



**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE PUEBLA**

FACULTAD DE INGENIERÍA

INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

COSTO-BENEFICIO DE UTILIZAR EL
CAMBIADOR DE DERIVACIONES BAJO
CARGA EN TRANSFORMADORES DE POTENCIA

T E S I N A

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO MECANICO Y ELECTRICO

PRESENTA:
JAZIEL IVAN CASTRO ONOFRE

ASESOR:
M.I. GENARO CAMPOS CASTILLO

FEBRERO 2014

INDICE

	PAG
CAPITULO I EL TRANSFORMADOR Y SUS PARTES	
1.1. Breve historia del transformador	1
1.2. El transformador de potencia	2
1.3. Clasificación de los transformadores	2
1.3.1. Operación	2
1.3.2. Utilización	4
1.3.3. Numero de fases	5
1.3.4. Numero de devanados	5
1.3.5 Conexiones	5
a) Conexión Estrella-Estrella	5
b) Conexión Delta-Delta	7
c) Conexión Delta-Estrella	8
d) Conexión Estrella-Delta	8
e) Conexión Zig-Zag	9
f) Auto transformador	10
1.4 Tipos de núcleo	11
1.4.1. Tipo Acorazado	11
1.4.2 Tipo Columna	11
1.5. Accesorios del transformador	12
1.5.1. Relevador de flujo	13
1.5.2 Relevador Buchholz	13
1.5.3 Relevador de sobrepresión	14
1.5.4 Relevador de presión súbita	14
1.5.5 Boquillas	15
1.5.6 Gabinete de control	16
1.5.7 Tanque conservador	16
1.5.8 Sistemas de preservación de aceite	17
1.5.9 Indicadores de nivel de aceite	18
1.5.10 Ventiladores	18
1.5.11 Bombas e indicadores de flujo	18
1.5.12 Radiadores	19
1.5.13 Cambiadores de derivaciones	19
a) Cambiador de derivaciones sin carga	
b) Cambiador de derivaciones con carga	

CAPÍTULO 2 CAMBIADOR DE DERIVACIONES BAJO CARGA TIPO RESISTENCIA.

2.1. Breve historia del cambiador de derivaciones	22
2.2. Que es un cambiador de derivaciones	22
2.3. Tomas de regulación	24
2.4. Tipos instalación del cambiadores de derivaciones	26
2.4.1. Tipo compartimento	26
2.4.2. Tipo dentro del tanque	26
2.5. Tipos de cambiadores de derivaciones bajo carga	27
2.5.1. Cambiador de derivaciones bajo carga tipo resistivo	27
2.5.2. Cambiador de derivaciones tipo reactivo	27
2.6. Principio de conmutación del cambiador de derivaciones bajo carga	28
2.7. Secuencia de conmutación de un cambiador de derivaciones bajo carga	29
2.8. Secuencia de selección de derivaciones	32
2.9. Proceso completo de conmutación y selección de derivación bajo carga tipo resistencias	34
2.10 Proceso de conmutación y selección de derivación tipo reactor	35
2.11. Partes principales de un cambiador de derivaciones bajo carga	36
2.11.1 Tuberías de conexión	36
• Conexión R	
• Conexión S	
• Conexión Q	
• Conexión E2	
2.12. Indicador de posiciones	37
2.13. Relevador de protección RS2001	38
2.14. Cuerpo insertable	39
2.15. Compartimento de aceite	40
2.16. Contactos de conexión de salida	40
2.17. Selector de derivaciones	41
2.18. Preselector inversor y preselector para paso grueso/fino	42
2.19. Aceite aislante del cambiador de derivaciones bajo carga	43
2.20. Principales características del cambiador de derivaciones bajo carga	43
2.20.1. Designación del cambiador de derivaciones bajo carga	43

2.20.2. Corriente de paso, voltaje y capacidad de paso	45
2.20.3. Arreglos básicos de devanados de regulación	46

CAPITULO 3 CAMBIADOR DE DERIVACIONES BAJO CARGA CON INTERRUPTORES DE VACÍO.

3.1. Componentes principales de un cambiador de derivaciones con interruptores en vacio	49
3.1.1 Selector de carga	49
3.1.2 Interruptor de retardo avanzado (ARS)	49
3.1.3 Terminales de conexiones de salida del cambiador de derivaciones conmutación en vacio	50
3.1.4 Cuerpo insertable	51
3.2 Fundamentos de la tecnología de conmutación en vacio	52
3.3 Cambiador de derivaciones en vacio tipo resistivo	52
3.4 Cambiador de derivaciones en vacio tipo reactivo	54
3.5 Selección de un cambiador de derivaciones	56
3.6 Desventajas del cambiador de derivaciones (Interrupción en aceite)	57
3.6.1 Desgaste eléctrico de contactos se reduce al mínimo.	58
3.6.2 Desgaste del aceite dieléctrico de contactos se reduce al mínimo.	58
3.7 Ventajas del cambiador de derivaciones (Interrupción en vacio)	58
3.8 Tecnologías	60
3.8.1 Tecnología anterior:	60
3.8.2 Tecnología actual:	60
3.9 El cambiador de derivaciones como parte importante de la economía	60
3.10 Ventajas económicas adicionales:	63
3.11 Inspecciones rutinarias:	63
3.12 Costos de dispositivos para regulación de voltaje	63
Conclusiones	65
Bibliografía	66

CAPITULO I EL TRANSFORMADOR Y SUS PARTES

1.1 Breve historia del transformador

La invención del transformador, data del año de 1884 para ser aplicado en los sistemas de transmisión que en esa época eran de corriente directa y presentaban limitaciones técnicas y económicas. El primer sistema comercial de corriente alterna con fines de distribución de la energía eléctrica que usaba transformadores se puso en operación en 1886 en Great Barington, Massachussets, en los Estados Unidos de América. En ese mismo año, la electricidad se transmitió a 2000 voltios en corriente alterna a una distancia de 30 kilómetros, en una línea construida en Cerchi, Italia. A partir de estas pequeñas aplicaciones iniciales, la industria eléctrica en el mundo, ha recorrido de tal forma, que en la actualidad es factor de desarrollo mundial, formando parte importante en esta industria el transformador.

El transformador es una aplicación, entre tantas, derivada de la inicial bobina de Ruhmkorff o carrete de Ruhmkorff, que consistía en dos bobinas concéntricas. A una bobina, llamada primario, se le aplicaba una corriente continua proveniente de una batería, conmutada por medio de un ruptor movido por el magnetismo generado en un núcleo de hierro central por la propia energía de la batería. El campo magnético así creado variaba al compás de las interrupciones, y en el otro bobinado, llamado secundario y con mucho más espiras, se inducía una corriente de escaso valor pero con una fuerza eléctrica capaz de saltar entre las puntas de un chispometro conectado a sus extremos.

Esta particularidad tiene su utilidad para el transporte de energía eléctrica a larga distancia, al poder efectuarse el transporte a altas tensiones y pequeñas intensidades y por tanto con pequeñas pérdidas. El transformador ha hecho posible la distribución de energía eléctrica a todos los lugares necesarios. Si no fuera por el transformador tendría que acortarse la distancia que separa a los generadores de electricidad de los consumidores. El transformador lo encontramos en muchos lugares, en las lámparas de bajo consumo, cargadores de pilas, vehículos, en sótanos de edificios, en las centrales

eléctricas que pueden variar desde muy pequeños a enormes transformadores que pueden pesar más de 500 kilogramos.

1.2 El transformador de potencia

Un transformador es una maquina eléctrica estática que por medio de inducción electromagnética transforma potencia eléctrica a valores diferentes de tensión y corriente sin variación de la frecuencia. Siendo estos más altos o más bajos, con una relación inversamente proporcional entre la tensión y corriente, pero por ley de la conservación de la energía manteniendo igual la potencia suministrada a la de salida con solo una mínima variación de eficiencia.

La función de un transformador de potencia es suministrar la energía en el momento, lugar y condiciones deseadas, función que realiza muy bien año tras año requiriendo muy poca atención y con un rendimiento frecuentemente superior al 99.5%.

El transformador de potencia consta de dos o más bobinados de alambre conductor enrollados alrededor de un núcleo ferromagnético común. Uno de los devanados del transformador se conecta a una fuente de energía eléctrica alterna (devanado primario) y el segundo (y quizás el tercero) suministra energía eléctrica a las cargas (devanado secundario o devanado de salida). Si hay un tercer devanado a este se le denominará devanado terciario.

1.3 Clasificación de los transformadores

Considerando la versatilidad de los transformadores, podemos clasificar estos, tomando en cuenta diversos factores que a continuación se describen.

1.3.1 Operación

Se refiere a la energía que manejan dentro del sistema eléctrico y se clasifican en:

- **Transformadores de distribución**

Los que tienen la capacidad desde 3KVA y voltajes hasta 34kv.

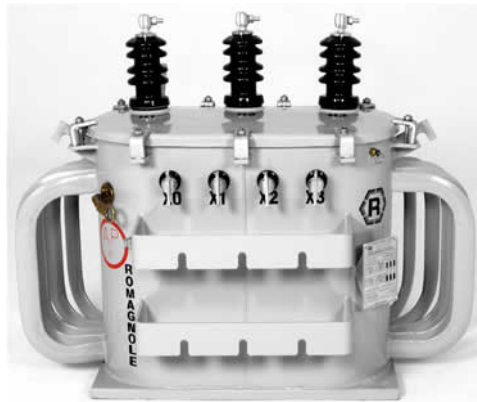


Fig. 1.1 Transformador de distribución.

- **Transformadores de potencia**

Los que tienen capacidad superior a 500 KVA y voltajes hasta 800 kV.



Fig. 1.2 Transformador de potencia

1.3.2 Utilización

De acuerdo con la ubicación que ocupan dentro del sistema eléctrico, tenemos los siguientes:

- **Transformadores para generador**

Son transformadores de potencia que van conectados a la salida del generador elevando el voltaje producido por este para transmitir la energía a través de las líneas de transmisión.

- **Transformadores de subestación**

Son transformadores de potencia que se conectan en diferentes puntos de las líneas de transmisión para reducir el voltaje a niveles requeridos por la red eléctrica (subtransmisión).

- **Transformador de distribución**

Es un dispositivo que de acuerdo a su relación de transformación modifica los parámetros eléctricos, voltaje y corriente operando como reductores.

Estos reducen el voltaje de media tensión a valores utilizables en zonas de consumo comercial y domestico.

- **Transformadores especiales**

Son transformadores de potencia o de distribución diseñados para aplicaciones como su nombre lo indica “especiales”, estos pueden ser

- Transformadores para rectificador
- Transformadores para horno de arco eléctrico o inducción
- Transformadores desfasadores
- Transformadores para industria minera
- Transformadores para pruebas
- Auto transformadores
- Reguladores de voltaje
- Reactores limitadores de corriente

1.3.3 Por el número de fases

Dependiendo de las características del sistema al que se conectaran, pueden ser:

- **Monofásicos**

Transformadores de potencia o de distribución que son conectados a una línea o fase y a un neutro o tierra. Tienen un solo devanado de alta tensión y uno de baja tensión y se representa por el símbolo $1\emptyset$.

- **Trifásicos**

Transformadores de potencia o de distribución que son conectados a tres líneas o fases y pueden estar o no conectados a un neutro o tierra común. Tienen tres devanados de alta tensión y tres devanados de baja tensión. Se representan por el símbolo $3\emptyset$.

1.3.4 Número de devanados

- Un devanado (auto transformador)
- Dos devanados (transformador)
- Tres devanados

1.3.5 Conexiones

a) Conexión Estrella-Estrella

Los devanados del primario y secundario están conectados en estrella. Una de sus características es que la tensión de línea es 1.73 veces mayor que la tensión de fase. La única aplicación práctica es cuando se conecta a líneas de alta tensión.

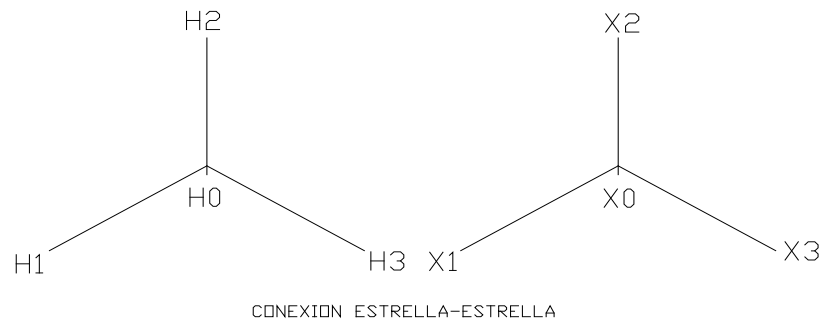


Fig. 1.3 Conexión Estrella-Estrella

Ventajas:

- ✓ Mayor utilización del cobre (vueltas mínimas)
- ✓ Aislamiento mínimo
- ✓ Conexión más económica para pequeñas cargas de alto voltaje.
- ✓ Ambos neutros accesibles para aterrizamiento, o para formar un sistema balanceado de cuatro hilos.
- ✓ La capacidad entre vueltas es relativamente alta, por lo tanto, la severidad del esfuerzo dieléctrico debido a transitorios de voltaje es atenuada.
- ✓ Si una fase resulta fallada, es posible utilizar las dos restantes.
- ✓ Bajo condiciones de operación normal, el voltaje máximo a tierra en cada fase es solo $\frac{1}{\sqrt{3}}$ del voltaje de línea, graduándose hasta prácticamente cero en el neutro.

Desventajas:

- ✗ Los neutros son inestables a menos que se aterricen solidamente.
- ✗ Unidades trifásicas de polaridad opuesta no pueden operar en paralelo.
- ✗ La falla de una fase en un sistema trifásico, lo hará inoperante hasta ser reparado.

a) Conexión Delta-Delta

En estos transformadores, los devanados del primario y secundario están conectados en delta, y las tensiones de línea y de fase son iguales. Estos se utilizan en baja tensión y presentan un buen comportamiento frente a desequilibrios en la carga.

Esta conexión se utiliza con frecuencia para sistemas de alumbrado monofásico y simultáneamente cargas trifásicas.

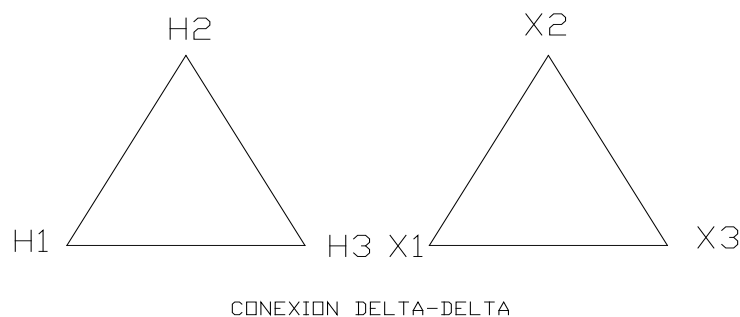


Fig. 1.4 Conexión Delta-Delta

Ventajas:

- ✓ Es la conexión más económica para transformadores de alta corriente y bajo voltaje
- ✓ Los voltajes de terceras armónicas, se eliminan por la circulación de corrientes armónicas a través de la delta.

Desventajas:

- ✗ No se dispone de puntos neutros, a menos que se utilicen aparatos auxiliares.
- ✗ No se puede alimentar un sistema de hilos a menos que se utilicen aparatos auxiliares.
- ✗ El numero de vueltas y la cantidad de aislamiento por fase es máximo.

c) Conexión Delta-Estrella

En esta clase de transformadores, las tres fases del devanado primario están conectadas en delta, mientras que las del devanado del secundario están en estrella.

Se utilizan como transformadores elevadores en las centrales generadoras, ya que al disponer de un neutro en el secundario, que se puede conectar a tierra, se logra que la tensión de las fases se limite a la tensión nominal del sistema.

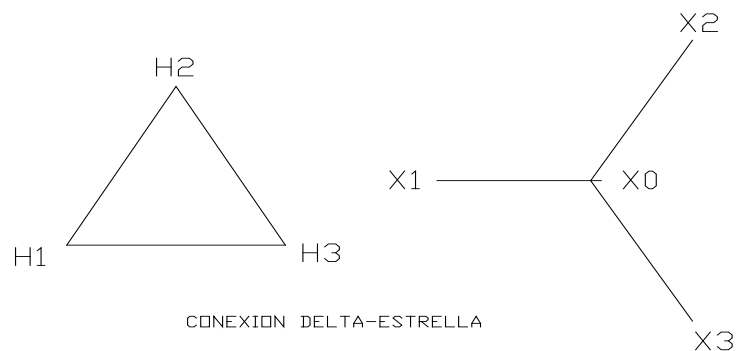


Fig. 1.5 Conexión Delta-Estrella

Ventajas:

- ✓ Voltajes de terceras armónicas se eliminan por la circulación de corriente armónicas en delta del primario.
- ✓ El neutro del secundario puede ser aterrizado o aislado para alimentar un sistema de cuatro hilos.
- ✓ Es posible alimentar un sistema desbalanceado de cuatro hilos y los desbalances en voltaje son relativamente pequeños, siendo proporcional solo a la impedancia de los devanados.

Desventajas:

- ✗ La falla de una fase excluye de servicio al transformador.

d) Conexión Estrella-Delta

En estos transformadores, las tres fases del devanado primario están conectadas en estrella y las del lado secundario en delta. Se utilizan como

transformadores reductores y se conectan al final de una línea de transmisión. Son utilizados con menor frecuencia en sistemas de distribución, debido a que el secundario no tiene neutro. En algunas ocasiones se utiliza para distribución de energía hasta 20KV.

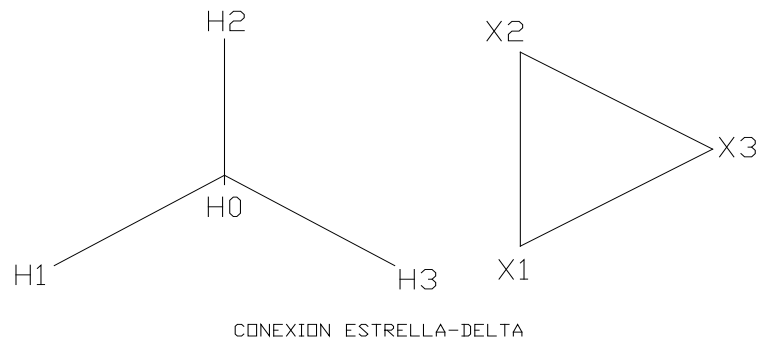


Fig. 1.6 Conexión Estrella-Delta

Ventajas:

- ✓ Voltajes de terceras armónicas se eliminan por la circulación de corrientes de terceras armónicas en la delta del secundario.
- ✓ El neutro del primario se mantiene estable por la delta del secundario, y por lo tanto puede ser aterrizado.
- ✓ La falla de una fase excluye de servicio al transformador.

Desventajas

- ✗ No se dispone de neutro en el secundario, a menos que se utilice un aparato auxiliar.
- ✗ La falla de una fase excluye de servicio al transformador.

e) Conexión Zig-Zag

Esta conexión se construye dividiendo cada fase del devanado secundario en dos secciones colocándolas en las columnas del núcleo

magnético. Las bobinas se devanan en sentido inverso y los finales del devanado se conectan en estrella.

Su aplicación es para transformadores de tierra, se utiliza cuando se desea tener un punto de tierra donde no hay ningún transformador que pueda ser aterrizado.

El transformador de tierra no alimenta ninguna carga, y proporciona corriente solo cuando alguna línea se aterriza por falla.

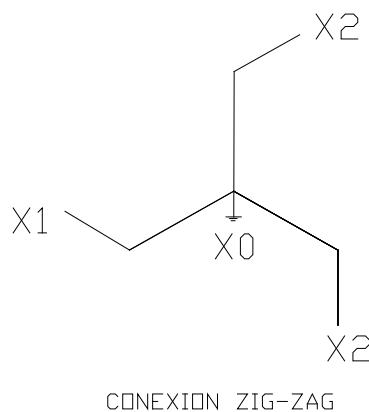


Fig. 1.7 Conexión Zig-Zag

f) Auto transformador.

El autotransformador tiene ventajas cuando la relación de transformación es igual o menor a 2, teniendo en cuenta que debe ser protegido por reactores externos.

Ventajas:

- ✓ Menor costo inicial
- ✓ Menor tamaño y peso para iguales KVA transformados.

Desventajas:

- ✗ Siendo la reactancia entre primario y secundario pequeña, un auto transformador esta dispuesto a fallar ante un corto circuito externo que un transformador de dos devanados independientes.

- × Debido a la continuidad eléctrica entre el primario y el secundario el devanado de bajo voltaje debe diseñarse para soportar sobre tensiones que pueda recibir el devanado de alta tensión.
- × La conexión entre primario y secundario forzosamente debe ser la misma. Esto es estrella-estrella o delta-delta

1.4 Tipo de núcleo.

De acuerdo con la relación que guardan los devanados respecto al núcleo en la construcción del transformador, se tienen dos tipos:

1.4.1 Tipo columnas:

También conocido como tipo “core”. En esta construcción, el núcleo proporciona un solo circuito magnético formado por un yugo superior y dos o tres columnas verticales o piernas para uno o tres fases, respectivamente. Los devanados son ensamblados concéntricamente en cada una de las columnas o piernas del núcleo. De esta manera, el circuito eléctrico envuelve al circuito magnético.

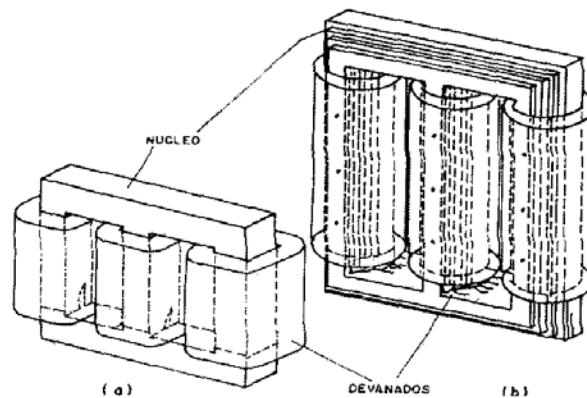


Fig. 1.8 Núcleo tipo columna

1.4.2 Tipo acorazado

Conocido como tipo “shell”. En esta construcción los devanados forman uno o tres anillos, para uno o tres fases respectivamente y el núcleo se

ensambla alrededor de ellos, formando dos o más circuitos magnéticos que envuelven al circuito eléctrico.

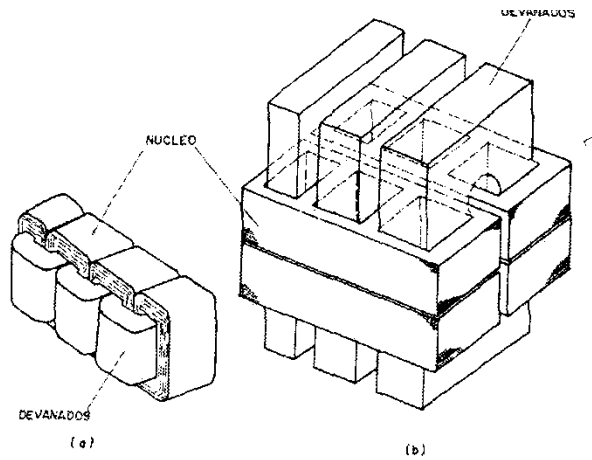
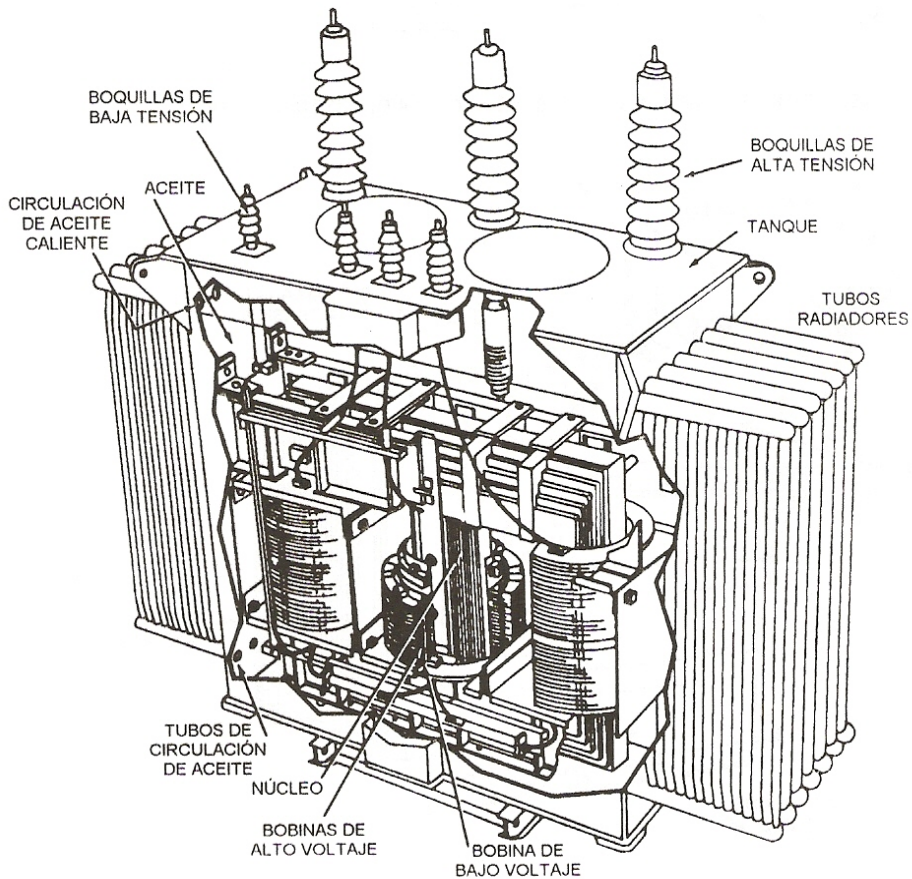


Fig.1.9 Núcleo tipo acorazado

1.5 Accesorios del transformador



PARTES PRINCIPALES DE UN TRANSFORMADOR TRIFÁSICO ENFRIADO POR ACEITE

Fig.1.10 Núcleo tipo acorazado

1.5.1 Relevador de flujo

Generalmente este equipo es confundido con el relevador **buchholz** debido a su apariencia física y al lugar donde se instala, sin embargo, aunque los dos son relevadores de flujo, la diferencia esta en la forma que opera ya que el buchholz opera por flujo de gases o acumulación de gases dentro del transformador, en cambio el relevador de flujo opera por el movimiento brusco de un liquido, en este caso de aceite aislante.

El relevador de flujo se coloca entre el cambiador de derivaciones bajo carga y su tanque conservador. Dicho cambiador esta contenido dentro del transformador en un compartimiento especial y sus aceites no se mezclan.

1.5.2 Relevador Buchholz

Las irregularidades en el funcionamiento de los transformadores dan origen a calentamientos, si dichos calentamientos son del orden de 150 °c o mayores se producirán gases, cuya cantidad y desarrollo dependen de la magnitud de la falla.

El relevador Buchholz es una protección mecánica del transformador colocada intencionalmente en el tubo de conexión que une al tanque conservador con el transformador, con el propósito de acumular los gases que se producen en el interior por la reacción química del aceite en presencia de calor originada por diferentes causas como fallas severas, descargas parciales, sobrecalentamientos excesivos, fallas entre espiras, fallas entre devanados, etc. Estos gases se acumulan en el recipiente hasta que la presión de los gases originados hace descender el nivel del líquido en el relevador y por gravedad se accionen contactos de mercurio que operan relevadores auxiliares o bobinas que disparan, los interruptores que conectan directamente al equipo con el SEP.

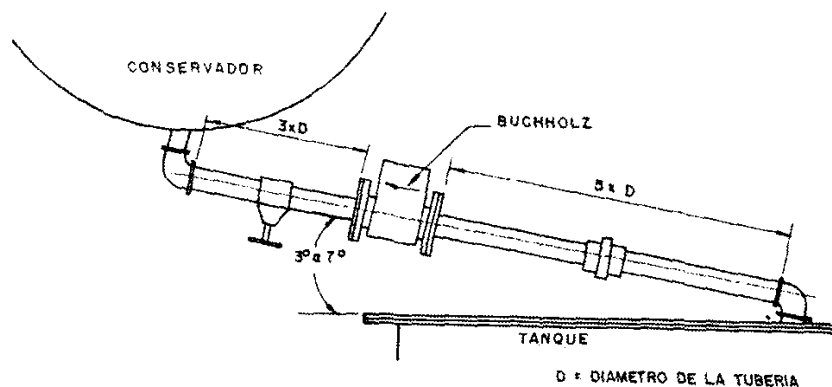


Fig. 1.11 Disposición de un relevador Buchholz en un transformador de potencia

1.5.3 Relevador de sobrepresión

Los dispositivos de sobrepresión protegen al resto de los elementos de un transformador contra los esfuerzos mecánicos, que se producen al elevarse la presión del aceite de un transformador producto de una falla interna, o de la operación anormal de un transformador.

Estos dispositivos se instalan normalmente sobre la tapa o pared lateral de un transformador y pueden ser de dos tipos

- De resorte
- De diafragma

Los dispositivos de sobrepresión de resorte son de reposición automática, es decir cierran nuevamente una vez que la sobrepresión ha sido liberada. En cambio los del tipo diafragma al producirse la sobre presión el diafragma se romperá y se derramara aceite hasta que los niveles de aceite entre tanque conservador y el tubo de montaje del diafragma se estabilicen. Por lo tanto los dispositivos de resorte al operar, derramaran menor cantidad de aceite que uno de diafragma.

1.5.4 Relevador de presión súbita

Los relevadores diferenciales son usados frecuentemente para detectar fallas en el aislamiento del transformador, sin embargo en transformadores de

varios devanados o en transformadores reguladores (en los que el relevador diferencial puede operar incorrectamente) o cuando un protector mecánico efectivo es necesario para asegurar una protección completa, se emplean relevadores de presión súbita.

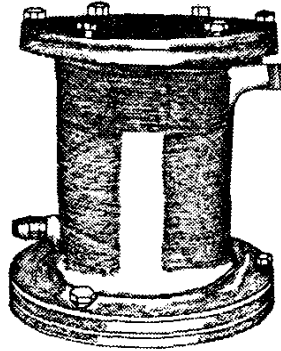


Fig. 1.12 Vista externa del relevador de presión súbita

En el caso de una falla interna en un transformador sumergido en aceite, la presión del tanque se incrementa rápidamente debido al arqueado dentro del aceite. Un relevador de presión actuando por tal incremento de presión puede ser empleado para señalización del problema. El relevador de presión súbita tiene una estructura especial, de tal manera que no operara mientras las presiones internas del tanque estén dentro de los rangos normales de operación. El relevador entra en operación cuando un incremento repentino o agudo ocurre debido a una anomalía.

1.5.5 Boquillas

Su función es permitir la conexión eléctrica entre las terminales de devanados y el circuito exterior al transformador, manteniendo el aislamiento y hermeticidad.

Los tipos de boquillas más utilizadas son sólidas, con aceite, gas SF6-aceite y condensador. Su función dependerá del voltaje de operación y capacidad de corriente, como parámetros más importantes.

1.5.6 Gabinete de control

Su finalidad es ubicar en forma fácil y concentrada todas las terminales de los dispositivos para medición, protección, control y señalización del transformador de potencia; es decir las terminales de los transformadores de corriente (Tc's), termómetros, alarmas, control del sistema de enfriamiento, resistencias calefactores etc. están en este gabinete el cual es de lamina de acero para la protección de todo el equipo. También los gabinetes centralizadores contienen los mismos dispositivos pero en él se maneja todo el banco de transformadores monofásicos, desde este gabinete puede sacar de servicio cualquiera de las fases de uno o más bancos de transformación por la unidad de reserva.

1.5.7 Tanque conservador

Su función es mantener el nivel de aceite en el tanque principal del transformador compensando las variaciones del aceite que se originan por los cambios de temperatura, manteniéndolo dentro los límites seguros para la operación del transformador. El tanque conservador está diseñado para contener entre el 10 y 15 por ciento de la capacidad total de aceite del tanque principal, su ubicación es en la parte superior del tanque principal.

Como consecuencia de las variaciones de sus niveles de aceite el tanque conservador necesita respirar y se realiza de dos formas la primera es con respiración libre, es decir, directamente del medio ambiente y lo debe hacer a través de una botella de silicagel evitando así la entrada de aire húmedo, en la segunda para preservar la calidad del aceite se aprovecha el espacio en el tanque conservador para inyectar gas inerte.

El tanque conservador del tipo sello de aire mantiene la presión constante sobre el aceite aislante, este último es resguardado del contacto con la atmósfera por una bolsa, por lo que no tiene adhesión con la humedad y el oxígeno del aire. El sistema cuenta con un tanque de expansión el cual aloja la bolsa de aire hecha de caucho especial, el tanque de expansión esta colocado

por encima de la tapa del transformador y conectado con el tanque conservador por medio de un ducto el cual no permite circulación del aceite. La función de la bolsa es la de un pulmón, esta se infla o desinfla conforme al volumen de aceite en el tanque, con la expansión y contracción del aceite la bolsa por medio de un respiradero expulsa o absorbe aire del ambiente

Por otra parte el sistema debe contar con conexiones suficientes que permitan que la bolsa tenga la misma presión en ambos lados para evitar que se llegue a romper debido a los esfuerzos a los que esta sometida. Cuando el tanque conservador tiene bolsa de neopreno, el agua condensada se depositará en la misma, esto se trata de evitar, ya que si la bolsa se rompe o tiene poros el aceite se contaminará, para impedir esta condición los transformadores cuentan con la botella con óxido de sílice compuesto comúnmente llamado silica gel.

Los tanques con sello de gas inerte, que en lo general es nitrógeno, cuenta con un cilindro que contiene el gas inerte; para regular la presión que va del cilindro al tanque conservador y se manejan tres etapas reductoras de presión.

1.5.8 Sistemas de preservación de aceite

Su función es evitar la oxidación y contaminación del aceite provocada por la humedad, el polvo y otros contaminantes sólidos que se encuentran en el medio ambiente. Los sistemas mas utilizados son los siguientes:

- Respiración a través de material deshidratante, usualmente silicagel, que es un material compuesto por aluminato de calcio con indicador de color.
- Con sello de gas inerte (generalmente nitrógeno).
- Con sello a través de una membrana o bolsa elástica.

1.5.9 Indicadores de nivel de aceite

Los transformadores cuando cuentan con tanque conservador, permiten instalar en este último el indicador de aceite. Sin embargo, cuando el transformador no cuenta con tanque conservador el indicador de nivel de aceite se monta sobre la pared frontal del transformador.

Existen dos tipos de indicadores de nivel de aceite.

- De indicación directa
- De indicación indirecta

Los indicadores de nivel de indicación directa son aquellos en los que la transmisión del movimiento del flotador es de tipo mecánico. Este tipo de indicador impide revisar el instrumento de medición con la totalidad del contenido de aceite, por lo que habrá que remover una parte de él. Por otra parte los indicadores de nivel de indicación indirecta son aquellos que transmiten el movimiento del flotador al instrumento indicador a través de un acoplamiento magnético.

1.5.10 Ventiladores

Tienen la función de dirigir el aire sobre la superficie de los radiadores, con propósito de incrementar la disipación del calor dentro del transformador a través de los radiadores.

1.5.11 Bombas e indicadores de flujo

Sirven para incrementar el flujo de aceite a través de los radiadores, con el fin de acelerar la disipación del calor generado en el transformador.

Cada bomba tiene instalado un indicador de flujo que permite observar el sentido del flujo de aceite y además si la bomba está en operación.

Los dos tipos de bombas más utilizados son axiales y centrifugas. La aplicación de cada una depende del sistema de enfriamiento a utilizar en el transformador.

1.5.12 Radiadores

Son los intercambiadores de calor que permiten incrementar la disipación del calor generado dentro del transformador. Los tipos más utilizados son

- Tipo tubo
- Tipo plato
- Tubo con aletas

1.5.13 Cambiador de derivaciones

Los cambiadores de derivaciones permiten modificar la relación de transformación en un transformador. Esta acción se manifiesta en un aumento o disminución del voltaje secundario para una misma tensión en el devanado primario.

Estos equipos generalmente están conectados en el devanado de más alta tensión, lo cual facilita la conexión de derivadores, pudiendo hacerse con la misma dificultad en cuanto al aislamiento. Del mismo modo, como el devanado de alto voltaje tiene un gran número de vueltas, el derivador puede ajustar estas para obtener una mejor regulación de la tensión eléctrica.

La conexión de cambiadores en el lado de baja tensión no es muy recomendable, pues los conductores de los devanados son de mayor sección transversal llevando por ella una corriente considerable, que pudiera ocasionar arcos eléctricos muy grandes durante el cambio de posición.

a) Cambiador de derivaciones sin carga (estando transformador desenergizado).

Son aquellos diseñados para ajustar la relación de transformación desconectando el transformador y agregando más o menos vueltas para

obtener siempre un voltaje de salida constante. Esta operación se hace manual sobre un volante colocado en un costado o en la cubierta del tanque del transformador.

b) Cambiador de derivaciones con carga (estando el transformador energizado)

Estos se diseñan para trabajar bajo carga, puesto que debe alimentar continuamente la carga aun en el periodo cuando el derivador esta cambiando de posición., la operación es motorizada con control local y/o remoto, pudiendo cuando el transformador operar en forma manual o automática.

Existen dos tipos de cambiadores bajo carga

- **Con resistencias y con reactancias**

Los cambiadores bajo carga con reactores no son muy utilizados debido a que son mas costosos, necesitan mas mano de obra y el tanque necesita ser mas grande para ubicar los reactores.

Los cambiadores bajo carga que utilizan resistencias son los más comúnmente usados, ya que presentan la ventaja de ser más compactos con facilidades de refacciones y menor costo.

Los cambiadores traen su compartimiento para aceite y sus propios relevadores de protección como son: el relevador de alivio de presión y relevador de operación por flujo de aceite.

Cada cambiador de derivaciones trae consigo su propio gabinete de mando a motor con sus respectivos relevadores para control y seguridad en la operación.

El esquema de la figura 1.13 muestra la ubicación del cambiador de derivaciones bajo carga dentro del tanque principal de un transformador.

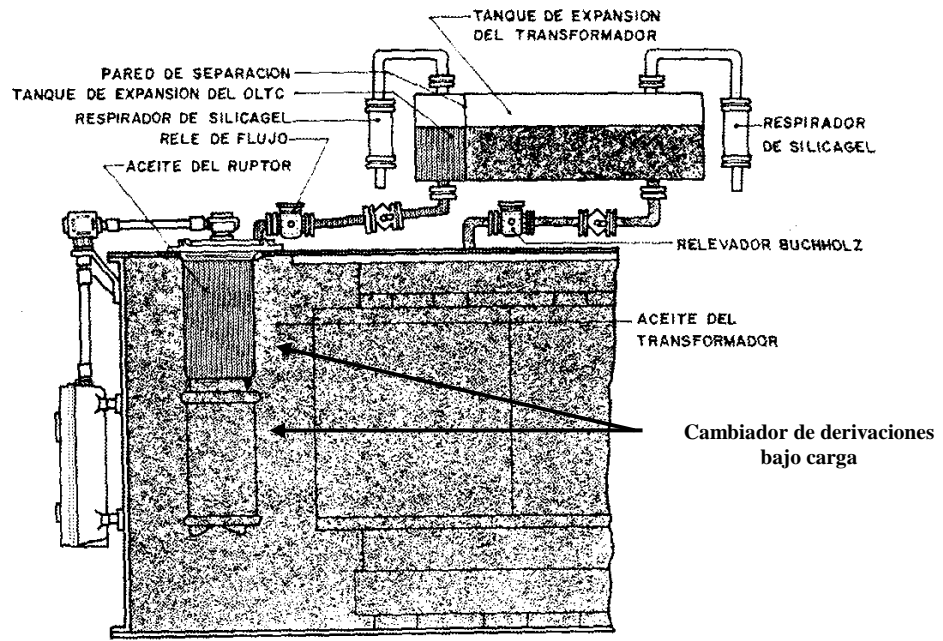


Fig. 1.13 Ubicación del cambiador de derivaciones bajo carga

CAPITULO II CAMBIADOR DE DERIVACIONES BAJO CARGA CONMUTACIÓN EN ACEITE

2.1. Breve historia del cambiador de derivaciones.

Históricamente, los transformadores equipados con cambiadores de derivaciones bajo carga, han sido componentes principales de redes eléctricas e industriales con su aplicación durante casi 80 años.

En la expansión de las redes de transporte y distribución de energía eléctrica, se ha venido observando la necesidad de utilizar métodos que puedan eliminar las diferentes variaciones de tensión existentes en las líneas eléctricas en función del nivel de carga a que se encuentran sometidas. Esta necesidad se basa en el hecho de mantener las tensiones de los distintos puntos de las redes eléctricas dentro de los márgenes regulados por los distintos estándares y normativas, uno de los equipos que ha entrado en juego en este ámbito, ha sido el cambiador de derivaciones bajo carga en los transformadores de potencia.

Los transformadores son utilizados para el control de voltaje y flujo de potencia reactiva, lo que requiere el cambio en la relación de transformación. Por esto, prácticamente todos los transformadores usados en transmisión y un número considerable de distribución poseen un cambiador de derivaciones (taps). Estos equipos permiten modificar la relación de tensiones existente en un transformador mediante la variación de la relación de espiras del mismo, dicha regulación se hace por pasos estando la magnitud de los pasos determinada por la calidad de la regulación necesaria.

2.2. ¿Qué es un cambiador de derivaciones bajo carga?

Un cambiador de derivaciones bajo carga (OLTC) es un dispositivo de conmutación mecánica diseñado para suministrar un voltaje constante bajo cargas variables en un transformador.

Cuando se desea tener tensión variable por medio de escalones discretos, o bien compensar las caídas de tensión producidas en la impedancia de cortocircuito interna del transformador o en las impedancias de las líneas o cables que alimentan la carga, se recurre a los transformadores dotados de cambiadores de derivaciones, Este dispositivo regula automáticamente el voltaje de salida del transformador hasta los límites especificados mientras que el transformador se mantiene en operación normal. Para evitar que se formen arcos en los contactos, el OLTC contiene en su interior aceite aislante para transformador.

El proceso de cambio de conexión de una derivación a otra se puede realizar con o sin interrupción del paso de la corriente. En el primer caso la maniobra suele ser manual e implica la desconexión del transformador, ya que requiere manipular un conmutador mecánico situado sobre la tapa de la cuba. Esta maniobra implica la interrupción total del servicio y no es adecuada cuando se requieren ajustes frecuentes. Cuando el ajuste se debe efectuar manteniendo la continuidad de la alimentación como es el caso, es preciso recurrir a los denominados cambiadores derivaciones bajo carga. Estos dispositivos, tanto si son manuales como motorizados, incorporan una serie de contactos fijos y móviles que, mediante un selector de posición de derivación, un sistema de conmutación (como se muestra en la fig.), un juego de levas y motores que responden a un conjunto de relevadores que los llevan a la secuencia de cambio de tap. La no interrupción de la alimentación implica necesariamente en algún momento el cortocircuitar las espiras comprendidas entre dos derivaciones consecutivas. Para evitar intensidades elevadas durante el transitorio se introducen resistencias de limitación o reactancias, que una vez finalizada la maniobra, se desconectan.

Para facilitar la extinción de los arcos eléctricos que se forman en la apertura de los contactos (nótese que trata de circuitos muy inductivos), todo el circuito está sumergido en aceite aislante del mismo tipo que el del transformador, pero situado en una cuba aparte para que los subproductos de la descomposición del aceite del cambiador no contamine el aceite del transformador.

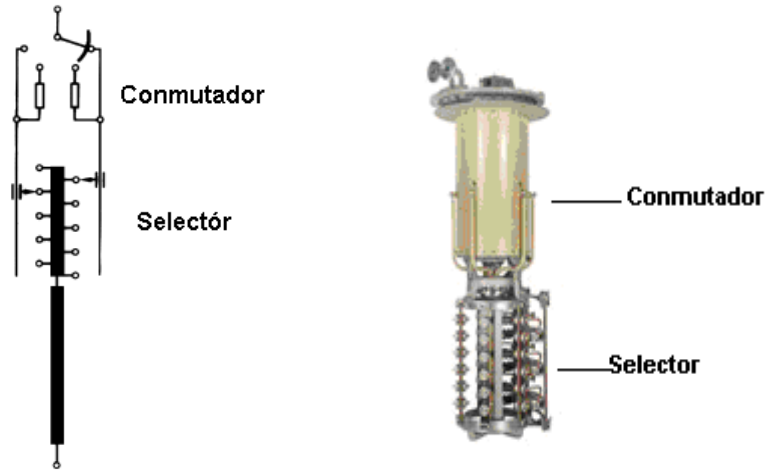


Fig. 2.1. Esquema principal de un cambiador de derivaciones bajo carga.

2.3. Tomas de regulación

Las tomas de regulación consisten en conexiones externas que se hacen en determinadas posiciones del arrollamiento de forma que el número efectivo de espiras entre los extremos de cada fase sea diferente de una forma a otra. La norma UNE 20-101 sobre transformadores de potencia define la tensión de toma como “el valor de la tensión originado en vacío entre las terminales de línea (x) cuando se aplica su tensión asignada a otro arrollamiento (y) “dado que la existencia de un cambiador de derivaciones implica la posibilidad de variar el número efectivo de espiras del arrollamiento”, lo normal es que ante variaciones en la tensión de entrada se modifique la derivación activa de modo que el flujo se mantenga sensiblemente constante.

El problema de situar el cambiador de derivaciones no es trivial. En ausencia de otros criterios es preferible situarlos en el arrollamiento de mayor tensión, de modo que las corrientes asignadas a las derivaciones sean menores y por tanto el tamaño de los contactos. También es preferible conectarlas cerca del extremo del neutro en los arrollamientos en estrella o en el punto medio del arrollamiento en los arrollamientos en delta. De forma que el conjunto de derivaciones este a la menor tensión posible respecto de tierra, lo que facilita notablemente su asilamiento eléctrico. En cambio los autotransformadores (conexión Y) no se emplea esta solución ya que

supondría modificar al mismo tiempo el número de espiras del primario y secundario.

Las diferentes derivaciones de un arrollamiento pueden tener asignada la misma intensidad (lo cual implica diferentes potencias nominales para cada derivación) o estar dimensionadas para la misma potencia (intensidad asignada y variable según la derivación). La forma de designar las tensiones de cada derivación puede hacerse, bien por las respectivas tensiones asignadas a cada derivación o bien como porcentaje para las derivaciones de máxima y mínima tensión.

Normalmente entre estas tensiones extremas hay varias derivaciones intermedias. Es muy frecuente que los transformadores de potencia vengan preparados con cinco tomas de regulación: la derivación central correspondiente a la tensión asignada (suele coincidir con la posición media), dos derivaciones de $\pm 2.5\%$ y dos derivaciones del $\pm 5\%$, pero esto no impide en lo absoluto otras combinaciones.

Por supuesto, cuanto mayor sea la extensión de las derivaciones o su número, más incrementa el coste del transformador.

Cuando se trabaja con transformadores con derivaciones hay que tener en cuenta que, al variar el número de espiras "efectivo" de cada arrollamiento, pueden variar algunos parámetros del transformador, como, por ejemplo, las reactancias de dispersión, por el doble motivo de que varía en número de espiras (toda inductancia es proporcional al cuadrado del número de espiras), como por el hecho de que se modifica la geometría y posición de las espiras activas. Esto puede ser especialmente significativo en arrollamientos con extensión de derivaciones muy grande.

Dado que la existencia de derivaciones implica dejar fuera de servicio un número determinado de espiras del arrollamiento, puede ocurrir que en un momento dado los amperios-vuelta del primario y del secundario no estén exactamente compensados a lo largo de toda la altura del arrollamiento, que normalmente suele ser muy parecida para primario y secundario. Esto provoca

la aparición de fuerzas de repulsión en ambos circuitos que son tomadas en cuenta a la hora del diseño.

2.4. Tipos de instalación del cambiador de derivaciones

La instalación de los cambiadores de derivaciones bajo carga se clasifican en:

2.4.1. Tipo compartimiento

El oltc es instalado en un compartimiento fuera del tanque del transformador, sin contacto alguno con el aceite aislante del transformador, comúnmente este tipo de cambiadores de derivaciones son del tipo reactancias.

2.4.2. Tipo dentro del tanque

El cambiador de derivaciones bajo carga (oltc) es instalado dentro del tanque del transformador, en este caso la parte externa del oltc se encuentra en contacto con el aceite aislante del transformador pero fuera de contacto con el aceite aislante del cambiador de derivaciones bajo carga, normalmente este tipo de instalación es para cambiadores del tipo resistencias.



a)



b)

Fig. 2.2. Diferentes tipos de instalación de los cambiadores de derivaciones bajo carga

2.5. Tipos de cambiadores de derivaciones bajo carga

Desde el comienzo del desarrollo del cambiador de derivaciones, han sido utilizados dos principios de conmutación para la operación de transferencia de carga, el cambiador rápido de resistencias y el cambiador de tipo reactor.

2.5.1. Cambiador de derivaciones bajo carga tipo resistivo

La mayoría de cambiadores del tipo resistencia están instalados dentro del tanque del transformador y se diseñan para ser utilizados en altos rangos de alta tensión y potencia.

Los elementos que utilizan son el conmutador (interruptor de arcos) y el selector de derivaciones (tomas). Para operar a bajos rangos de potencia y voltaje, estos cambiadores combinan en un solo dispositivo al conmutador y al selector de derivaciones, y se le denomina como conmutador selector de derivaciones.

2.5.2. Cambiador de derivaciones bajo carga tipo reactivo

El cambiador del tipo reactor se encuentra en un compartimiento separado que normalmente se suelda al tanque del transformador.

Para los cambiadores de derivaciones bajo carga tipo reactivo se utilizan los siguientes tipos de arreglos para realizar la conmutación.

- Conmutador-selector de derivaciones
- Conmutador y selector de derivaciones

La mayoría de los conmutadores-selectores de derivaciones que funcionan como un solo dispositivo, son fabricados para reguladores de voltaje, mientras que los cambiadores de derivaciones de conmutador y selector de derivaciones, forman parte de los elementos de los transformadores de potencia.

Este tipo de cambiadores es mucho más grande que los del tipo resistivo y muy poco utilizados debido a que son más costosos, necesitan más mano de obra y el tanque necesita ser más grande para ubicar los reactores, por lo que actualmente se fabrican con interruptores en vacío.

2.6. Principio de conmutación del cambiador de derivaciones bajo carga

El simple cambio de tap cuando el transformador está energizado es de vital importancia debido a la pérdida momentánea de la carga del sistema durante la operación. Por lo tanto conectar el contacto (2) antes de desconectar contacto (1), mostrado en la fig. es el diseño básico de todo cambiador de derivaciones.

La transición de impedancias en forma de un resistor o un reactor consiste en uno o más unidades que son puente adyacente para el cambio de un tap a otro sin interrupción o cambio apreciable en la corriente de carga. Al mismo tiempo las resistencias limitan la circulación de la corriente (I_c) para el periodo cuando ambos taps son izados. Normalmente, al igual que el cambiador de derivación del tipo resistencias el cambiador tipo reactor usa la posición de puente cuando está en posición de servicio, por lo tanto el reactor está diseñado para ser cargado continuamente.

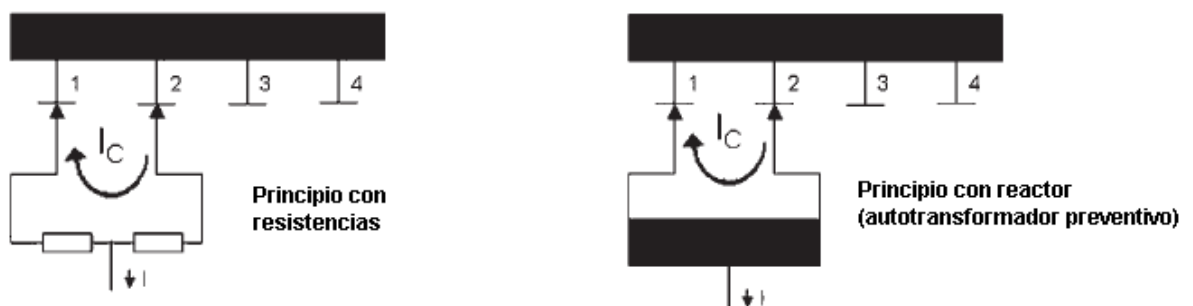


Fig. 2.3. Esquemas de principio de conmutación

La figura muestra las derivaciones principales en un arreglo de tres fases en un transformador regulante, con cambiador conectado en el devanado de alta tensión.

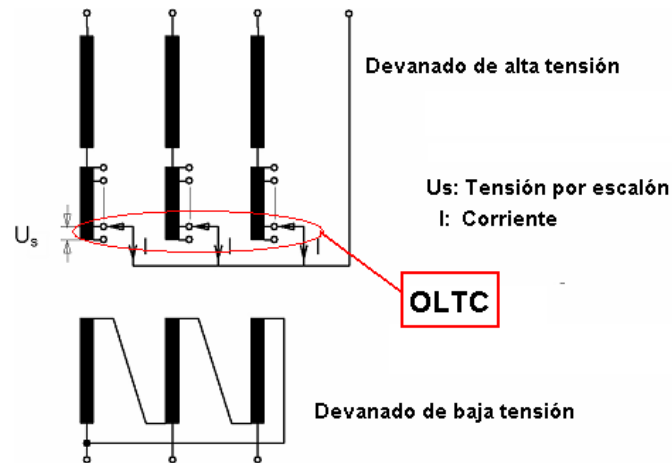


Fig. 2.4. Derivaciones principales en arreglo de tres fases en transformador regulante.

2.7. Secuencia de conmutación de un cambiador de derivaciones bajo carga tipo resistencia

Cuando se pretende realizar el cambio de un tap “n” a un tap “n”+1 se realizan los siguientes pasos;

1. MC; Contacto principal
2. MSC; Contacto principal de arqueo
3. TC; Contacto de transición
4. a; Conmutador-lado “a”
5. b; Conmutador-lado “b”

En la Figura 2.5. a); Principio de la operación, el conmutador recibe la orden de hacer un cambio de tap, inmediatamente el contacto principal de arqueo lado “a” se cierra haciendo el preparativo para el cambio, cuando el contacto principal que es el que conduce la corriente de línea se abre, seguidamente el contacto principal de arqueo ahora es el que conduce la corriente de línea. Figura 2.5. b).

Principio de la operación
Derivación n → n+1

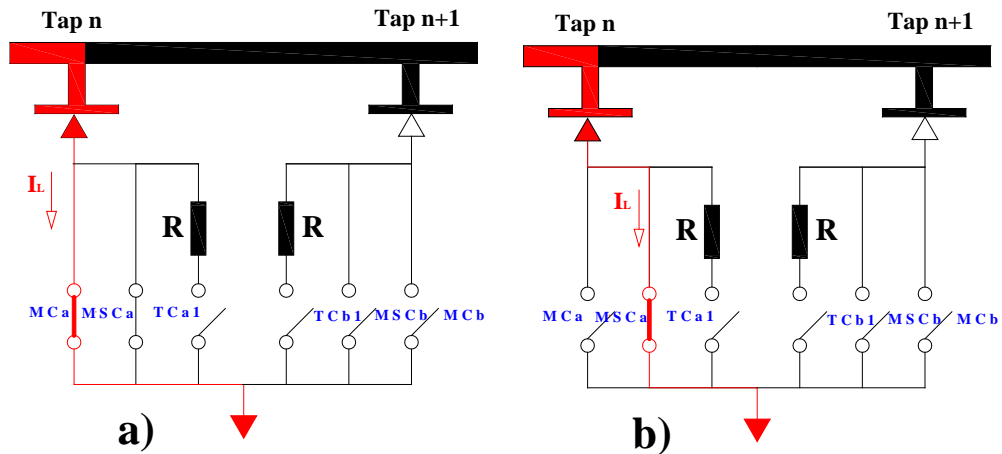


Fig. 2.5. a) Primer paso de secuencia de conmutación del oltc

Fig.2.5. b) Segundo paso de secuencia conmutación del oltc ,

En la figura 2.5. c) una vez que el contacto principal de arqueo lado “a” es el que conduce, el contacto de transición lado “a” hace el preparativo para que cuando se abra el contacto energizado, rápidamente el contacto de transición se encuentre conduciendo la corriente de línea figura 2.5. d).

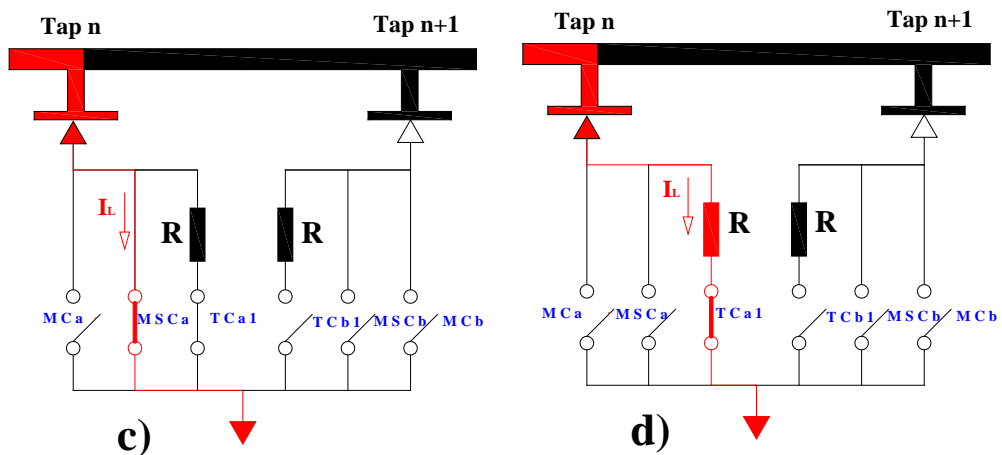


Fig. 2.5. c) Tercer paso de secuencia de conmutación del oltc

Fig.2.5. d) Cuarto paso de secuencia conmutación del oltc ,

En la figura 2.5. e) Punto clave en donde se realiza la transición de impedancias, los contactos de transición lado “a” y “b” son cerrados permitiendo que la corriente de carga circule y la corriente de línea se dividida en 2 por las resistencias de transición, reduciendo en gran parte la variación en

el sistema y el arqueo, inmediatamente se abre el contacto de transición lado “a” dejando en continuidad el contacto de transición lado “b” figura 2.5. f)

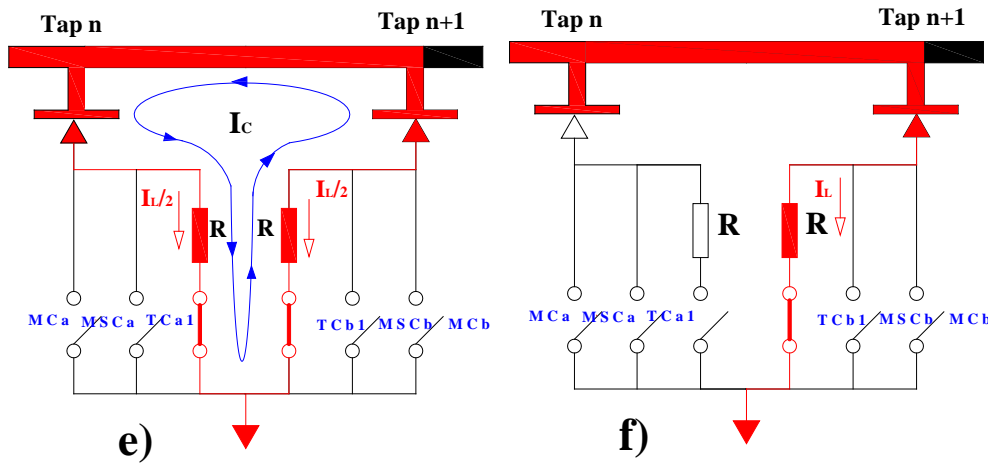


Fig. 2.5. e) Quinto paso de secuencia de conmutación del oltc

Fig.2.5. f) Sexto paso de secuencia de conmutación del oltc ,

En la figura 2.5. g) una vez hecho el cambio de derivación se hace la preparación para la apertura del contacto de transición lado “b”, dando parte al cierre y conducción del contacto principal de arqueo lado “b” figura 2.5. h).

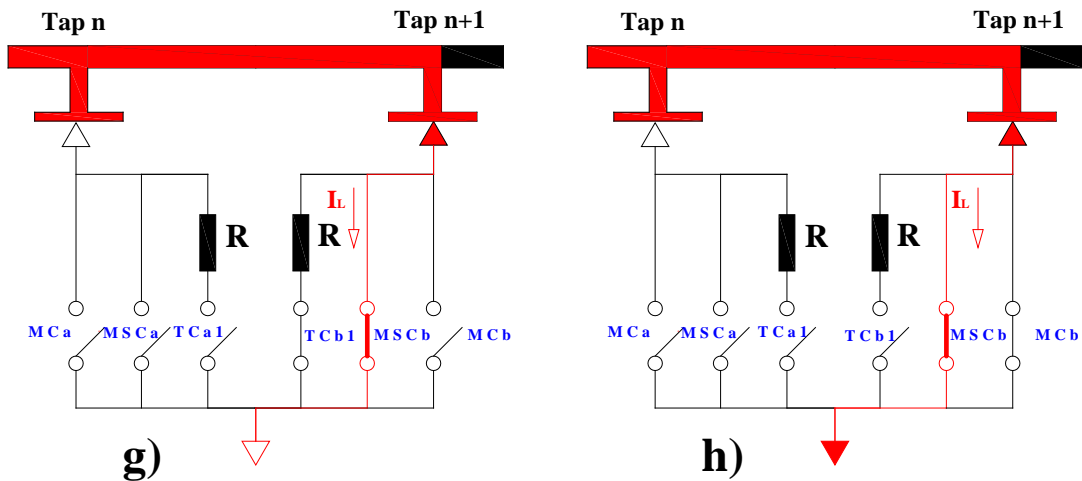


Fig. 2.5. g) Séptimo paso de secuencia de conmutación del oltc

Fig.2.5. h) Octavo paso de secuencia conmutación del oltc ,

Figura 2.5. i) fin de la operación, el contacto principal lado “b” ahora realiza la conducción de la corriente de línea, con la respectiva suma de derivaciones (tap n+1).

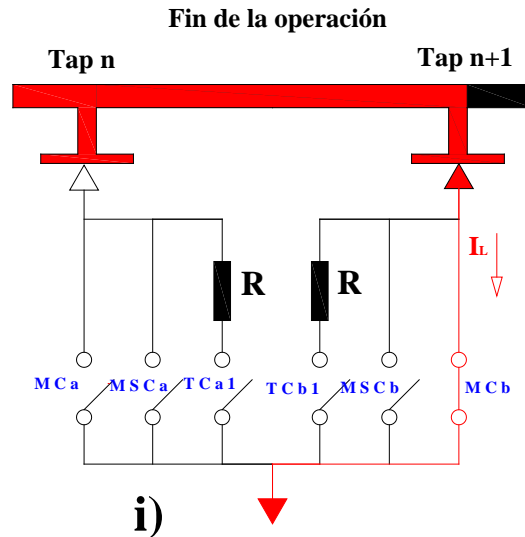


Fig. 2.5. i) Final de secuencia de conmutación del cambiador de derivaciones bajo carga (OLTC)

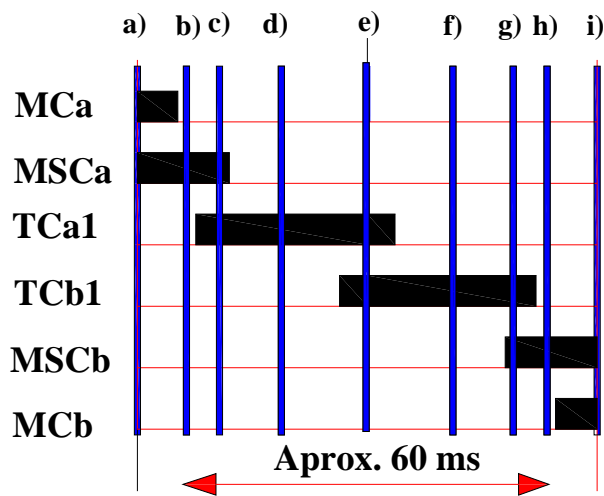


Fig. 2.6. Tiempo promedio en realizar la secuencia completas de conmutación del oltc

2.8. Secuencia de selección de derivación

El diseño de cambiadores de taps bajo carga es normalmente aplicado a grandes potencias y altos voltajes que disponen de un conmutador desviador (interruptor de arcos) y un selector de derivaciones.

Con un cambiador de derivaciones bajo carga compuesto por un conmutador desviador y un selector de derivaciones, la operación del cambio de derivación

toma lugar en dos pasos, primero la derivación siguiente es seleccionada sin carga (Fig. 2.7. posición a-c), a continuación el conmutador desviador transfiere la corriente de carga de la derivación en operación a la derivación preseleccionada (fig. posición c-g) el cambiador de derivaciones bajo carga es accionado por un mecanismo de manejo principal. Al mismo tiempo un acumulador de energía es tensionado, que opera al conmutador desviador liberándolo en un tiempo muy corto independientemente del mecanismo de manejo principal. El equipo asegura que la operación del conmutador desviador siempre tome lugar después de que la operación de la preselección de la derivación ya haya terminado.

El tiempo de conmutación del interruptor desviador se encuentra entre 40 y 60 milisegundos. Durante la operación del interruptor desviador, las resistencias de paso son insertadas (fig. posición d-f) que son cargadas por 20 a 30 ms. Por lo tanto la cantidad de material resistor es relativamente pequeña. El total de tiempo de operación de un cambiador de derivaciones bajo carga está entre 3 y 10 segundos dependiendo del diseño.

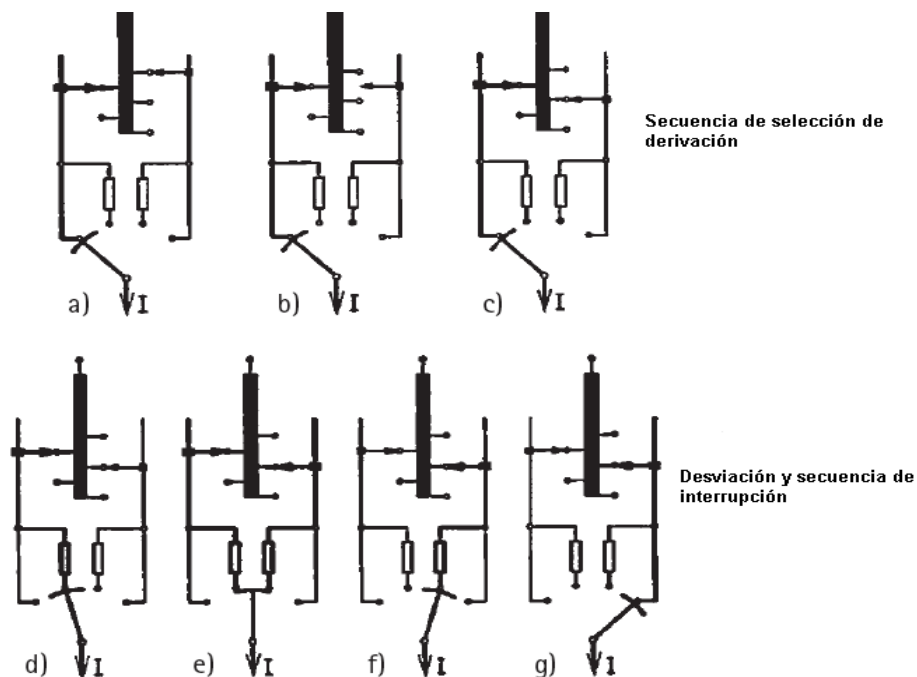


Fig. 2.7. Secuencia de selección, desviación e interrupción de una derivación en un cambiador de derivaciones bajo carga

2.9 Proceso completo de conmutación y selección de derivación bajo carga tipo resistencias

El dispositivo conmutador con resistencias limitadoras de corriente, cuyo esquema para una fase se muestra en la fig. 2.8., es el que más se utiliza para regular la tensión bajo carga. La conmutación bajo carga se realiza con ayuda del conmutador rápido C y dos conmutadores C1 y C2. El conmutador rápido C, junto con las resistencias limitadoras de corriente R1 y R2, se instalan en una cuba separada llena de aceite. Este conmutador está calculado para la corriente que surge al cerrarse las derivaciones vecinas. Los conmutadores C1 y C2 se pueden pasar de una derivación a otra cuando esté ausente la corriente en sus redes. En la fig. 2.8. Se muestra la posición de los conmutadores C y C1 en la cual el transformador funciona para la derivación X2. Para pasar a la derivación X3 es necesario previamente pasar al conmutador C2 a esta derivación. Luego se gira el conmutador C en sentido horario. En este caso las conmutaciones se realizan automáticamente en el siguiente orden sucesivo: se desconectan los contactos 1 y 2 y se conectan los contactos 1 y 3, se interrumpen los contactos 1 y 3 y se conectan los contactos 3 y 4. Si la automatización es completa, el proceso de conmutación ocupa unas centésimas de segundo.

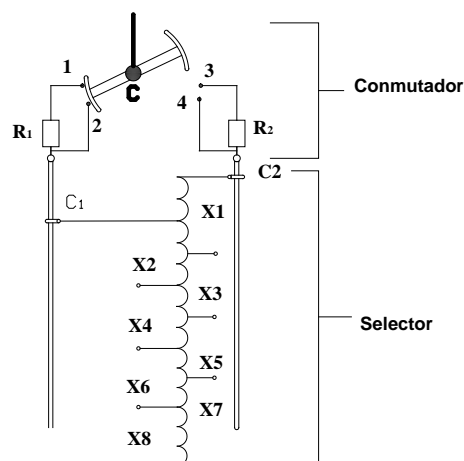


Fig. 2.8. Proceso completo de conmutación y selección de derivación bajo carga tipo resistencias

2.10 Proceso de conmutación y selección de derivación tipo reactor

Para regular la tensión bajo carga se usa también el dispositivo conmutador con reactor limitador de corriente representado esquemáticamente para una fase en la fig. 2.9. Además del reactor limitador de corriente R, cuyo devanado está constituido por dos partes 1 y 2, dispuestas en el circuito magnético común cerrado, el dispositivo tiene dos conmutadores C1 Y C2, que pueden desplazarse de una derivación a otra después de desconectar la corriente en sus circuitos, y dos interruptores I1 e I2 con ayuda de los cuales se pueden cortar las corrientes en los circuitos de los conmutadores.

Los conmutadores C1 y C2 y el reactor R se disponen en la cuba de aceite del transformador. Los interruptores I1 e I2 se instalan en una cuba especial fijada en el transformador. En estado de funcionamiento ambos conmutadores están en contacto con una misma derivación, por ejemplo con la derivación X4. La corriente de carga I se divide en partes iguales entre los circuitos de los conmutadores y, creando en las partes 1-a y 2-a del devanado del reactor fuerza magnetomotriz mutuamente compensadas, no magnetiza el reactor. Por eso, con respecto a la corriente de carga, el reactor solo posee una pequeña resistencia ohmica, y su inductancia se puede despreciar. El proceso de conmutación de la derivación X4 a la derivación X3 se descompone en siete posiciones indicadas en la tabla. La forma del esquema con las posiciones más típicas se muestra en la fig. En las posiciones 2 o 3, representadas en la fig. la corriente de carga solo circula por una parte del devanado del reactor formando en el mismo un campo magnético. No obstante, el reactor se calcula de tal modo que la breve caída inductiva de tensión surgida en estas posiciones no ejerza influencia perceptible en la tensión secundaria del transformador. En la posición 4 representada en la fig. . la parte del devanado, incluida entre las derivaciones X4 y X3, resulta cerrada al reactor. Pero la corriente adicional lad, que surge en el circuito bajo el efecto de las fuerzas electromotrices en las espiras entre X3 y X4, está limitada por la inductancia del reactor, en el cual el campo se forma ahora según las fuerzas magnetomotrices dirigidas desde la corriente adicional (flechas punteadas en la figura).

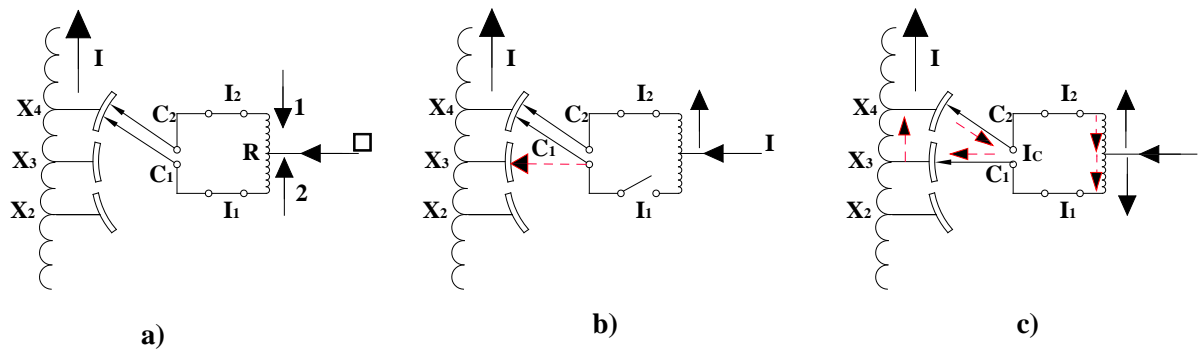


Fig. 2.9 Dispositivo con reactancia limitadora de corriente para conmutar las derivaciones bajo carga

2.11. Partes principales de un cambiador de derivaciones bajo carga

2.11.1 Tuberías de conexión

a) Conexión R

Esta conexión es para la instalación del relevador de protección teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- El relevador deberá montarse lo más próximo posible a la cabeza del cambiador y en posición horizontal.
- La flecha del relevador deberá quedar en dirección al conservador de aceite.
- La tubería de conexión al conservador deberá tener una pendiente mínima del 2%

b) Conexión S

Esta conexión está prevista para la tubería de aspiración de un equipo de filtrado, y si en dado caso de no utilizar un equipo de filtrado, se prolonga la conexión mediante una tubería hasta una altura considerable para el hombre, al lado de la cuba del transformador, disponiendo de su extremo, de un grifo para vaciado.

c) Conexión Q

Esta conexión está prevista para el retorno de aceite de un equipo de filtrado. En caso de no contar con equipo de filtrado esta conexión se cierra mediante una brida ciega.

d) Brida de conexión auxiliar (E2)

Generalmente esta conexión está cerrada mediante una brida ciega, a través de esta conexión, y por debajo de la cabeza del cambiador, se tiene acceso directo al interior de la cuba del transformador.

Opcionalmente se puede utilizar esta conexión para conectar, mediante una tubería, la cuba con el relevador buchholz.

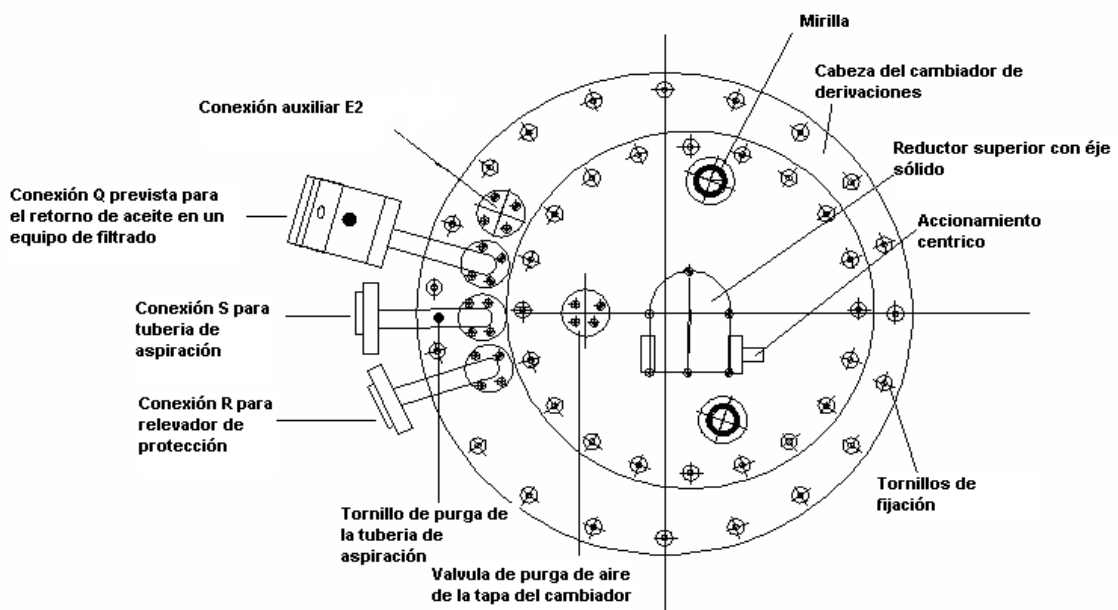


Fig. 2.10. Tuberías de conexión y partes principales de la tapa de la cabeza del cambiador de derivaciones

2.12. Indicador de posiciones

El indicador de posiciones nos permite tener una referencia exacta de la posición en la cual se encuentra la derivación en servicio, dicha posición se puede observar a través de una mirilla que se encuentra en la tapa de la cabeza del cambiador de derivaciones.

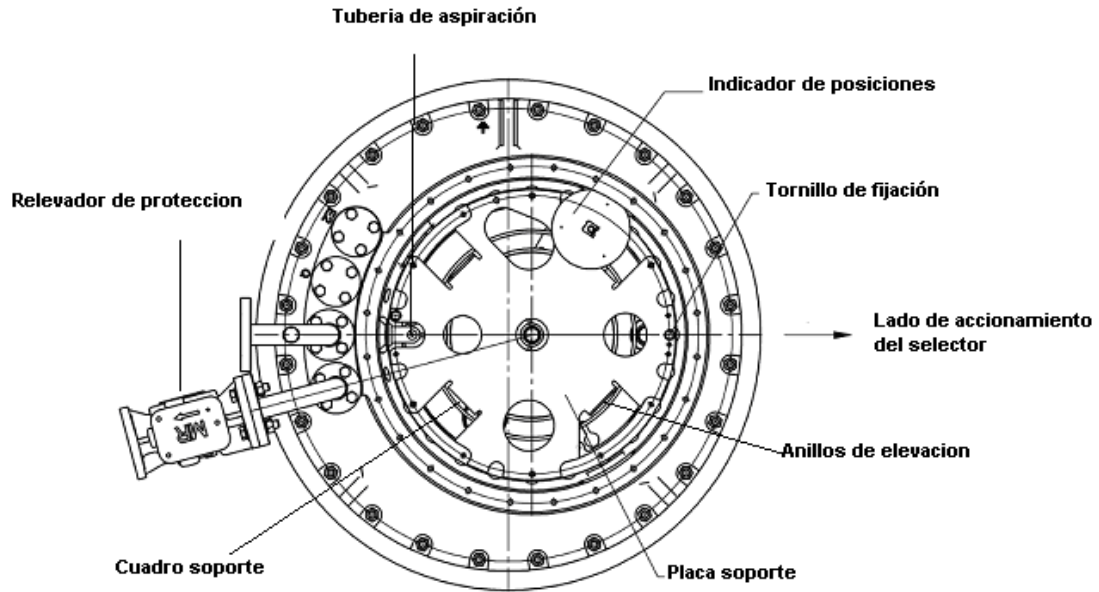


Fig. 2.11. Disposición del relevador de protección e indicador de posiciones

2.13. Relevador de protección RS2001

El relé de protección RS2001 es un dispositivo previsto para la protección del cambiador de derivaciones y el transformador en caso de una falla en el ruptor o en el recipiente de aceite del selector bajo carga. El funcionamiento del relevador de protección no puede ser provocado más que por la circulación de un flujo de aceite desde la cabeza del cambiador de derivaciones hacia el conservador de aceite. Cuando en dado caso ocurre una falla el flujo de aceite actúa sobre una clapeta provista de un imán permanente que hace bascular a la posición “desconexión”, haciendo que el contacto magnético encapsulado en gas inerte se accione y se desenganchen los interruptores de potencia, desenergizando y dejando fuera de servicio al transformador.

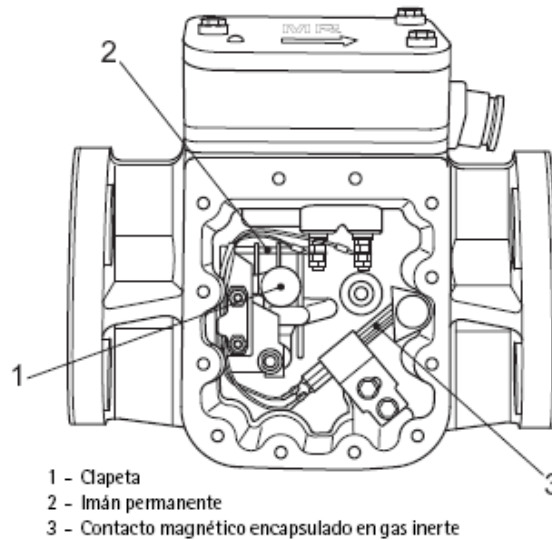


Fig. 2.12. Esquema principal de un relevador de protección

2.14. Cuerpo insertable

El cuerpo insertable es el conjunto de dispositivos encargados de realizar la transferencia de una derivación a otra sin interrupción de la carga (bajo carga), conjuntamente, el acumulador de energía, interruptores de paso y resistencias de paso son sumergidos en aceite mineral con alta rigidez dieléctrica para una óptima supresión del arco eléctrico provocado en la transferencia de una derivación a la consecutiva.

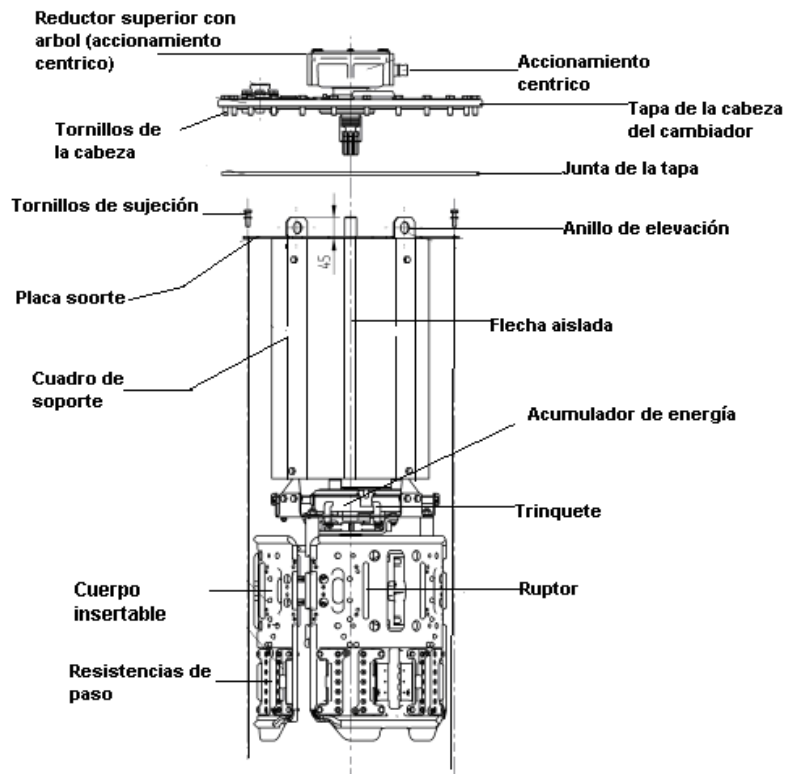


Fig. 2.13. Partes principales del cuerpo insertable en un cambiador de derivaciones bajo carga

2.15. Compartimiento de aceite

El compartimiento de aceite es una parte esencial del cambiador de derivaciones bajo carga, destinado al almacenamiento del aceite mineral aislante, contactos de conexión y el cuerpo insertable.

En esta cuba el cuerpo insertable junto con sus componentes son sumergidos en su totalidad para realizar adecuadamente el trabajo de apertura y cierre de circuitos así como la reducción del arco eléctrico producto del switcheo.

2.16 Contactos de conexiones de salida

Los contactos de conexión son el puente entre el compartimiento de aceite y el selector de derivaciones, circulando por ellas las máximas tensiones y corrientes producidas en la conmutación.

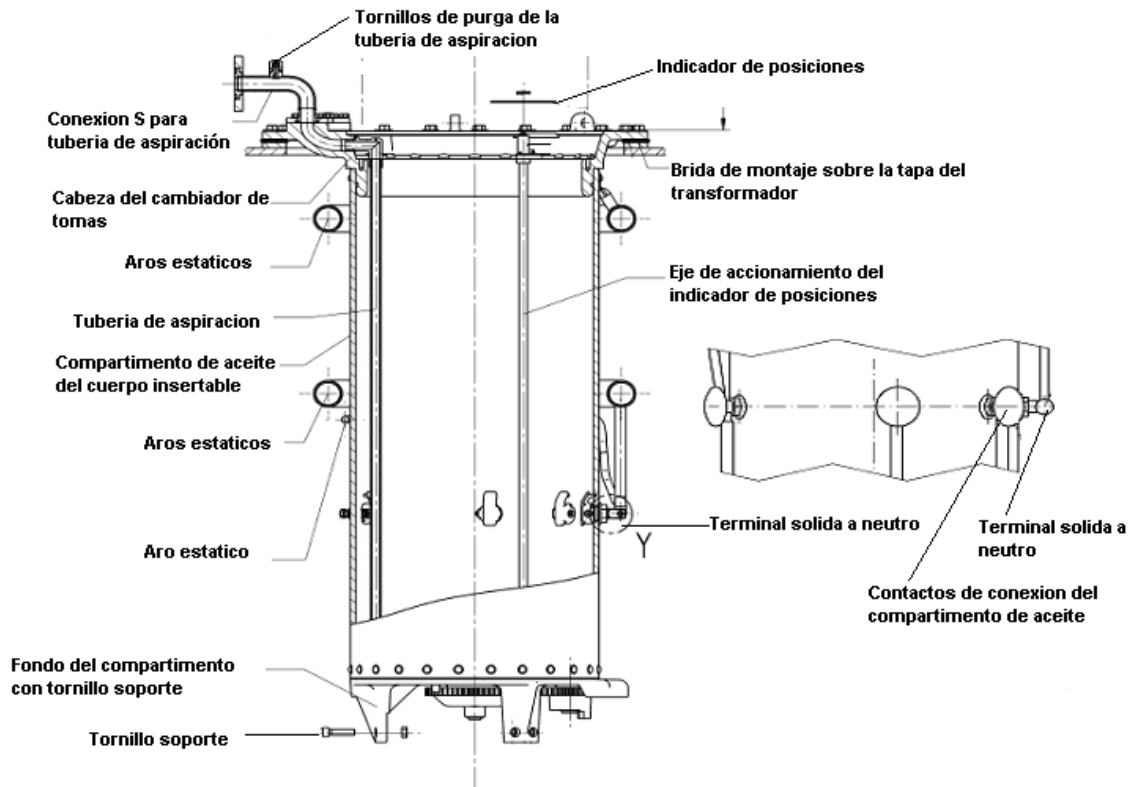


Fig. 2.14. Partes principales del compartimiento de aceite y contactos de conexión

2.17. Selector de derivaciones

El selector de tomas consiste de dos brazos porta contactos accionados alternativamente por un mecanismo de engranajes reductores, este mecanismo también cumple la función de bloquear los contactos móviles en posición entre operaciones.

Las barras de soporte de los contactos fijos están montadas equidistantes formando un círculo en un pasa muros de epoxi moldeado, dichas barras proveen soporte a los contactos fijos del selector y cada contacto móvil está compuesto de dedos de contacto paralelos. El número de dedos de contactos depende de la corriente nominal del cambiador de tomas bajo carga.

Tanto los contactos fijos como los anillos colectores han sido sometidos a un baño de plata. Los contactos móviles están pretensados por medio de resortes y calibrados digitalmente antes del montaje.

Esto asegura una adecuada presión de los contactos no sólo durante operación normal sino también durante condiciones de cortocircuito.

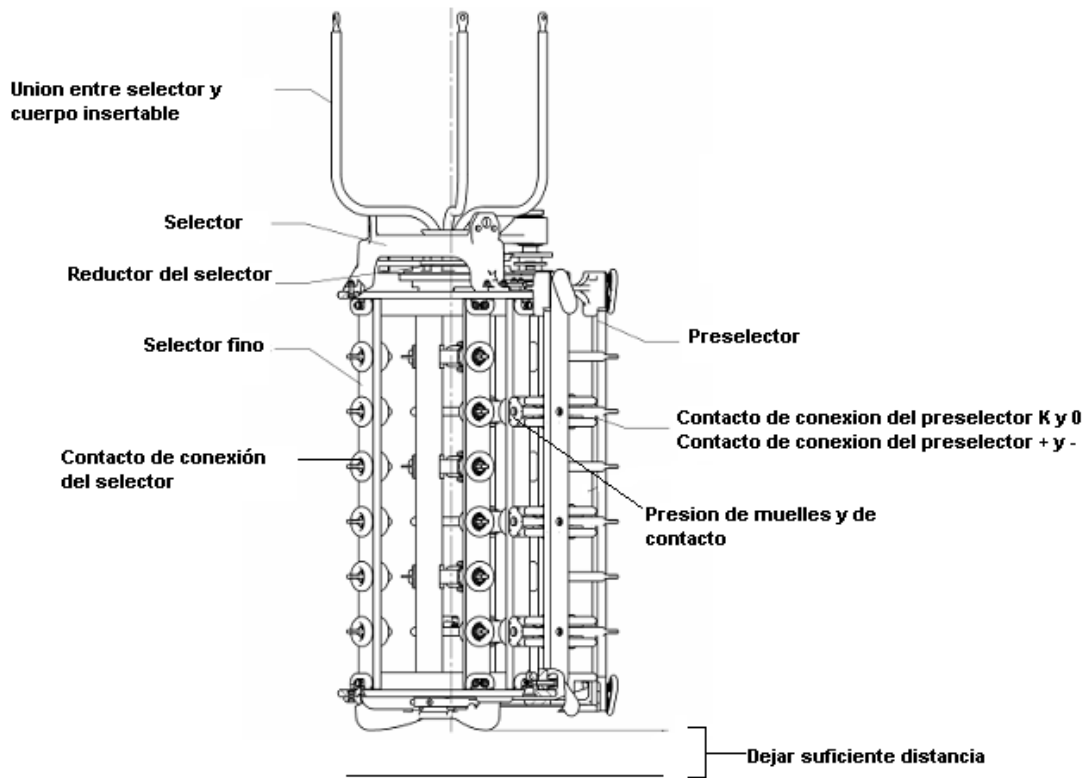


Fig. 2.15. Selector de derivaciones

2.18. Preselector inversor y preselector para paso grueso/fino

Los contactos fijos plateados del preselector están montados sobre barras de soporte ubicadas en el pasa muros de epoxi moldeado cerca del conjunto de los contactos del selector.

El conjunto de contactos móviles del preselector es accionado por un eje aislado el cual es controlado por la rueda de malta a través de un mecanismo de doble leva. Este conjunto es del mismo diseño que el conjunto de contactos móviles del selector, pero tiene un mayor número de dedos de contacto en paralelo.

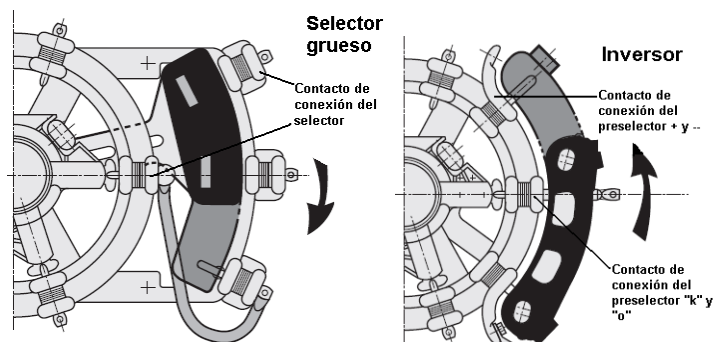


Fig. 2.16. Preselector Inversor y preselector para paso grueso/fino

2.19 Aceite aislante del cambiador de derivaciones bajo carga

El empleo de impedancias de transición o reactores permite realizar la conmutación sin afectar el sistema, y simultáneamente se limita la corriente circulante, durante el tiempo que dos de las derivaciones están conectadas, disminuyendo considerablemente los arcos producidos en los contactos del cambiador.

Sin embargo, aún con el uso de limitadores de corriente se generan arcos de baja energía en los contactos de la unidad ruptora, siendo el aceite el medio de extinción más común. Existen otros medios de extinción como el SF₆ y el vacío.

El aceite se degrada debido a los arcos internos, formando residuos de carbón, lo que disminuye su rigidez dieléctrica. En la tabla se mencionan los niveles de tensión dieléctrica para los diferentes tipos de cambiadores de derivación.

Valores de referencia para el control de la calidad del aceite

Cambiador	Contenido de agua*	Rigidez Dieléctrica**
M III 350 Y, M III 500 Y, M III 600 Y	< 40 ppm	> 30 kV/2,5 mm
M I 351...M I 1800	< 30 ppm	> 40 kV/2,5 mm
M II 352, M II 502, M II 602	< 30 ppm	> 40 kV/2,5 mm
M III 350 D, M III 600 D	< 30 ppm	> 40 kV/2,5 mm

* Medido según el método de Karl Fischer de acuerdo con la publicación IEC 814

** Medida según la norma DIN VDE 0370 Teil 1

Tabla 2.1. Niveles de tensión dieléctrica para los diferentes tipos de cambiadores de derivación.

2.20. Principales características del cambiador de derivaciones bajo carga

2.20.1. Designación del cambiador de derivaciones bajo carga

Cada tipo de cambiador de derivaciones bajo carga está disponible en muchos diseños, que varían según el número de fases, corriente máxima de

paso, tensión máxima para el equipo (U_m), tamaño, diagrama básico de conexión. Por esta razón la selección de un determinado cambiador de derivaciones deberá indicar estas características (ver fig. 2.17.), dándole una identificación única equipo.

El selector de derivaciones debe de cumplir con una serie de medidas, y contar con un diagrama de conexión. El selector de derivaciones puede ser ampliamente ajustado a una serie de necesidades, como, el número de derivaciones y la conexión del devanado.

La aplicación de los diagramas de conexión básica se diferencia por el número de contactos del selector (10 a 18), número de posiciones de operación, número de la posición media y el diseño del preselector. diagrama designación del diagrama básico de conexión.

La posición media es la posición en la cual el contacto K está conectado al inversor o al selector grueso según el diseño, esta posición suele ser también la posición de ajuste.

Cuando la posición media es 1 no hay posición con el mismo voltaje antes o después del contacto K.

Cuando la posición media es 3, no hay cambio en el voltaje antes o después del contacto k. Puenteando los contactos no se consideran posiciones medias.

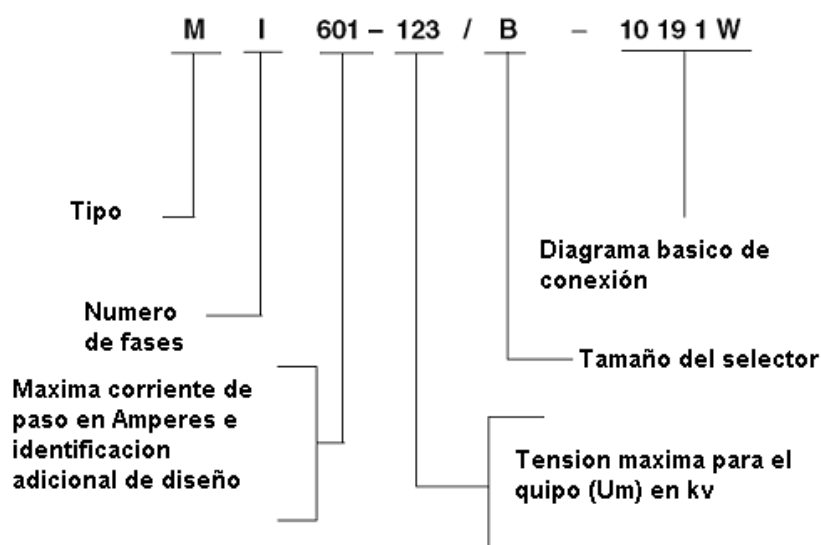


Fig. 2.17. Designación del cambiador de derivaciones bajo carga

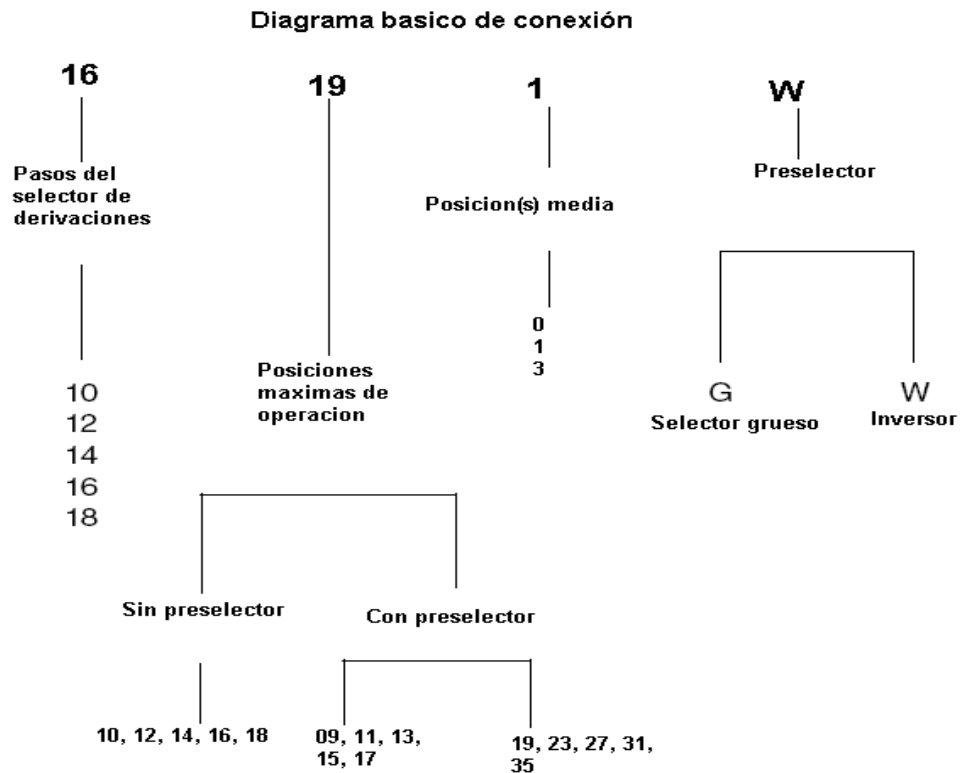


Fig. 2.18 Designación básica del diagrama de conexión

2.20.2. Corriente de paso, voltaje y capacidad de paso

La corriente de paso es la corriente que fluye a través del cambiador de derivaciones y fuera del circuito del cambiador de derivaciones bajo carga mientras esta en servicio.

La corriente de paso en un cambiador de derivaciones bajo carga usualmente varia a lo largo de los diferentes rangos de regulación de voltaje (mientras que la potencia nominal del transformador sigue siendo la misma). La máxima corriente de paso continuamente permisible del transformador es la medida corriente de paso lu del cambiador de derivaciones o del circuito.

El voltaje de paso es el voltaje de operación entre las derivaciones adyacentes. El voltaje de paso puede permanecer igual o puede variar en todo el rango de operación. Si el voltaje de paso varia el máximo voltaje de paso Ust del transformador es usado como medida para el cambiador de derivaciones y su circuito.

La medida de la máxima corriente de paso I_{um} varía según el diseño y es la máxima corriente a través en un cambiador de derivaciones y el circuito del cambiador a la cual es relacionada a una referencia de los diferentes tipos de pruebas.

El medida del voltaje de paso U_i de un cambiador de derivaciones bajo carga es el voltaje de paso mas alto permisible para un valor seguro de la medida del la corriente de paso I_u . Junto con una medida de corriente de paso, es conocido como la relación medida voltaje de paso.

La medida máxima de voltaje de paso U_{im} varia con el diseño y es el máximo voltaje de paso permisible de un cambiador de derivaciones y fuera del circuito del cambiador.

Las resistencias de paso de un cambiador de derivaciones bajo carga son designadas por valores existentes de el voltaje máximo de paso U_{st} y de la medida corriente de paso I_u del transformador para que el cambiador de derivaciones bajo carga pueda ser usado.

Desde las medidas de la corriente de paso permisible I_u y el voltaje de paso permisible U_{st} varía n con respecto al valor de las resistencias de paso, esos valores medidos se refieren a aplicaciones particulares.

2.20.3. Arreglos básicos de devanados de regulación.

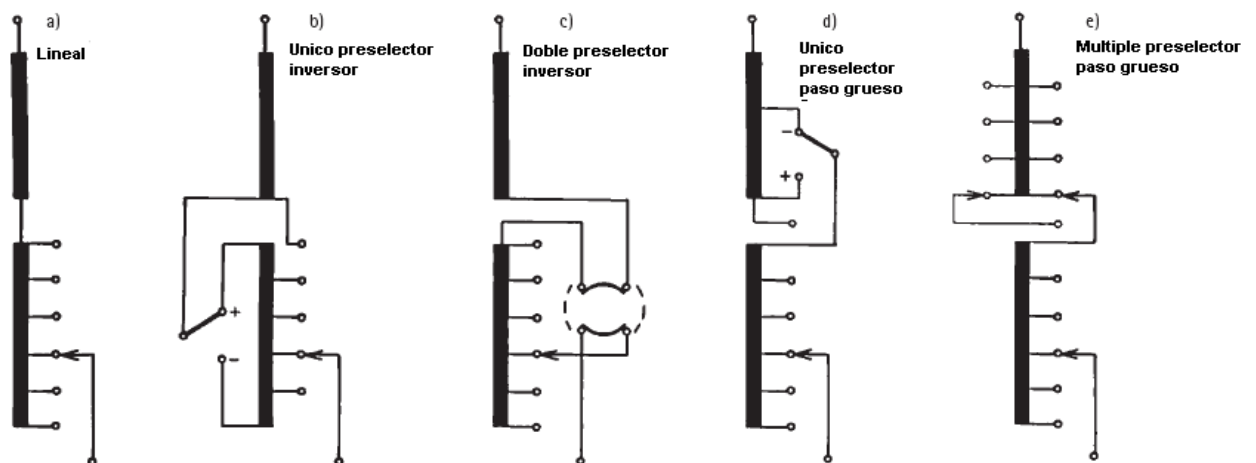


Fig. 2.19. Arreglos básicos de devanados de regulación

El arreglo lineal es generalmente usado en transformadores de potencia moderada con la regulación de hasta un máximo del 20%. Las derivaciones

son puestas en serie con el arrollamiento principal y el cambio de relación de transformación. La posición normal puede ser solo una de las posiciones de derivación.

Con preselector tipo inversor el devanado de regulación es agregado o restado desde el devanado principal de modo que el rango de regulación puede ser duplicado o el número de derivaciones puede ser reducido. Durante esta operación el devanado de regulación es desconectado del devanado principal. En este caso las mayores pérdidas se producen en el cobre, sin embargo, en la posición con el menor número de vueltas efectivas. Esta operación de inversión es realizada con ayuda del preselector que es parte del selector de derivaciones o del ruptor (conmutador) la posición nominal es normalmente la mitad o una posición neutral.

El doble preselector inversor evita la desconexión del devanado de regulación durante la operación de cambio, este aparato es llamado interruptor de avance retardado (ARS).

Por medio de un preselector de paso grueso el devanado de regulación es conectado a cualquier derivación, al positivo o al negativo, del paso grueso. También durante la operación del selector grueso el devanado de regulación es desconectado del devanado principal. En este caso las pérdidas en el cobre son menores en la posición del menor número de espiras efectivas. Esta ventaja, de cualquier manera, supone mayor demanda de material aislante y exige un mayor número de bobinados.

El preselector paso grueso múltiple permite una multiplicación de rangos de regulación, se aplica principalmente en transformadores de procesos industriales (rectificadores/ transformadores de horno), depende del sistema y los requerimientos de operación que estos arreglos de devanados básicos sean usados en casos individuales.

Estos arreglos son aplicables a transformadores de dos devanados así como a autotransformadores y transformadores con cambio de fase (PST). El lugar donde el devanado de regulación y por tanto el cambiador de derivaciones bajo carga es insertado en el devanado (de alto o de bajo voltaje) depende del diseño del transformador y las especificaciones del cliente.

CAPITULO 3. CAMBIADOR DE DERIVACIONES BAJO CARGA CON INTERRUPTORES DE VACÍO

3.1. Componentes principales de un cambiador de derivaciones con interruptores en vacio.

3.1.1. Selector de carga

Los cambiadores de derivaciones bajo carga según el principio del selector de carga poseen las propiedades de un ruptor y un selector, la conmutación de una derivación a la siguiente derivación se lleva a cabo en tan solo una operación de conmutación.

La diferencia entre los selectores de carga usuales y los selectores de carga con técnica de conexión por vacio es que, en los selectores de carga usuales, los mismos contactos, a través de los cuales se lleva a cabo la selección de la derivación deseada, también se encargan de la conmutación de la carga, sin embargo en el selector de carga con técnica de conexión en vacio, la conmutación se realiza mediante contactos separados (celdas de conmutación en vacio)

3.1.2. Interruptor de retardo avanzado (ARS)

Generalmente se utiliza para la conmutación de un devanado durante el servicio del transformador y principalmente tiene dos secciones de servicio. En una conexión ARS, la corriente de paso se conmuta de un circuito a otro con el mismo potencial.

El ARS puede utilizarse para distintas aplicaciones en combinación con el cambiador de derivaciones bajo carga operación en vacio, preferentemente se utiliza en aplicaciones con un rango de regulación grande o para invertir la polaridad del arrollamiento de derivaciones fino.

3.1.3. Terminales de conexiones de salida del cambiador de derivaciones conmutación en vacío

Las terminales de conexión como se observa en la fig. son el puente entre el compartimento de aceite y el selector de derivaciones, circulando por ellas las máximas tensiones y corrientes producidas en la conmutación que se realiza a través de cámaras de vacío.

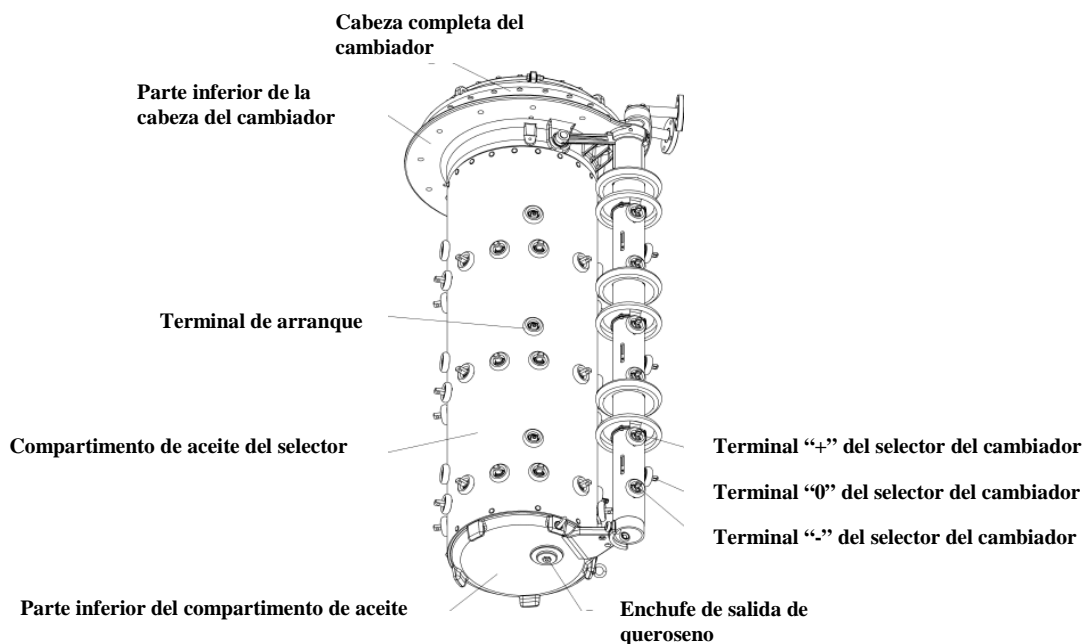


Fig. 3.1. Terminales de conexión del cambiador de derivaciones

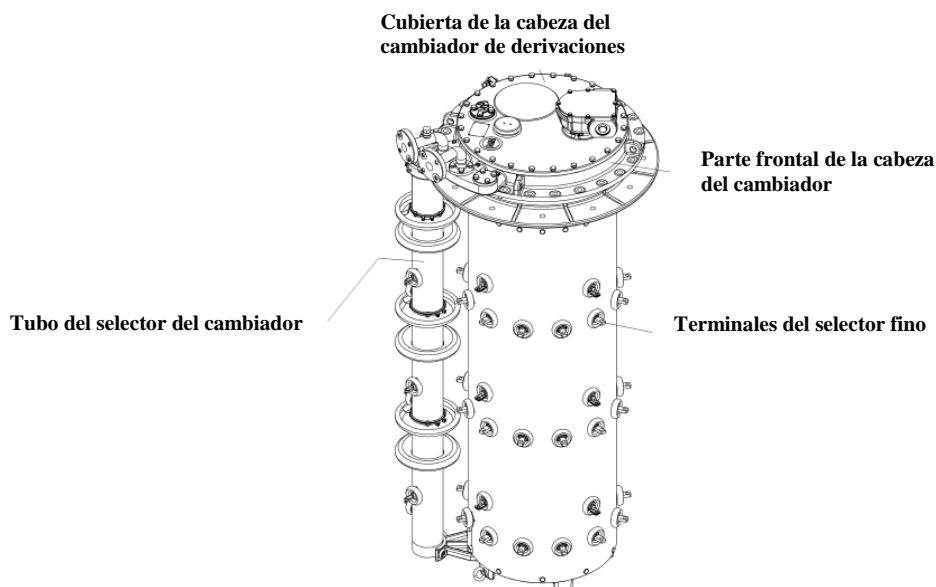


Fig. 3.2. Terminal del selector fino del cambiador de derivaciones

3.1.4. Cuerpo insertable

El cuerpo insertable al igual que el cuerpo insertable en el cambiador de derivaciones bajo carga conmutación en aceite es el conjunto de dispositivos encargados de realizar la transferencia de una derivación a otra sin interrupción de la carga (bajo carga), conjuntamente, el acumulador de energía, interruptores de paso y resistencias de paso se encuentran encapsuladas en cámaras de vacíos para una segura, fácil y rápida supresión del arco eléctrico provocado en la transferencia de una derivación a la consecutiva superior o inferior.

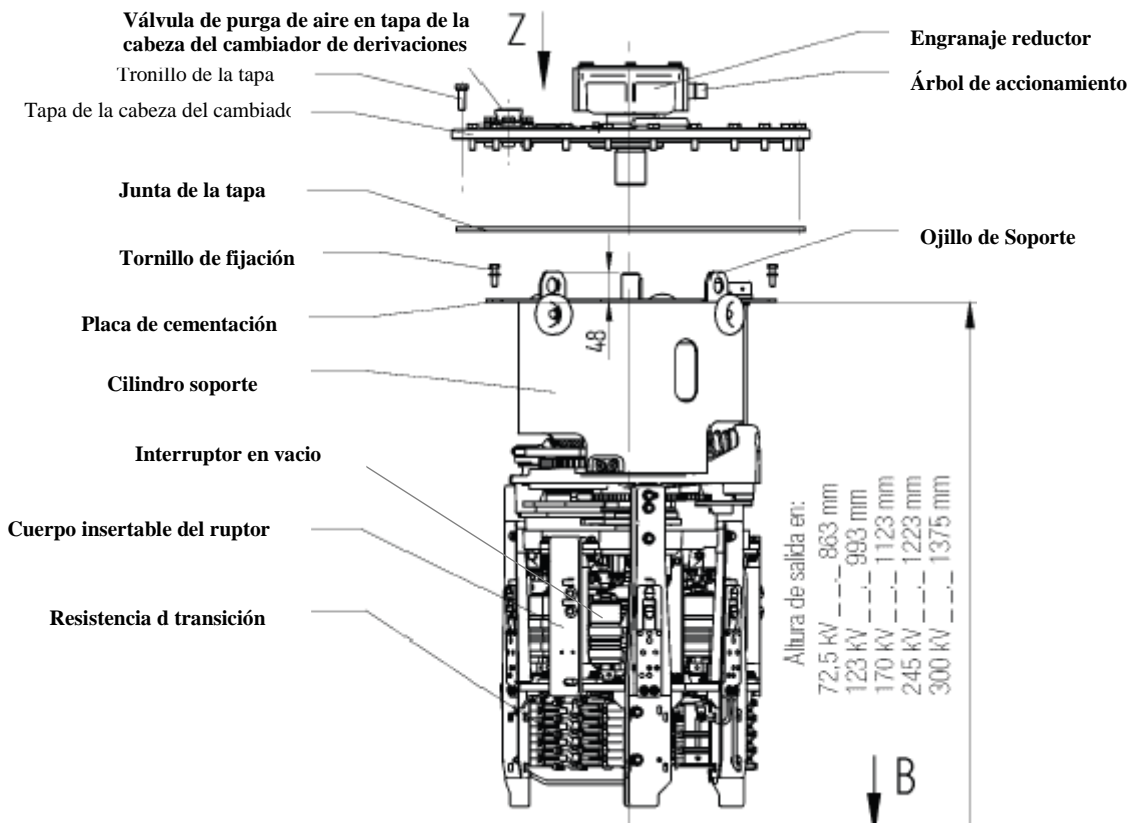


Fig. 3.3. Partes principales del cuerpo insertable del cambiador de derivaciones bajo carga conmutación en vacío

3.2. Fundamentos de la tecnología de conmutación en vacío

En el curso de las dos últimas décadas la tecnología en vacío se ha convertido en el principal cambio de la tecnología en las aéreas de subestaciones de media tensión y alta capacidad de potencia, tecnologías recientes que han sustituido el aceite y la tecnología en sf6. hoy en día son necesarias en todo el mundo para satisfacer más del 60 % de la demanda.

La tecnología en vacío es la mejor calificación para satisfacer las nuevas necesidades de las aplicaciones con un mayor rendimiento, a continuación se muestran las partes principales del interruptor de vacío (Fig. 3.1.)

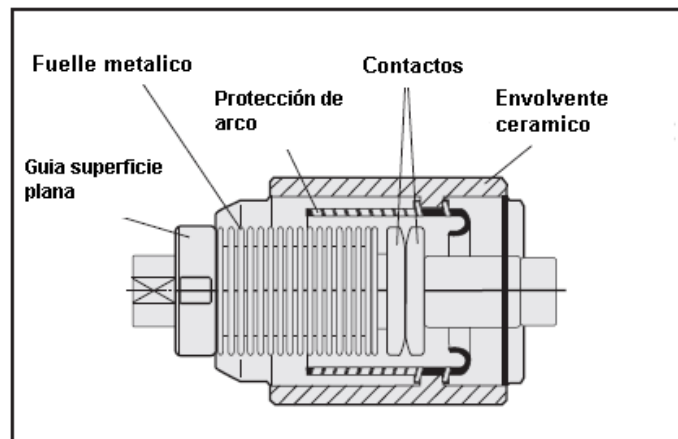


Fig. 3.4. Partes principales del interruptor de vacío

3.3 Cambiador de derivaciones en vacío tipo resistivo

Generalmente un cambiador de derivaciones resistivo convencional tiene diversos sistemas de conmutación de los contactos, para la apertura y cierre

del interruptor de desvío. Una forma de reducir el número de los interruptores de vacío requeridos, es utilizar los mismos para la apertura y el cierre. Este método se utiliza para el principio de la conmutación y se utiliza en el cambiador de derivaciones en vacío tipo resistivo. Este cambiador de derivaciones incorpora dos trayectorias: la trayectoria principal, que abarca la conmutación de los contactos principales, interruptores en vacío (MSV) y los contactos principales (MTS), correspondientes al selector de derivaciones conectadas en serie, y la trayectoria de transición, que abarca los contactos de transición (interruptor TTV en vacío) con los correspondientes contactos de transición (TTS) del selector de derivaciones conectadas en serie, al igual con la resistencia de transición (R).

En la posición inicial (paso 1) en la derivación 1, ambos interruptores en vacío estarán cerrados. La operación de conmutación empieza con la apertura de los contactos de transición TTS del selector de derivaciones (paso 2). El interruptor en vacío TTV se abre durante la trayectoria de transición (paso 3), antes de que el contacto TTS del selector de derivaciones entre en contacto con la derivación adyacente, eliminándose la posibilidad de un arco por la pre-descarga. Una vez que el contacto (TTS) del selector de derivaciones haya alcanzado la derivación adyacente (paso 4), los contactos de transición TTV del interruptor en vacío cierran (paso 5) y la corriente que circula comienza a fluir. La corriente circula debido a la diferencia de voltaje entre las dos derivaciones adyacentes y está limitada por la resistencia de transición R.

Posteriormente, los contactos principales MSV del interruptor en vacío abren (paso 6) y se da la transferencia del fluido de corriente de los contactos principales MTS del selector de derivaciones a la trayectoria de la transición. La corriente de carga ahora fluye por la derivación 2. Los contactos principales del selector de derivaciones ya pueden moverse libres de carga, a la derivación adyacente (paso 7 y 8). La operación de conmutación de la derivación se concluye con el cierre de los contactos principales MSV del interruptor en vacío, la cual desvía la trayectoria de la carga (paso 9). Si la conmutación se realiza como en este caso, en esta dirección $(m \rightarrow m+1)$ que aquí queda definida como en aumento, se sigue la secuencia descrita de los pasos 1 a 9. por el contrario,

si la conmutación se realiza en dirección contraria (mas baja), se sigue el orden inverso del procedimiento (paso 1 a 9).

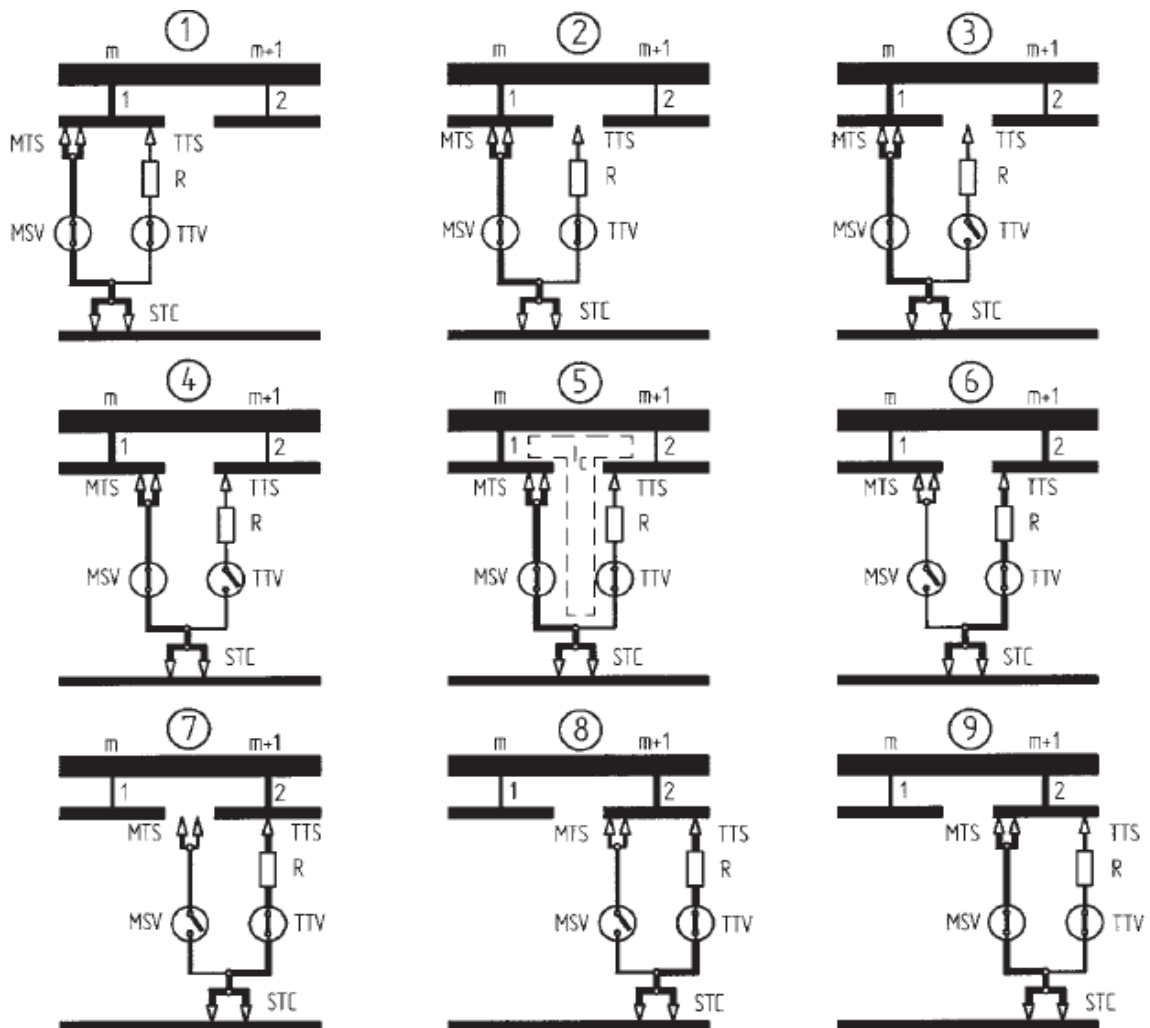


Fig. 3.5. Secuencia de conmutación de derivaciones tipo resistor con el mismo interruptor en vacio para el cierre, MTS Contactos del selector de taps (camino principal) MVS Contactos principales de conmutación (interruptor de vacio), TTS Contactos del selector de taps (camino de transición), TTV Contactos de transición (interruptores de vacio) STC, contactos de desplazamiento, R Resistencia de transición, I_c Circulación de corriente.

3.4 Cambiador de derivaciones en vacio tipo reactivo.

El principio de conmutación (Fig. 3.3) se agregan dos contactos auxiliares (los contactos del interruptor de by pass), reduciendo el número de los interruptores en vacio. El selector de derivaciones abarca dos sistemas de

contactos, operados por dos ruedas separadas. Este cambiador de derivación opera sobre una posición de puente y una posición de no puente.

Cuando se opera en puente se tienen dos posiciones, en los cuales los contactos del selector de derivaciones conectan a dos derivaciones adyacentes de la bobina de regulación.

Por otra parte, si no opera como puente, ambos contactos del selector son conectados a la misma derivación de la bobina de regulación, en la figura se muestra la secuencia de la operación, desde una posición sin puente (paso 1) a una posición con puente (paso 7)

Cuando no opera en posición de puente (paso 1), los contactos del selector del cambiador de derivaciones y los contactos de by-pass están cerrados, formando dos trayectorias separadas y en la cual cada uno lleva el 50 % de la corriente de carga. El cambio de derivación comienza con la abertura del contacto p3 del interruptor de by-pass (paso 2). Esta acción origina que la mitad de la corriente de carga pase a través del interruptor en vacío. Posteriormente, este interruptor se abre (paso 3) bajo la fuerza del resorte y extingue el arco de la primera corriente. Esto transfiere el flujo de corriente a la trayectoria p1-p2 y el contacto p4 del selector de derivaciones, ahora puede deslizarse libre de carga a la derivación adyacente (paso 4). Una vez que haya alcanzado su nueva posición de operación (paso 5), el interruptor en vacío se cierra (paso 6), seguido por el recierre del interruptor de by-pass p3 (paso 7). El cambiador de derivaciones ahora está en una posición de puente, en la que la corriente que circula i_c (paso 7) es conducida por la diferencia de voltaje entre las dos derivaciones adyacentes y está limitada por la impedancia del autotransformador preventivo reactor.

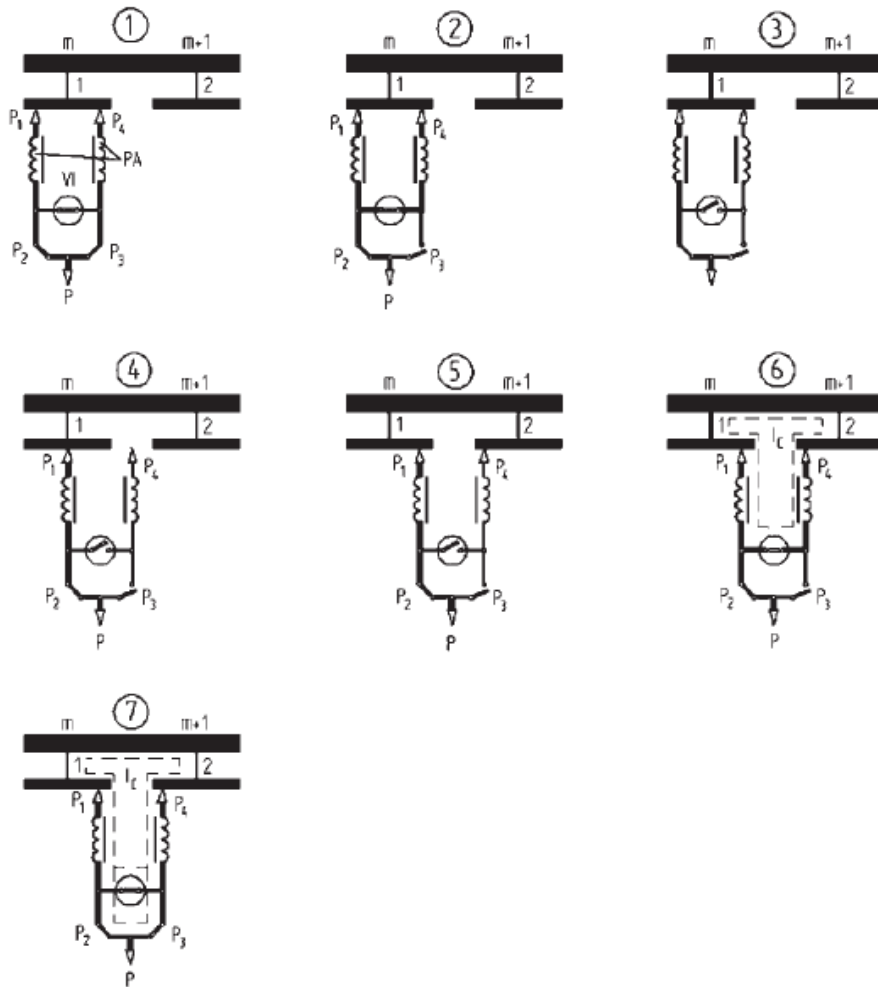


Fig. 3.6 Secuencia de conmutación de derivaciones tipo Reactor con un interruptor de vacío por fase.

3.5 Selección de un cambiador de derivaciones

Para la selección apropiada de un cambiador de derivaciones bajo carga, se deben conocer los siguientes datos de los devanados de un transformador.

- **MVA**
- **Conexión de las derivaciones**
- **Voltaje nominal y rango de regulación**
- **Número de posiciones de servicio de las derivaciones**
- **Nivel de aislamiento a tierra**

Los datos de operación de un cambiador de derivaciones bajo carga, pueden derivarse de la siguiente información:

- **Corriente máxima**
- **Voltaje de paso**
- **Capacidad de conmutación**

Entonces el cambiador de derivaciones bajo carga, puede ser determinado de acuerdo a:

- **El tipo de cambiador de derivaciones bajo carga**
- **El número de polos**
- **El voltaje nominal del cambiador**
- **El tamaño del selector de tomas/nivel de aislamiento**
- **El diagrama de conexiones**

Si es necesario pueden revisarse las siguientes características del cambiador de derivaciones.

- **Capacidad de interrupción**
- **Capacidad de sobrecarga**
- **Corriente de cortocircuito**
- **Vida de los contactos**

3.6 Desventajas del cambiador de derivaciones (Interrupción en aceite)

En la técnica de interrupción de arco eléctrico en aceite, en el transcurso de cada cambio de derivación conlleva una recurrente pérdida de rigidez dieléctrica del aceite generando depósitos de carbón así como desgaste en los contactos, causados por arcos de conmutación en el aceite aislante del CBC, logrando elevar la periodicidad en el mantenimiento del equipo

3.6.1 Desgaste eléctrico de contactos se reduce al mínimo.

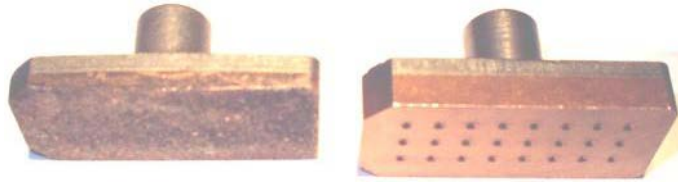


Fig. 3.7. Desgaste eléctrico en los contactos de conmutación

3.6.2 Desgaste del aceite dieléctrico de contactos se reduce al mínimo.



Fig. 3.8. Depósitos de carbón

3.7 Ventajas del cambiador de derivaciones (Interrupción en vacío)

Para satisfacer esta demanda, se requiere instalaciones con intervalos extensos de mantenimiento y en algunos casos, libre de mantenimiento, que tasa de desgaste de los contactos en interruptores al vacío comparada con la de contactos de tungsteno-cobre sea del orden de 10 veces menor. y sobre todo que no sea necesario cambiar los contactos por desgaste eléctrico por lo tanto lo que se espera hoy de un cambiador de tomas bajo carga resistivo (CBC) es:

- Evitar que el aceite aislante sea el medio donde ocurre el arco eléctrico:
- Eliminar la contaminación del aceite producto de la carbonización del aceite aislador.
- Economía de tiempo porque no se requiere limpieza extensiva del CBC.
- No usar una unidad de filtrado de aceite
- Facilitar la eliminación del aceite usado.
- El tiempo de servicio del CBC deje de ser un criterio para el mantenimiento.

Es precisamente con lo que cuenta el cambiador de derivaciones con interrupción en vacío, dando como resultado una:

Alta disponibilidad y bajos gastos de operación = Alta confiabilidad en el suministro.

VENTAJAS

- Desarrollados especialmente para el cambiador de derivaciones bajo carga (Advanced Interrupter Technology).
- Garantiza la extinción fiable y óptima del arco.
- Previene daños en el cambiador de derivaciones y el transformador.
- Poca dispersión de valores de reacción.
- Coordinación de aislamiento optimizada dentro del conmutador.
- Evita la destrucción del aislamiento dentro del conmutador.
- Compatibilidad al 100% con las conexiones ya existentes de otros cambiadores.
- Adaptación también de conmutadores fabricados bajo licencia.
- Apto también para modelos no autorizados.
- Para aplicaciones que exigen gran número de conmutaciones.
- Unidad portadora completa con interruptores de vacío pre montados.
- Cambio simple tras 600.000 operaciones.
- Reduce las pérdidas de producción debidas al mantenimiento.
- Garantiza funcionamiento perfecto y seguridad.



Fig. 3.9. Ventaja costo /beneficio

3.8 Tecnologías

3.8.1 Tecnología anterior:

Contactos de conmutación de tungsteno-cobreen aceite mineral conmutación en aceite

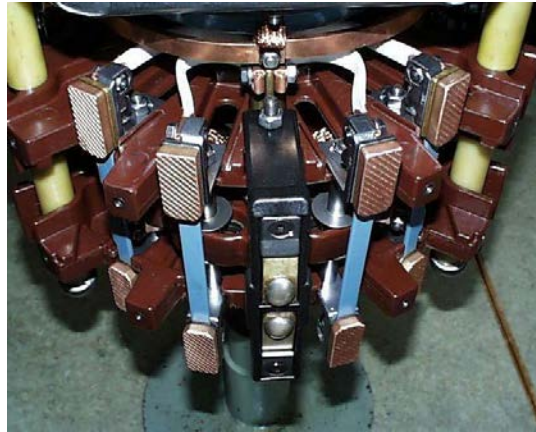


Fig. 3.10. Conmutación en aceite

3.8.2 Tecnología actual:

Interruptores en vacío, sistemas herméticamente sellados.



Fig. 3.11. Células de vacío

3.9 El cambiador de derivaciones como parte importante de la economía

Los LTC son partes importante en los sistemas de distribución de energía y representan gran parte del presupuesto de mantenimiento de la

subestación. Son accesorios costosos y vulnerables en un transformador y causan más fallas e interrupciones que los demás componentes

En la técnica de interrupción de arco eléctrico en aceite, en el transcurso de cada cambio de de derivación conlleva una recurrente pérdida de rigidez dieléctrica del aceite generando depósitos de carbón así como desgaste en los contactos, causados por arcos de conmutación en el aceite aislante del CBC, logrando elevar la periodicidad en el mantenimiento del equipo, sin embargo la técnica de conmutación en vacío para la extinción del arco eléctrico, forma la base del nuevo desarrollo tecnológico, adquiriendo una significativa ventaja en el costo /beneficio, por ejemplo:

Ejemplo comparativo en costes de inversión en el transformador

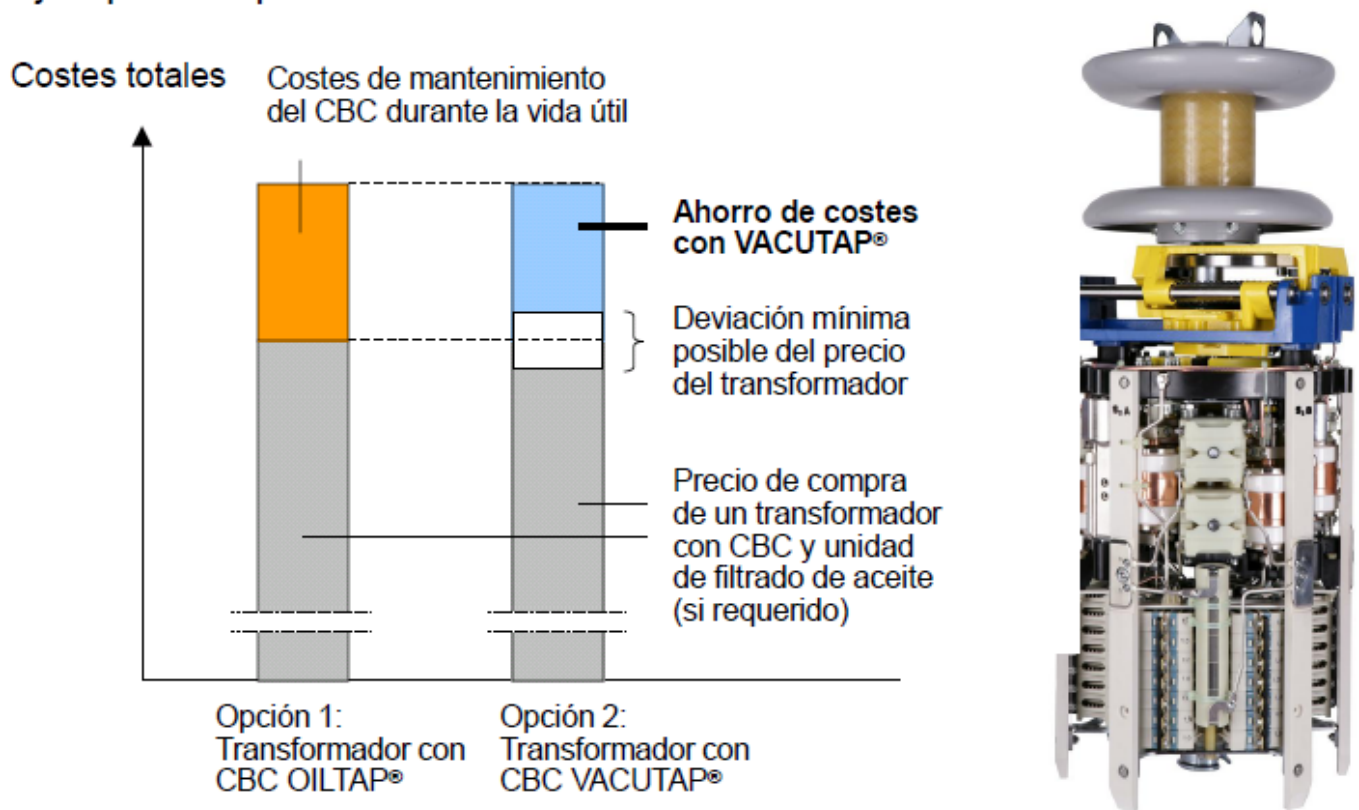


Fig. 3.12. Comparativo costos de inversión.

Comparativo en gastos de mantenimiento durante la vida útil de 40 años de un CBC en aplicación en red

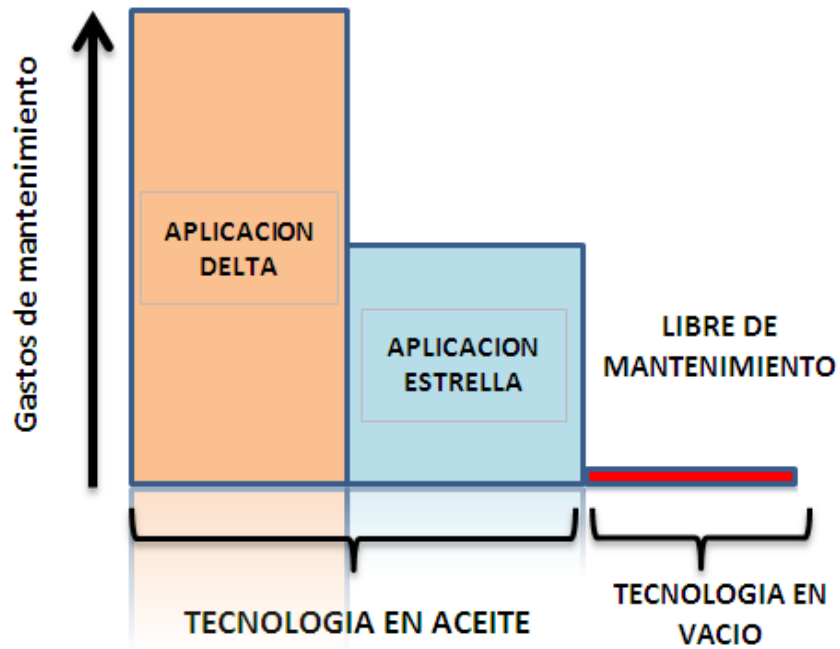


Fig. 3.13. Comparativo Mantenimiento

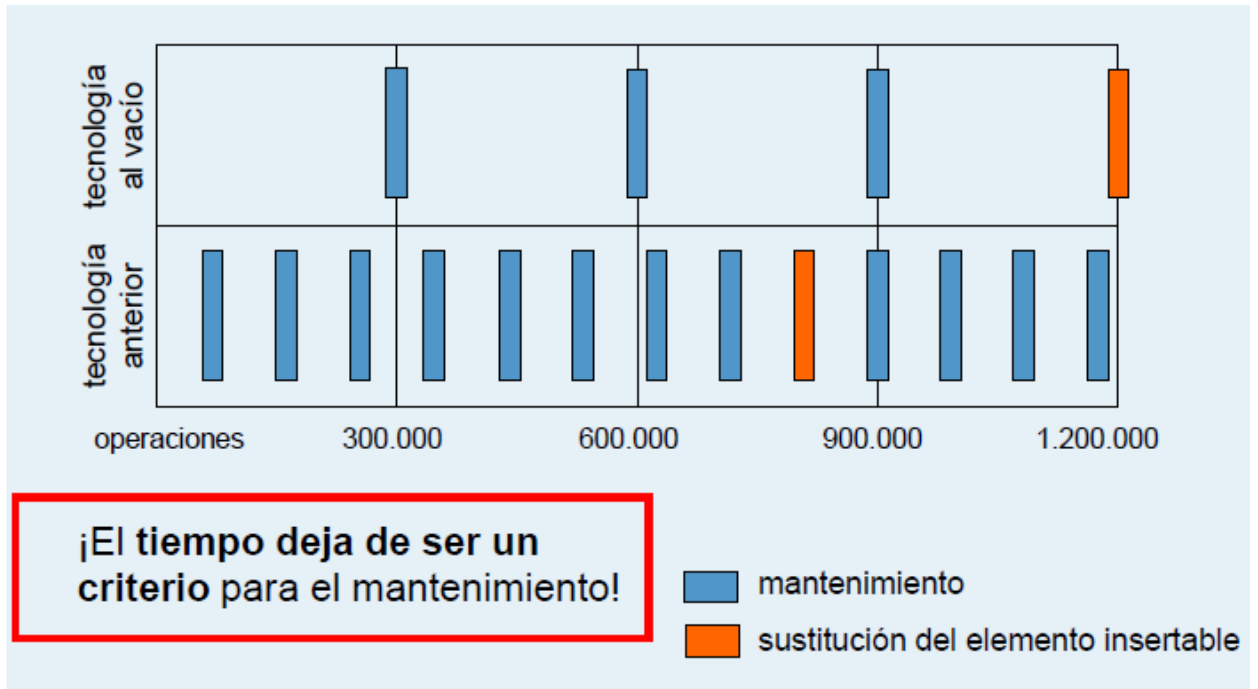


Fig.3.14. Comparación de intervalos de mantenimiento de CBC en aplicación en red, basado en la cantidad de operaciones

3.10 Ventajas económicas adicionales:

- No se requiere desenergización del transformador para hacer mantenimiento en el cambiador bajo carga por intervalos de tiempo
- Ninguna necesidad de comprar y almacenar repuestos
- El aceite aislante del cambiador podría ser utilizado varias veces*
- La tensión de caída del arco eléctrico en vacío es considerablemente más baja (5-10V) que en aceite o SF6 (25-30V)
- Equipado de fábrica para trabajar con líquidos aislantes alternativos seleccionados
- Certificación ATEX prevista (empleo en áreas potencialmente explosivas)
- Apto para la operación en zonas sísmicas
- El tiempo de servicio del CBC deja de ser un criterio para el mantenimiento.

3.11 Inspecciones rutinarias:

- Chequeo visual del mando a motor
- Chequeo de la rigidez dieléctrica del aceite del cambiador
- Chequeo rutinario de silicagel del secador

3.9 Costos de dispositivos para regulación de voltaje

El costo de estos dispositivos se calcula a partir del costo nivelado de inversión, donde los costos de operación y mantenimiento se consideran como un 2.5 % del costo nivelado de inversión. En el caso de los transformadores de, el costo del servicio de control de voltaje se calcula como la diferencia de un banco de transformación sin cambiador de derivaciones bajo carga contra uno similar, pero q cuenta con cambiador de derivaciones.

Por ejemplo, el costo del banco de transformadores con cambiadores de derivaciones se estima en un 5% más del costo total de un banco de transformación sin cambiador de derivaciones por lo tanto:

DISPOSITIVO	RELACION DE VOLTAJE (KVA)	POTENCIA INSTALADA (MVA)	COSTO NIVELADO DE INVERSION (\$)	COSTO DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO (\$)	COSTO TOTAL SIN CAMBIADOR DE DERIVACIONES (\$)	COSTO TOTAL CON CAMBIADOR DE DERIVACIONES (\$)
T-1	400/230	900	79,872,125	1,996,803	81,868,928	85,962,375
T-2	400/115	675	65,894,327	1,647,358	67,541,685	70,918,769

Tabla 3.1. Costo de instalación, operación y mantenimiento de bancos de transformación.

A partir de esta suposición se obtiene el costo de servicio (CS) de los cambiadores de derivaciones bajo carga.

$$CS_{Tap,T-1} = 85,962,375 - 81,868,928 = 4,093,446$$

De acuerdo con las características del cambiador de derivaciones bajo carga conmutación en vacío, donde prácticamente queda libre de mantenimiento, realizando un mantenimiento preventivo cada 5 años y un mantenimiento mayor cada 15 años, los resultados se resumen en la Tabla 3.2, incluyendo los costos anuales, para lo cual se aplica un periodo de vida útil de 30 años

DISPOSITIVO	COSTO DEL SERVICIO (\$)	VIDA UTIL ESTIMADA (AÑOS)	COSTO DEL SERVICIO ANUAL (\$/AÑO)	COSTO DEL SERVICIO NUEVA TECNOLOGIA (\$/5 AÑO)
T-1	4,093,446	30	136,448	27,2896
T-2	3,377,084	30	112,569	22,5138

Tabla 3.2. Costo anual del servicio de control de voltaje proporcionado por el cambiador de derivaciones.n

Bibliografía

1. Transformadores de distribución (Teoría, calculo, construcción y pruebas)
Pedro Avelino Pérez
2. Operación y Mantenimiento de transformadores de potencia.
CFE (GENERACION)
3. El ABC de las maquinas eléctricas
Enriques Harper
4. "On-Load Tap-Changers for Power Transformers"
Axel Kraemer.
5. Switching Sequence Diverter Switch: Simulación de la secuencia de operación del ruptor.
Parte general datos técnicos TD61 /MR Reinhausen.com
6. Switching Sequence Selector: Simulación de la secuencia de operación del selector.
Parte general datos técnicos TD61 /MR Reinhausen.com
7. The international magazine on load tap changer
2007 ISUE
8. Manual On Load Tap Changer
MR Reinhausen.com

Conclusiones

Como resultado del estudio realizado del costo-beneficio en la utilización del cambiador de derivaciones bajo carga conmutación en vacío en transformadores de potencia es posible concluir que existe una diferencia considerable entre usar un cambiador de derivaciones bajo carga conmutación en aceite y usar un cambiador de derivaciones bajo carga conmutación en vacío ya que los periodos de mantenimiento se vuelven más prolongados y confiables lo que nos da como resultado la calidad, continuidad y confiabilidad en el suministro eléctrico, los costos operativos del transformador se reducen drásticamente a lo largo de todo el periodo de funcionamiento, mayor vida útil del transformador de potencia, flexibilidad para diferentes niveles de voltaje.

Por lo tanto es conveniente considerar el uso y en su defecto el reemplazo de cambiadores de derivaciones bajo carga conmutación en aceite por cambiadores de derivaciones conmutación en vacío en transformadores de potencia.