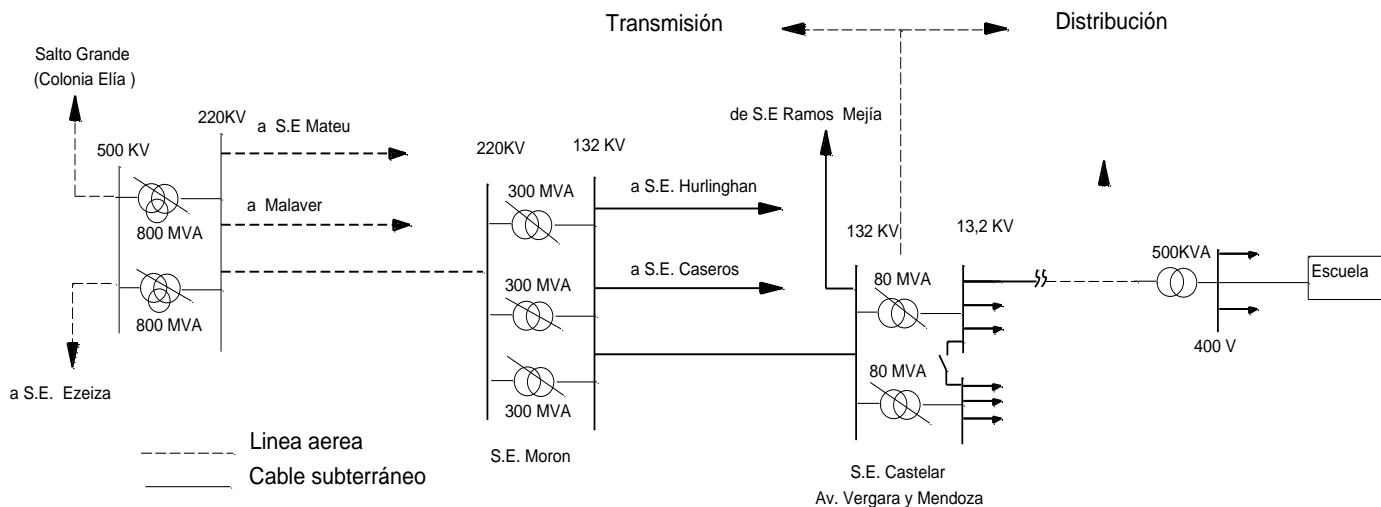


Transformador

El transformador es una máquina eléctrica que se emplea para variar la tensión de transmisión o distribución con el objetivo de aumentar la eficiencia de la red eléctrica. Según se ve en el gráfico, existe esta máquina en toda la cadena de Transmisión y Distribución, lo cual hace de ella una máquina insustituible. En este apunte se explicará la característica más importante de esta máquina. Los aspectos teóricos se explicarán en el apunte “Transformadores”, que se verá en el segundo cuatrimestre.



Placa de un transformador

La observación de una placa de un transformador revela los siguientes datos:

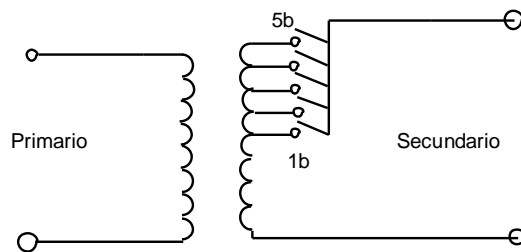
- 1) Potencia aparente: Se expresa en Kva. La potencia es un numero complejo, y expresa la suma de la potencia activa más la reactiva.
- 2) Ucc% (tensión de corto circuito): es el porcentaje de la tensión nominal, con que debe alimentarse, para que circule la corriente nominal, estando el secundario en corto circuito
- 3) Po (Pérdida en vacío): Son la pérdida que consumen el transformador estando en secundario abierto, la pérdida se mide en Watt.
- 4) Pcc (perdidas en cortocircuito): Ídem al anterior, pero el secundario está cortocircuitado.
- 5) Dimensiones: se indica el alto, el largo y la profundidad en mm.
- 6) Masa total en Kilogramos.
- 7) Masa del aceite refrigerante (Kg)
- 8) Distancia de la trocha
- 9) Corriente primaria en ampere.
- 10) Corriente secundaria en Amper.
- 11) Relación de transformación. Ejemplo: $13200 \pm 2 \times 2,5\% / 400/231V$
- 12) Grupo de conexión. Ejemplo DY11

Regulación de tensión

Si varios transformadores están conectados en el mismo cable alimentador (llamados distribuidor), existirá grandes distancias, desde el interruptor de cabecera, hasta el último transformador, por lo tanto, las tensiones suministradas por ellos serán distintas: altas al principio del distribuidor y bajas al final. Para salvar estas desventajas y que el servicio de tensión sea adecuado para todas las cargas, el transformador dispone de un ajuste de tensión en las tomas (Taps). Como principio, el regulador se coloca en el lado donde circula menos corriente, por lo tanto, en los transformadores de distribución se instala en el arrollamiento primario y en el transformador de transmisión, del lado del arrollamiento secundario. En el 1º caso se debe operar el regulador con el transformador fuera de servicio; generalmente los tap's son de +/- 2,5 y 5%.

La variación de la tensión se consigue variando la relación de transformación en los transformadores.

$$\text{Relación de Transformación } a = \frac{V1}{V2} = \frac{N1}{N2}$$

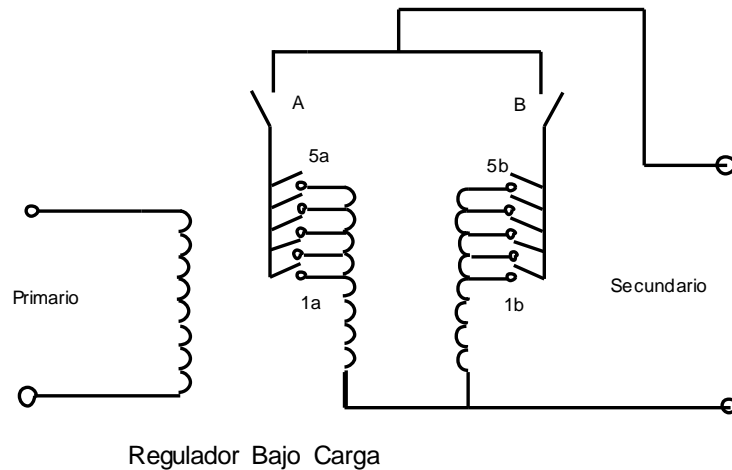


Transformador con derivación

El voltaje se puede variar, si el transformador cuenta con varias tomas de derivación en el devanado secundario, como muestra la figura, de manera que se puede cambiar a voluntad la relación de vueltas. Cuando el brazo móvil hace contacto con el punto 1b, el voltaje secundario tiene el valor mínimo, y un valor máximo cuando el contacto móvil está en contacto con el punto 5b.

Este tipo simple de operación solo se puede variar si se hace sin carga; porque si se lo hace en carga, el brazo móvil en el momento que deja de hacer contacto formará un arco eléctrico.

Para tal fin está previsto variar el número de vueltas hasta un porcentaje $\pm 5\%$. Este método es válido para transformadores de media tensión. En los sistemas de alta tensión, los cambios deben hacerse sin interrumpir el suministro. En el siguiente esquema se muestra un transformador con **un regulador bajo carga**.



El regulador bajo carga es un dispositivo que permite el cambio de las derivaciones con carga según se muestra en la figura. El secundario está compuesto de dos devanados iguales en paralelo, y cada mitad posee derivaciones similares 1a ...5a y 1b.....5b ($\pm 5\%$). La operación es la siguiente: suponemos que se debe incrementar la tensión; inicialmente, los interruptores A y B están cerrados, cuando los interruptores 1a y 1b están cerrados, el voltaje secundario tiene el menor valor. Para aumentar el voltaje secundario, se abre el interruptor 1a y durante un tiempo corto el devanado b toma toda la corriente; después se cierra el interruptor 2a y se divide automáticamente la corriente, de manera ligeramente desigual, entre los dos devanados; después se abre el interruptor 1b y el devanado a toma la corriente; finalmente, se cierre el interruptor 2b y la corriente se distribuye equitativamente entre los devanados.

Operación económica de los transformadores

Las pérdidas en los transformadores se dividen en pérdidas en los devanados, debido al efecto Joule y perdidas en el hierro, por corrientes parasitas e histéresis en el núcleo. Ambas tipas de perdidas producen calentamiento que elevan la temperatura de los devanados y este calor pasa al aceite aislante, y del aceite al tanque y finalmente al medio ambiente que lo rodea. La cantidad total del calor generado y la eficiencia para disipar una determinada temperatura final del devanado determina una temperatura final juntamente con el ciclo de carga del transformador, determinan la carga que puede operar un transformador sin dañar excesivamente sus aislantes. Para aumentar la eficiencia en la disipación del calor, se usan: radiadores de enfriamiento, que amplían el área de la superficie de disipación. En otros casos necesarios se instalan ventiladores cerca de los radiadores de manera que el aire circulante aumenta la capacidad de transferencia de calor. Existe transformadores donde se hace circular aceite en forma forzada, que transmite el calor de los devanados del interior a la superficie del tanque en forma mucho más rápida.

Si el transformador está diseñado para entregar su potencia en forma constante y así garantizar un tiempo de vida útil. Cuanto mayor es el grado de sobrecarga, mayor es el deterioro de los aislante y menor es su vida útil. Aun así, un transformador se proyecta para que pueda ser sobrecargado durante un tiempo.

La temperatura para transformadores sumergidos en aceite es usualmente 55°C por encima de la temperatura ambiente, (la temperatura ambiente se toma como 30°C).

La capacidad de carga de un transformador está determinada por el CICLO de CARGA y por las características del transformador. Por ejemplo, si un transformador alimenta a una Industria, éste dependerá del ciclo de carga variable de la demanda.

Para hallar el ciclo de carga diaria REAL a un ciclo de carga EQUIVALENTE, se plantea la fórmula:

$$r.m.s = \sqrt{\frac{C_1^2 \cdot T_1 + C_2^2 \cdot T_2 + \dots + C_n^2 \cdot T_n}{T_1 + T_2 + \dots + T_n}}$$

C= Valor de la carga; T= tiempo en que se presenta la carga; rms= valor medio cuadrático

Ejemplo: Hallar el factor de carga, las pérdidas magnéticas, las pérdidas en el cobre y la eficiencia diaria, para el siguiente ciclo de carga de un transformador.

- Datos del transformador: S= 260 KVA
- Ciclo de carga:
 - 260 KVA, durante 8 hs
 - 80 KVA, durante 8 hs
 - 40 KVA, durante 8 hs.
- Pérdidas en el núcleo: 2 KW
- Pérdidas en el cobre a plena carga: 3,5 KW

1) Carga promedio diaria

$$\frac{C_1.T_1 + C_2.T_2 + C_3.T_3 + \dots + C_n.T_n}{T_1 + T_2 + T_3 + \dots + T_n} = \frac{260.8 + 80.8 + 40.8}{24} = 126,66 \text{ Kw}$$

$$\text{Factor de carga } F_c = \frac{\text{Carga promedio diario}}{\text{Demanda maxima}} = \frac{126,66}{260} = 0,487$$

2) Pérdidas diarias

- Pérdidas en el núcleo = 2KW .24 hs.
- Pérdidas en el cobre a 260 KVA = 3,5 x 8 =28 KWh
- Pérdidas en cobre a 80 KVA= $\left(\frac{80}{260}\right)^2 \cdot 3,5 \cdot 8 = 2,65 \text{ KWh}$
- Pérdidas en cobre a 40 KVA= $\left(\frac{40}{260}\right)^2 \cdot 3,5 \cdot 8 = 0,662 \text{ KWh}$
- Pérdidas de cobre = 31,312 KWh
- Pérdidas en el Hierro = 48 KWh

$$\text{Pérdidas Total} = 79,312 \text{ KWh}$$

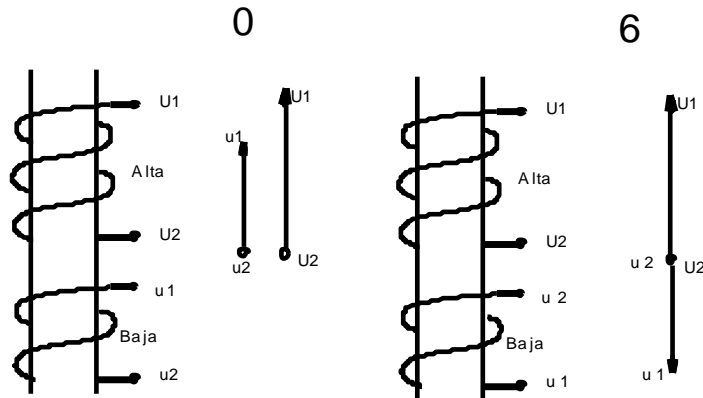
$$\text{Energía entregada diaria} = (260 \cdot 0,8 \cdot 8) + (80 \cdot 0,8 \cdot 8) + (40 \cdot 0,8 \cdot 8) = 2.496 \text{ KWh}$$

$$\text{Eficiencia diaria} = \frac{\text{Energía} - \text{Perididas}}{\text{Energía}} = \frac{2496 - 79,312}{2496} = 0,969 \text{ o } 96,9\%$$

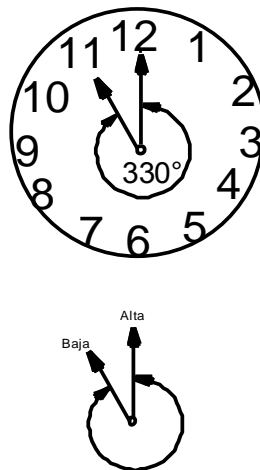
Grupo de Conexión

En los transformadores trifásicos es necesario conocer el ángulo de desfase de las f.e.m. de los devanados de alta y baja tensión. Este ángulo se entiende como el ángulo entre las f.e.m.s de los devanados de A.T. y de B.T. medidos en *términos homónimos*; por ejemplo, entre las f.e.m. del devanado de A.T. entre los terminales A y B y las f.e.m del devanado de B.T. en los terminales a y b.

En los Transformadores monofásicos el ángulo entre las f.e.m. de A.T. y de B.T. pueden ser de 0° o de 180° . La f.e.m entre los devanados de A.T. y B.T. de los

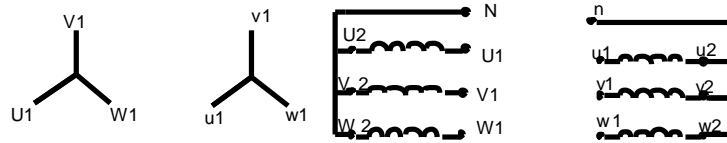


En los transformadores trifásicos pueden estar desviados un ángulo de 30° . Esto último se puede expresar como el N.º de divisiones de un cuadrante de un reloj (el ángulo entre dos divisiones adyacentes es de 30°).

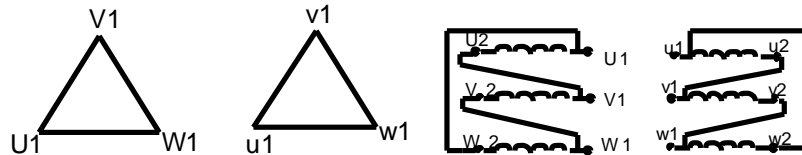


Conexión de transformadores trifásicos

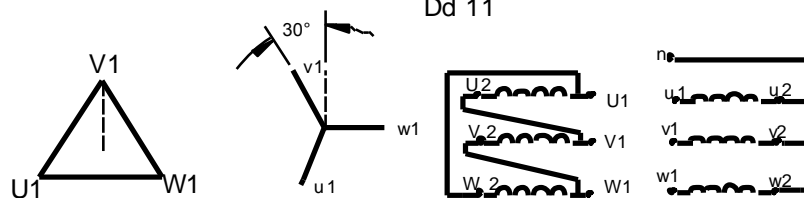
Yy0



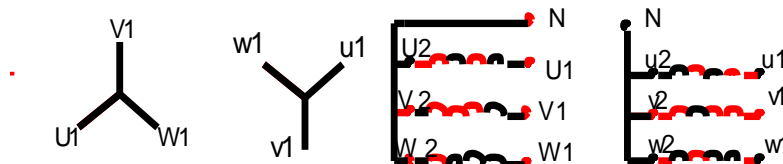
Dd0



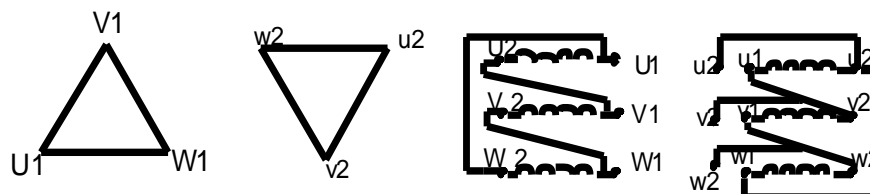
Dd 11



Yy6



Dd6

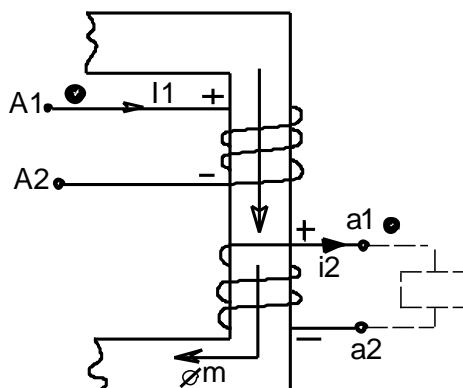


Marcas de polaridad

1° Método:

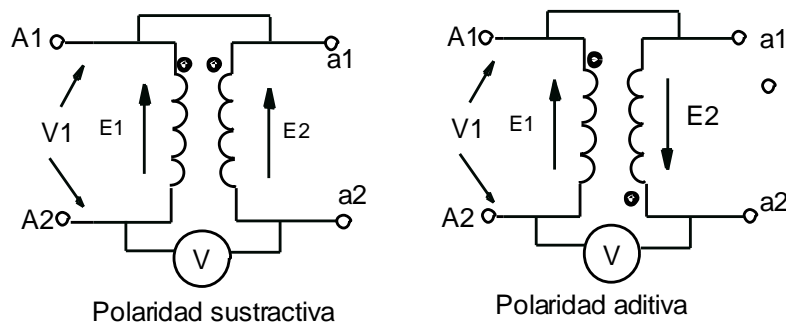
En el instante en que la corriente **I1** entra por el extremo superior de la bobina de arriba, da lugar a una f.m.m. dirigida hacia abajo. Conforme a la ley de Lenz, en el mismo momento la corriente secundaria **i2**, deberá circular en un sentido tal que produzca una f.e.m. que se oponga a la primera; es decir, deberá salir por el extremo superior de la bobina de abajo. Transformador

Ambas f.m.m. no se contrarrestan por completo, existiendo una resultante dirigida hacia abajo y, por lo tanto, también un flujo hacia abajo. En los transformadores de dos arrollamientos es conveniente elegir, como sentidos positivos de referencia para las intensidades, las mostradas en la figura. Esto indica que la i_2 positiva magnetiza al núcleo en sentido inverso que la I_1 positiva. Para lo cual los terminales **A1** y **a1** podrán marcarse con puntos.



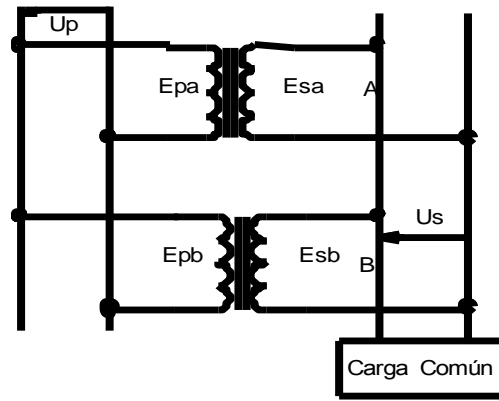
2º Método

Otro procedimiento consiste en conectar dos terminales contiguas, de alta y baja tensión, como se indica en la figura a y b. Se debe intercalar un voltímetro V entre los otros y terminales restantes y aplicar una tensión alterna V_1 en el arrollamiento primario. Si la indicación del voltímetro es $V = V_1 - V_2$, se dice que la polaridad es **sustractiva** y las indicaciones A1, A2, a1 y a2 se aplica a los terminales según muestra la figura (a). Pero si $V = V_1 + V_2$, se dice que la polaridad es **aditiva**, y las indicaciones se aplican entonces como lo indica la figura (b).



Paralelo de transformadores monofásicos

La demanda de los sistemas de energía eléctrica crece incesantemente, por ello, frecuentemente es necesario aumentar la capacidad de los transformadores de alimentación. Antes de sustituir una unidad en servicio por otra de mayor potencia, resulta más económico proveer un transformador adicional y conectarlo en paralelo con el ya existente.



Se dice que dos arrollamientos monofásicos están en paralelo cuando sus arrollamientos primarios se encuentran conectados a la misma fuente y sus arrollamientos secundarios se encuentran conectados a la misma carga. En la figura se muestra el diagrama del circuito de dos transformadores, trabajando en paralelo.

Se observa que

$$U_p = E_{pa} = E_{pb}$$

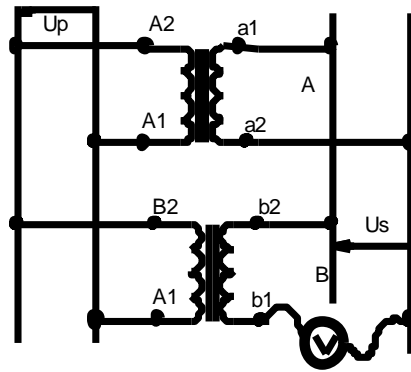
$$U_s = E_{sa} = E_{sb}$$

Si dividimos las ecuaciones, se tienen:

$$\frac{U_p}{U_s} = \frac{E_{pa}}{E_{sa}} = \frac{E_{pb}}{E_{sb}} = \frac{N_p}{N_s}$$

Se demuestra que la relación de transformación en ambos transformadores debe ser la misma. En caso contrario entre ambos transformadores circulará una corriente para igualar las tensiones de cada malla. En la práctica los transformadores no son idénticos, de modo que existirá una pequeña corriente de equilibrio. Pero sin embargo las máquinas pueden funcionar satisfactoriamente siempre que se cumplan las condiciones principales:

- a) La polaridad de los transformadores debe ser iguales.
- b) La relación de transformación de los transformadores debe ser iguales.
- c) Las diferencias de potencial a plena carga, debida a las impedancias internas deberían ser iguales. En esta condición se asegura el reparto de cargas entre las unidades este de acuerdo con las capacidades nominales.
- d) La relación entre sus resistencias y reactancias de los arrollamientos deberían ser iguales para ambas unidades. Esta condición asegura que ambos transformadores funcionan con el mismo factor de potencia y reparten su potencia activa y reactiva de acuerdo con su capacidad nominal.

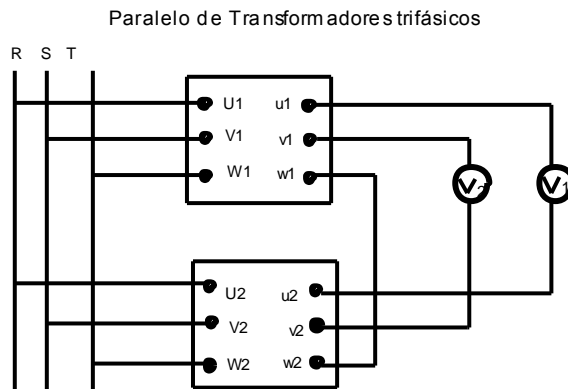


Si estas condiciones se dan, y la marca de los puntos es la correcta, conviene conectar un voltímetro, entre el terminal y la barra, según la figura. Si el voltímetro marca cero, ello significa que los terminales de igual polaridad están unidos correctamente, a contracción se elimina el voltímetro y se conecta el terminal a la barra. Si las polaridades fueran distintas, la lectura del voltímetro sería el doble de la tensión del secundario del transformador, o sea: $2 \times U_s$

Transformador trifásico en paralelo

En este caso, a las condiciones estipuladas para la puesta en paralelo de transformadores monofásicos, debe agregarse otra condición; para conectar transformadores trifásicos en paralelo, los mismo deben tener al *mismo grupo de conexión*.

La puesta en paralelo de dos transformadores trifásicos se realiza conectando primero los primarios a la red de alimentación común y probando la secuencia de fases del secundario midiendo la secuencia de fases. Si la secuencia es la misma para ambos, el circuito secundario se conecta como indica la figura.



Si las condiciones esenciales son satisfechas los voltímetros V1 y V2 deben marcar cero. En este caso los instrumentos se desconectan y se completan las conexiones secundarias.

Regulación

Si varios transformadores están conectados en el mismo alimentador, existe entre ellos distancias diferentes uno de otro, por lo tanto, las tensiones serán diferentes uno de otro. Las tensiones serán altas al principio y bajas al final de éste. Para salvar esta desventaja y mantener el servicio de tensión adecuado para todas las cargas, el transformador dispone de un ajuste de tensión en su toma de alta tensión (TAPS), esto se colocan sobre un

arrollamiento primario. Los Taps van colocados en el arrollamiento primario y deben conmutarse con el transformador fuera de servicio. Los porcentajes de regulación generalmente son de $\pm 2,5\%$ y $\pm 5\%$.

CUESTIONARIO

1. Hallar la Intensidad primaria (I_p) y la Intensidad (I_s) en ampere, para un transformador de 500 KVA de 13,2/0,4/0,231 KV.
2. ¿Qué significa refrigeración ONAN? como funciona
3. ¿Qué ventajas presenta la conexión Δ/Y 11?
4. ¿Cuáles son las condiciones necesarias para conectar transformadores funcionen en paralelo?
5. ¿Por qué se hace la regulación en el primario y con el transformador desconectado?
6. ¿Un transformador funcionando en vacío produce algún tipo de perdidas? Explíquela.
7. ¿Cómo funciona un indicador de secuencia (Secuenciometro)?
8. Explique Ventajas y desventajas de las conexiones Estrella y Triángulo
9. Explique algún método para indicar la polaridad en un transformador monofásico.
10. Dibuje el esquema de conexión de un transformador Y/y-0
11. Dibuje el esquema de conexiones de un transformador Δ/y -11
12. ¿Por qué se hace la regulación de tensión del lado primario? ¿Es necesario desconectar el transformador mientras se hace la conmutación?
13. Diseñar una llave conmutadora, para regular la tensión del lado primario.