $V_{LP} / V_{LS} = V_{FP} / (\sqrt{3} * V_{FS})$ $V_{LP} / V_{LS} = m / \sqrt{3}$

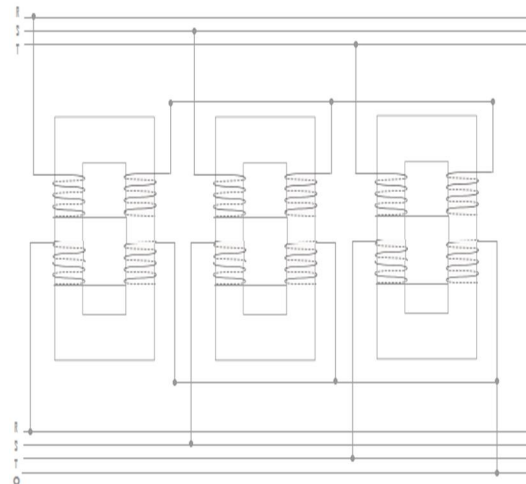
El gráfico siguiente demuestra la justificación del índice horario para esta conexión DY11



Los transformadores son completamente independientes entre sí, por lo que los circuitos magnéticos también lo son, no produciéndose, por lo tanto, ninguna interferencia o interacción entre los flujos magnéticos producidos.

Cada transformador lleva dos bornes de alta y dos de baja que se conectan entre sí de forma que pueda obtenerse la transformación trifásica deseada, para obtener una transformación estrella-estrella, con neutro. El sistema es costoso y las pérdidas en vacío resultan elevadas, a causa de la presencia de tres circuitos magnéticos independientes; desde este punto de vista, es preferible la instalación de un solo transformador trifásico. Sin embargo, en muchas ocasiones pueden resultar más económicos los tres transformadores independientes; por ejemplo, cuando, por razones de seguridad en el servicio es necesario disponer de unidades de reserva: con tres transformadores monofásicos basta otro transformador monofásico, con potencia un tercio de la potencia total, mientras que un transformador trifásico necesitaría otro transformador trifásico de reserva, con potencia igual a la de la unidad instalada.

Este sistema de transformación se emplea, sobre todo, en instalaciones de gran potencia, en las cuales, puede resultar determinante el coste de la unidad de reserva.



Elementos De Una Transformación Trifásica-Trifásica.

Una transformación trifásica-trifásica consta de un primario, en conexión trifásica equilibrada, que alimenta un sistema trifásico. Para abreviar, a este tipo de transformación le llamaremos simplemente transformación trifásica.

Una transformación trifásica puede efectuarse de dos formas:

- Mediante tres transformadores monofásicos independientes, unidos entre sí en conexión trifásica.
- Mediante un solo transformador trifásico que, en cierto modo, reúne a tres transformadores monofásicos. En este caso, la interconexión magnética de los núcleos puede adoptar diversas disposiciones, que examinaremos más adelante.

Transformación Trifásica mediante tres Transformadores Monofásicos.

Para esta transformación, se utiliza tres transformadores monofásicos de igual relación de transformación. Los primarios se conectan a la red trifásica de donde toman la energía y los secundarios alimentan el sistema trifásico de utilización.

Grupo de conexión según VDE 0532

Triángulo A.T.

Estrella A.T.

Triángulo B.T.

Estrella B.T.

30° de desfase de UL A.T. respecto de UL B.T.

ÍNDICE DE DESFASE	SÍMBOLO DE ACOPLAMIENTO	DIAGRAMA FASORIAL		ESQUEMA DE CONEXIONES	RELACION DE TRANSFORMACION
		ALTA TENSION	BAJA TENSION		
0 (0°)	Dd0				$\frac{N_1}{N_2}$
	Yy0				$\frac{N_1}{N_2}$
	Dz0				$\frac{2}{3} \frac{N_1}{N_2}$
5 (150°)	Dy5				$\frac{1}{\sqrt{3}} \frac{N_1}{N_2}$
	Yd5				$\sqrt{3} \frac{N_1}{N_2}$
	Yz5				$\frac{2}{\sqrt{3}} \frac{N_1}{N_2}$

INDICE DE DESFASE	SÍMBOLO DE ACOPLAMIENTO	DIAGRAMA FASORIAL		ESQUEMA DE CONEXIONES	RELACION DE TRANSFORMACION
		ALTA TENSION	BAJA TENSION		
6 (180°)	Dd6				$\frac{N_1}{N_2}$
	Yy6				$\frac{N_1}{N_2}$
	Dz6				$\frac{2 N_1}{3 N_2}$
11 (330°) (-30°)	Dy11				$\frac{1}{\sqrt{3}} \frac{N_1}{N_2}$
	Yd11				$\sqrt{3} \frac{N_1}{N_2}$
	Yz11				$\frac{2}{\sqrt{3}} \frac{N_1}{N_2}$

Transformación trifásica utilizando dos transformadores.

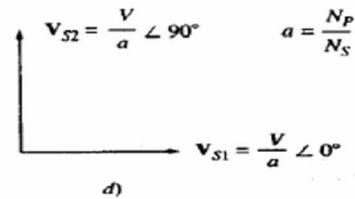
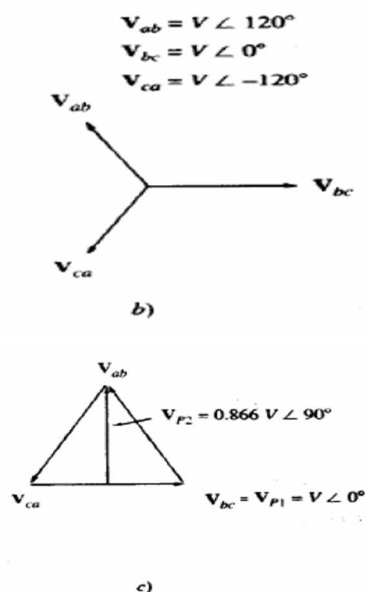
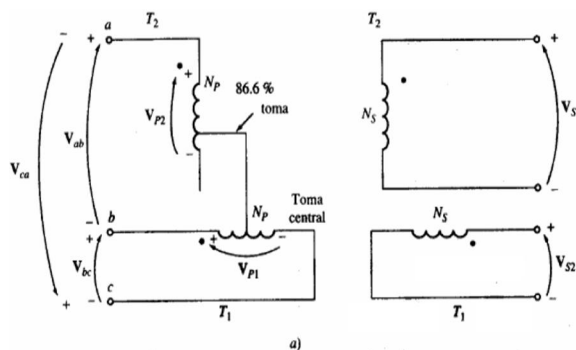
Algunas de las conexiones más importantes con dos transformadores son 4:

1. Conexión Scott-T
2. La conexión Δ abierta (o V-V)
3. Conexión Y abierta- Δ abierta
4. Conexión trifásica en T

La conexión Scott-T

La conexión Scott-T es una manera de obtener dos fases separadas 90° a partir de un suministro de potencia trifásica.

La C.Scott-T consta de dos transformadores monofásicos con idéntica capacidad. Uno tiene una toma en su devanado primario a 86.6% de su voltaje a plena carga. Están conectados como se muestra en la figura 2-43a. La toma de 86.6% del transformador T2 está conectada a la toma central del transformador T1.



Conexión del transformador Scott-T a) Diagrama de cableado; b) voltajes de entrada trifásicos; c) voltajes en los devanados primarios del transformador; d) voltajes secundarios bifásicos.

La conexión Δ abierta (o V-V)

En ciertas situaciones no puede utilizarse un banco de transformadores completo para realizar una transformación trifásica. Por ejemplo, supóngase que un banco de transformadores Δ - Δ que consta de transformadores separados tiene una fase dañada que se debe retirar para su reparación. La situación resultante se muestra en la siguiente figura, si dos voltajes secundarios que permanecen son $V_A = V \angle 0^\circ$ Y $V_B = V \angle -120^\circ$ V, entonces el voltaje que pasa a través de la abertura que dejó el tercer transformador está dado por:

$$V_C = -V_A - V_B$$

$$V_C = -V \angle 0^\circ - V \angle 120^\circ$$

$$V_C = -V - (0.5V - j0.866V)$$

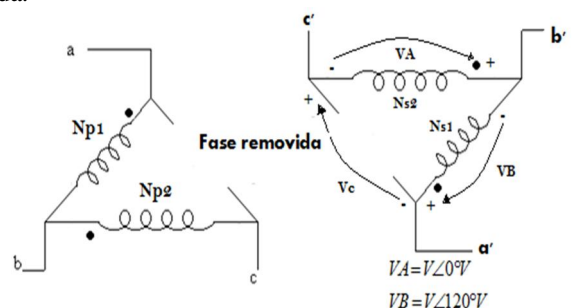
$$V_C = -0.5V + j0.866V$$

$$V_C = V \angle 120^\circ$$

Éste es el mismo voltaje que estaría presente si el tercer transformador siguiera ahí.

A menudo, a la fase C se le llama fase fantasma.

Entonces, la conexión delta abierta posibilita que un banco de transformadores siga funcionando con sólo dos de sus transformadores. Permitiendo que fluya cierta potencia aun cuando se haya removido una fase dañada.



Conexión de un transformador en Δ abierta o V-V. Muestra el banco de transformadores en operación normal conectado a una carga resistiva. Si el voltaje nominal de un transformador en el banco es V_Φ y la corriente nominal es I_Φ entonces la potencia máxima que puede suministrar a la carga es:

$$P = 3V_\Phi I_\Phi \cos \theta$$

El ángulo entre el voltaje V , Y la corriente I , en cada fase es 0° , por lo que la potencia total suministrada por el transformador es:

$$P = 3V_\phi I_\phi \cos\theta$$

$$P = 3V_\phi I_\phi$$

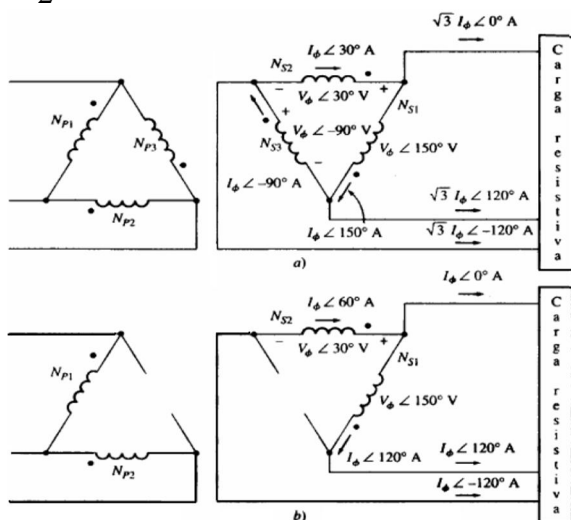
En la siguiente figura se muestra un transformador con delta abierta. Debido a que falta una de las fases del transformador, la corriente de línea de transmisión es igual a la corriente de fase en cada transformador y las corrientes y voltajes en el banco del transformador tienen un ángulo que difiere por 30° .

Para el transformador 1 el voltaje tiene un ángulo de 150° y la corriente tiene un ángulo de 120° , por lo que la expresión para la potencia máxima en el transformador es:

$$P = 3V_\phi I_\phi \cos(150 - 120)$$

$$P = 3V_\phi I_\phi \cos 30$$

$$P = \frac{\sqrt{3}}{2} V_\phi I_\phi$$



a) Voltajes y corrientes en un banco de transformador Δ - Δ . b) Voltajes y corrientes en un banco de

Transformador Δ abierta.

Para el transformador 2, el voltaje tiene un ángulo de 30° y la corriente tiene un ángulo de 60° , por lo que la potencia máxima es:

$$P_2 = 3V_\phi I_\phi \cos(30 - 60)$$

$$P_2 = 3V_\phi I_\phi \cos(-30)$$

$$P_2 = \frac{\sqrt{3}}{2} V_\phi I_\phi$$

Por lo tanto, la potencia máxima total para el banco delta abierta está dada por:

$$P_2 = \frac{\sqrt{3}}{2} V_\phi I_\phi$$

La corriente nominal es la misma en cada transformador, sin importar si son dos o tres, y el voltaje es el mismo en cada transformador; por lo que la razón entre la potencia de salida disponible del banco delta abierta y la potencia disponible del banco trifásico normal es:

$$\frac{P_{abierto\Delta}}{P_{3\text{ fase}}} = \frac{\sqrt{3}V_\phi I_\phi}{3V_\phi I_\phi} = \frac{1}{\sqrt{3}} = 0.577$$

La potencia disponible que sale del banco delta abierta es sólo 57.7% del valor nominal del banco original.

¿Qué pasa con el resto del valor nominal del banco delta abierta? Después de todo, la potencia total que los dos generadores juntos pueden producir equivale a dos tercios del valor nominal del banco original. Para encontrar la respuesta se debe examinar la potencia reactiva del banco delta abierta. La potencia reactiva del transformador 1 es:

$$Q_1 = 3V_\phi I_\phi \sin(150 - 120)$$

$$Q_1 = 3V_\phi I_\phi \cos(30)$$

$$Q_2 = \frac{1}{2} V_\phi I_\phi$$

La potencia reactiva del transformador 2 es:

$$Q_2 = 3V_\phi I_\phi \sin(30 - 60)$$

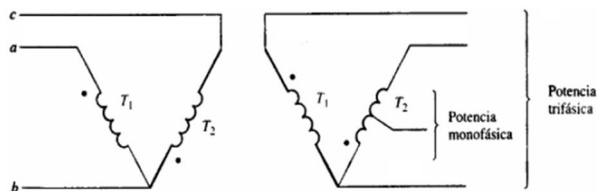
$$Q_2 = 3V_\phi I_\phi \cos(-30)$$

$$Q_2 = -\frac{1}{2} V_\phi I_\phi$$

Entonces, un transformador produce potencia reactiva que consume el otro. Este intercambio de energía entre los dos transformadores es lo que limita la potencia de salida a 57.7% del valor nominal del banco original en lugar del esperado 66.7%.

Otra manera de ver el valor nominal de la conexión delta abierta es que se puede utilizar 86.6% del valor nominal de los dos transformadores restantes.

Las conexiones delta abierta se utilizan ocasionalmente cuando se desea suministrar una pequeña cantidad de potencia trifásica a una carga monofásica. En tal caso, se puede utilizar la conexión de esta figura, donde el transformador T2 es mucho más grande que el transformador T1.



La utilización de una conexión de transformador en A abierta para suministrar una pequeña cantidad de potencia trifásica y mucha potencia monofásica. El transformador T2, es mucho mayor que el transformador T1,

La conexión ye abierta-delta abierta

Conexión Y abierta-Δ abierta

La conexión ye abierta-delta abierta es muy parecida a la conexión delta abierta excepto en que los voltajes primarios se derivan de dos fases y el neutro.

Se utiliza para dar servicio a pequeños clientes comerciales que necesitan servicio trifásico en áreas rurales donde no están disponibles las tres fases.

Con esta conexión un cliente puede obtener el servicio trifásico provisional basta que la demanda haga necesaria la instalación de la tercera fase.

Una gran desventaja de esta conexión es que debe fluir una corriente de retorno muy grande en el neutro del circuito primario.

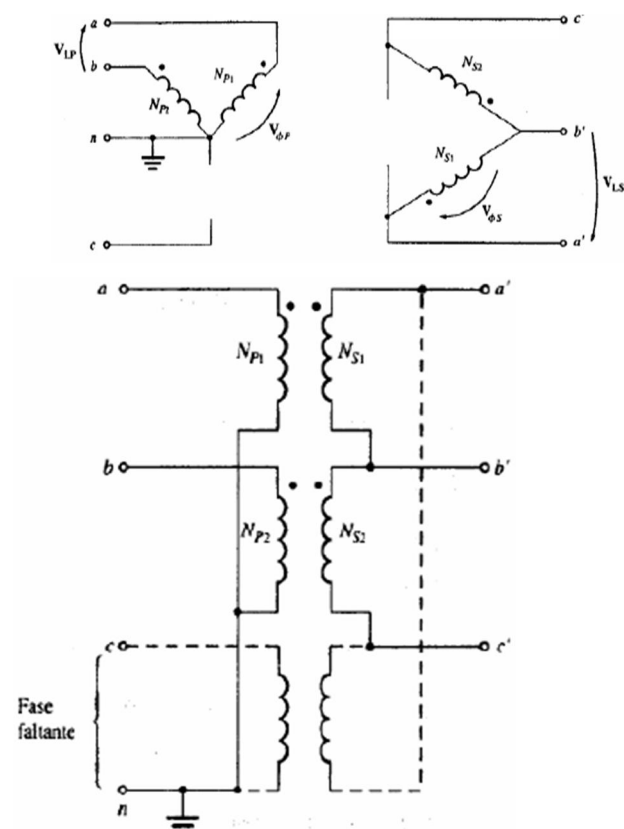


Diagrama de cableado de la conexión del transformador Y abierta-Δ abierta. Nótese que esta conexión es idéntica a la conexión Y-Δ de la figura.

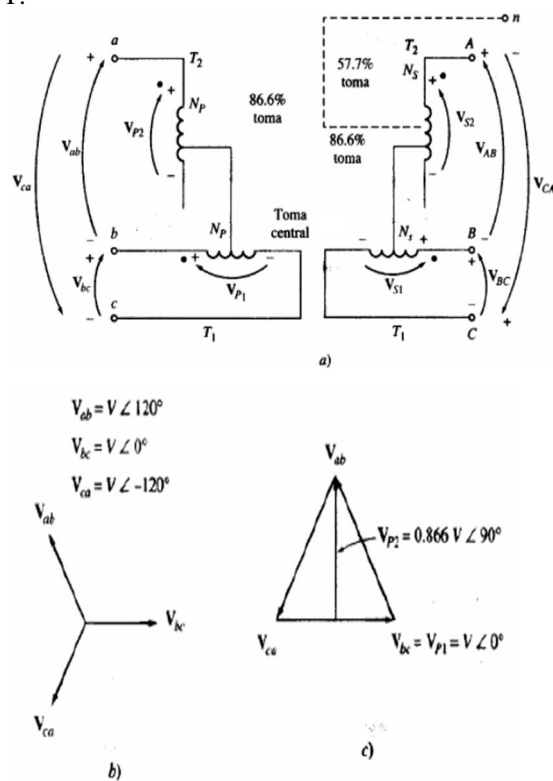
Excepto por la ausencia del tercer transformador y por la presencia del hilo del neutro.

La conexión T trifásica

La conexión Scott-T utiliza dos transformadores para convertir potencia trifásica en potencia bifásica con un nivel diferente de voltaje.

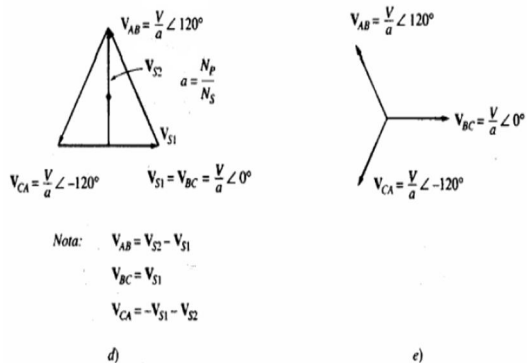
•Mediante una sencilla modificación de esta conexión, los mismos dos transformadores pueden convertir potencia trifásica en potencia trifásica con otro nivel de voltaje. En este caso, tanto el devanado primario como secundario del transformador T2 tienen una toma al 86.6% y las tomas están conectadas a las tomas centrales de los devanados correspondientes del transformador T1.

En esta conexión a T1 se le llama transformador principal y a T2 se le llama transformador de conexión en T.



Conexión trifásica en T del transformador. a) Diagrama de cableado; b) voltajes de entrada trifásicos; c) voltajes en los devanados primarios del transformador; d) voltajes en los devanados secundarios del transformador; e) voltajes secundarios trifásicos resultantes.

Valores nominales y problemas relacionados con los transformadores

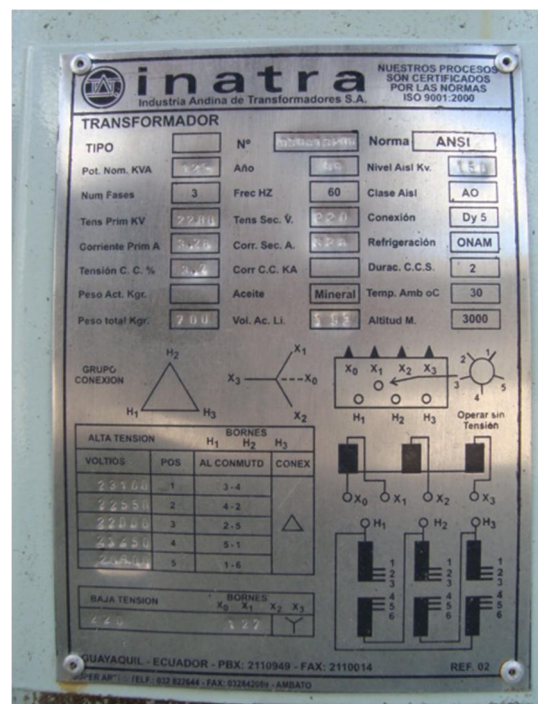


Los transformadores tienen cuatro valores nominales principales: potencia aparente, voltaje, corriente y frecuencia.

Placas del transformador 1.



Su placa es:



Interpretación.

- potencia nominal----→ 125KVA
- numero de fases----→ 3
- tensión primaria-----→ 22KV
- tensión secundaria-----→ 220V
- corriente primaria--→ 3.28A
- corriente secundaria-→ 828A

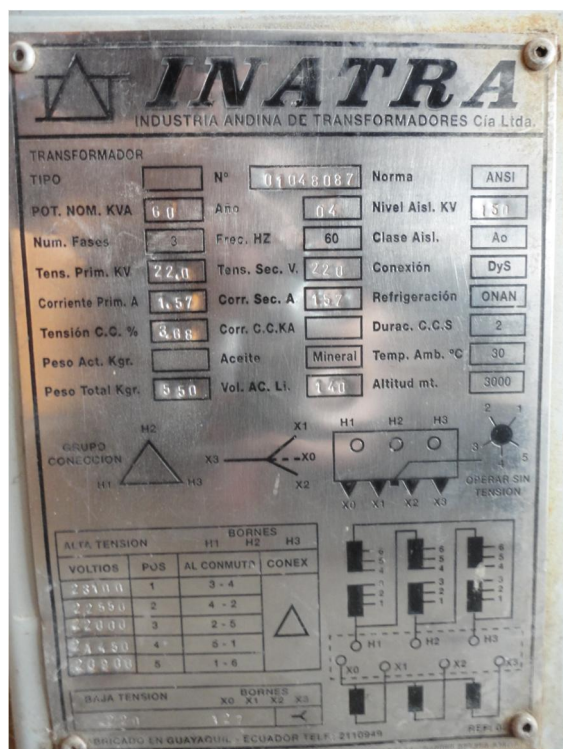
Alta tensión bornes h1, h2, h3			
voltios	Posición	Al conmutador	conexión
23100	1	3-4	TRIANGULO
22550	2	4-2	
22000	3	2-5	
23450	4	5-1	
20800	5	1-6	

Baja Tension X0,X1,X2,X3	
220-----	ESTRELLA
127	

Placas del transformador 2. (UPS)



Su placa es:



Interpretación.

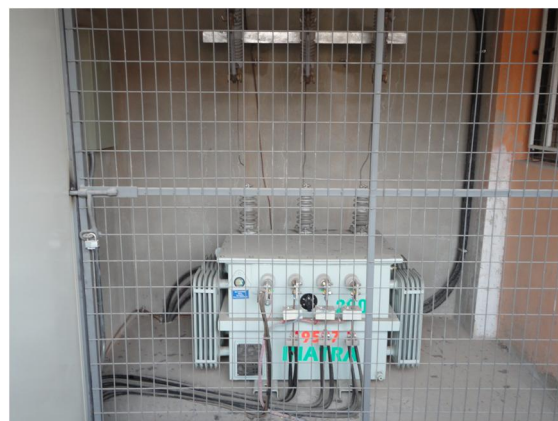
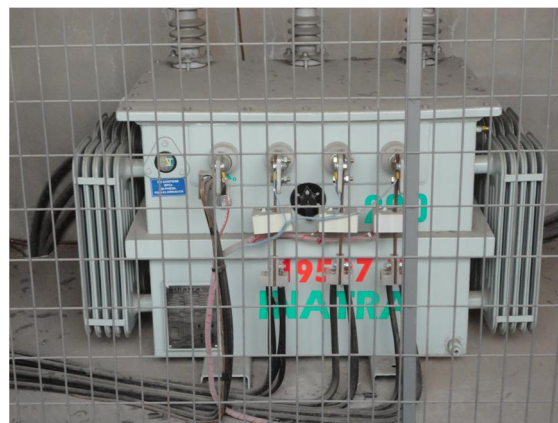
- potencia nominal----→ 60KVA
- numero de fases----→3
- tensión primaria----→22KV
- tensión secundaria----→220V
- corriente primaria--→1,57A
- corriente secundaria--→ 157A

Alta tensión bornes h1, h2, h3			
voltios	Posición	Al conmutador	conexión
23100	1	3-4	TRIANGULO
22550	2	4-2	
22000	3	2-5	
23450	4	5-1	

20900	5	1-6	
-------	---	-----	--

Baja Tension X0,X1,X2,X3	
220-----127	ESTRELLA

Transformador 3. (sin acceso a la visualización de la placa, UPS)



Transformador 4. (Sin acceso a la visualización de la placa, CC Bartolomé Serrano/Azogues)



Transformador5: UPS ubicado en el taller de matriceria



Su placa es la que se presenta a continuación:



Norma: IEC - ASA
 Marca: Alsthom-Unelec
 Tipo: T X H N
 Fabricado en: Francia
 Año: 1981
 Potencia: 90 KVA
 Nivel de aislamiento: 1L15 kV
 Diagrama vectorial: Dyn5
 Peso total: 431 Kg
 Impedancia en voltios: 3.4%
 Nivel de aceite: 101 Kg

Voltajes en el Primario:

1	13660 V
2	13630 V
3	13200 V
4	12670 V
5	12540 V
Corriente	3.94 A

Voltaje en el secundario:

3	220 V
Corriente	236.2 A

Relé de Buchholz

En el campo de la distribución y transmisión de la energía eléctrica, el relé de Buchholz, también llamado relé a gas o relé de presión repentina, es un dispositivo de seguridad montado sobre algunos transformadores y reactores que tengan una refrigeración mediante aceite, equipado con una reserva superior llamada "conservador". El relé de Buchholz es usado como un dispositivo de protección sensible al efecto de fallas dieléctricas dentro del equipo.

El relé tiene dos formas de detección. En caso de una pequeña sobrecarga, el gas producido por la combustión de gas suministrado se acumula en la parte de arriba del relé y fuerza al nivel de aceite a que baje. Un switch flotante en el relé es usado para disparar una señal de alarma. Este mismo switch también opera cuando el nivel de aceite es bajo, como en el caso de una pequeña fuga del refrigerante.



En caso de producirse un arco, la acumulación de gas es repentina, y el aceite fluye rápidamente dentro del conservador. Este flujo de aceite opera sobre el switch adjunto a una veleta ubicada en la trayectoria del aceite en movimiento. Este switch normalmente activa un circuito interruptor automático que aísla el aparato antes de que la falla cause un daño adicional.

El relé de Buchholz tiene una compuerta de pruebas, que permite que el gas acumulado sea retirado para realizar ensayos. Si se encuentra gas inflamable en el relé es señal de que existieron fallas internas tales como sobre temperatura o producción de arco interno.

En caso de que se encuentre aire, significa que el nivel de aceite es bajo, o bien que existe una pequeña pérdida.

Los relés de Buchholz han sido aplicados a lo largo de la historia en la fabricación de grandes transformadores desde la década del 40'. Este dispositivo fue desarrollado por Max Buchholz (1875-1956) en 1921.

III. CONCLUSION

En conclusión se puede decir que el tema documento nos ayudo de gran manera a conocer el tema de los transformadores trifásicos y por ende en el de máquinas eléctricas con mayor profundidad, sobre toda la parte del trabajo de campo, con estos conocimientos que son vanos si nos ponemos a tomar en cuenta la importancia de los transformadores en todas sus aplicaciones y sobre todo al conocer su construcción, conexiones, podemos conocer por se eligen de acuerdo al trabajo que van a realizar.

IV. BIBLIOGRAFIA

<http://es.wikipedia.org/wiki/Transformador>

http://www.asifunciona.com/tablas/transformadores/simb_transf.htm

<http://www.nichese.com/trans-auto.html>

http://patricioconcha.ubb.cl/transformadores/pagina_n1.htm

Stephen J. Chapman, Fundamentos de circuitos eléctricos. 4th_Edition