



UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

Estudio de Transformadores con Cambiador de Derivaciones Bajo Carga

AUTORES: Marcos Edmundo Gutiérrez Rojas.

Jaime Andrés Gallegos González.

SEMINARIO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO DE

EJECUCIÓN EN ELECTRICIDAD

CONCEPCIÓN – CHILE

2015



UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

Estudio de Transformadores con Cambiador de Derivaciones Bajo Carga

AUTORES: Marcos Edmundo Gutiérrez Rojas.

Jaime Andrés Gallegos González.

PROFESOR GUÍA: FABRICIO SALGADO.

PROFESOR ADJUNTO: LUIS MUÑOZ S.

PROFESOR ADJUNTO: RAMÓN ZAMBRANO.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quisiéramos agradecer a nuestros profesores de nuestra gran universidad por el apoyo dado en todo momento en que necesitábamos la ayuda para resolver problemas en el índole académico, por su disposición, por sus críticas constructivas que nos ayudaron a crecer y a creer en nosotros.

A nuestras familias, por el gran trabajo de guiarnos por este largo proceso de aprendizaje, en el cual estamos ya terminando una etapa muy importante de nuestra vida, a su aliento constante, gracias por el apoyo en todo momento, sin ellos quizás nada de esto sería posible.

A nuestros compañeros y amigos por sacarnos de la rutina de la universidad, y por acompañarnos en este trabajo, gracias por esos momentos de ocio, por ayudarnos a despejar nuestra mente, y así poner paños fríos en esos difíciles momentos pasados en este proceso.

Gracias a todos los que nos apoyaron en este proceso que por fin culmina.

INDICE

INTRODUCCION	5.
CAPITULO I: CAMBIADORES DE DERIVACIÓN BAJO CARGA	
1.1 Clasificación a grandes rasgos de los cambiadores de derivación.....	8
1.2 Cambiadores de derivación sin carga.....	9
1.3 Cambiadores de derivación bajo carga CDBC.....	11
1.4 Estructura general de un cambiador de derivaciones bajo carga.....	12
1.5 Clasificaciones del cambiador de derivaciones bajo carga.....	22
1.6 Accesorios.....	42
CAPITULO II: PRUEBAS Y DIAGNOSTICO AL CAMBIADOR DE DERIVACION BAJO CARGA	
2.1 Criterios de mantenimiento.....	47
2.2 Fallas típicas de un cambiador de derivación bajo carga.....	49
2.3 Pruebas de diagnóstico al cambiador de derivaciones bajo carga.....	58
CAPITULO III: MANTENCION AL CAMBIADOR DE DERIVACION BAJO CARGA	
3.1 Protocolos de seguridad.....	75
3.2 Preparativos antes de realizar el mantenimiento	77
3.3 Programa de mantenimiento.....	78
CONCLUSION	89
BIBLIOGRAFIA	91

INTRODUCCION

En el siguiente seminario de título nos interiorizaremos, en primer lugar, en conocer un poco más acerca de los cambiadores de derivación bajo carga(CDBC), su función, operación y componentes principales, lo cual nos servirá como un preámbulo al verdadero objetivo de este seminario, el cual es hacer un manual de mantenimiento para la empresa Energysur, ya que actualmente esta empresa que se dedica principalmente al mantenimiento de transformadores, y no cuenta con un protocolo de mantenimiento, y así competir en el mercado para realizar el mantenimiento al cambiador de tap bajo carga.

En el primer capítulo veremos el funcionamiento general del cambiador de derivación bajo carga, describiendo sus principales partes, y su ciclo de operación, para así poder comprender y tomar conocimiento qué es un cambiador de derivación bajo carga y su importancia en conjunto con el transformador en el funcionamiento correcto y eficaz en un sep.

En el segundo capítulo, trataremos tanto los criterios a tomar en cuenta antes de decidir el momento adecuado para realizar el mantenimiento como también las pruebas para detectar fallas o futuras fallas en este equipo, ya que el correcto diagnóstico es muy importante para así no interrumpir de forma innecesaria su funcionamiento en el sep, ya que esto también dejaría fuera de servicio al transformador, por lo cual generalmente se programa el mantenimiento en conjunto de estos dos equipos, sin tomar en cuenta los costos asociados al mantenimiento, los que son muy elevados.

Finalmente, en el tercer capítulo, desarrollaremos el mantenimiento en sí, describiendo todos los pasos para la realización, como también medidas de seguridad para el personal ejecutor al momento de realizar el mantenimiento, todo esto para optimizar al máximo los tiempos y así no tener el cambiador por un tiempo muy prolongado fuera de servicio.

CAPITULO I

CAMBIADORES DE DERIVACIÓN BAJO CARGA

Los cambiadores de derivaciones bajo carga (CDBC, en español ó OLTC, en inglés” On-Load TapChanger”) son indispensables para la regulación de tensión de transformadores de potencia utilizados en las redes de energía eléctrica. Estos están conectados en sus devanados. Los cambiadores de derivación son unos dispositivos que permiten seleccionar la derivación o toma de un devanado para cambiar la relación de espiras o relación de transformación ligeramente. Se fabrican de dos tipos Monofásicos y Trifásicos.

El cambio en la relación de transformación es normalmente $\pm 10\%$, aún cuando se pueden encontrar disponibles cambios de $\pm 5\%$ ó $\pm 7.5\%$, los pasos de variación varían desde 2.5% hasta 32 pasos para cubrir el rango normal de $\pm 10\%$ (0.625% por paso).

Normalmente los cambiadores de derivación o taps están localizados en los devanados primarios (de alto voltaje), debido a que se tiene que manejar en los cambios menos corriente de la que se manejaría si se localizarán en el devanado de bajo voltaje. Cuando se tiene una regulación de voltaje con cargas ampliamente fluctuantes se requieren cambiadores de derivación que puedan operar bajo carga de manera automática, para no interrumpir el suministro energético, esto también se pueden accionar de manera manual para efectos de mantenimiento y pruebas.

Existen muchos diseños para los cambiadores de derivación bajo carga y sólo se recomiendan cuando se justifica mejorar sustancialmente localidad del servicio, ya que su costo puede ser hasta el 5% del costo del transformador.

Los transformadores de potencia equipados con cambiadores de derivaciones o tomas bajo carga (CDBC) han sido los componentes principales de redes eléctricas por casi 90 años. Los CDBC permiten la regulación de voltaje y / o desplazamiento de fase variando la relación del transformador, con carga sin interrupciones. Desde el inicio del desarrollo del cambiador, dos principios de conmutación se han utilizado para la transferencia de carga operación - la alta velocidad OLTC del tipo de resistencia y los OLTC de tipo reactor. Durante las últimas décadas se han desarrollado ambos principios en componentes de transformadores fiables que están disponibles en una amplia gama de corriente y voltaje aplicaciones. Estos componentes cubren las necesidades de las redes eléctricas actuales y procesos industriales además de asegurar el sistema y el proceso de control óptimo.

Un cambiador de derivaciones bajo carga es la única parte con movimiento en un transformador. Su función es realizar la operación de cambio de una toma del arrollamiento de regulación a otra, permitiendo regular la tensión de salida del transformador a los niveles requeridos sin la interrupción del suministro energético. La valoración del estado electro-mecánico (buen estado o mal estado) de un cambiador de derivaciones bajo carga es importante para asegurar la fiabilidad

del transformador y por lo tanto del sistema de transmisión o distribución de energía eléctrica al cual se encuentre conectado.

El cambiador de tomas en carga es un elemento sometido a grandes solicitaciones mecánicas (actuación en pocos milisegundos), térmicas (conducen altas corrientes) y eléctricas (necesidad de interrumpir la corriente en un circuito resistivo o reactivo en un tiempo muy breve y, en ocasiones, existencia de elementos con grandes diferencias de potencial en un espacio reducido), es por ello uno de los elementos del transformador con mayor índice de fallos. De acuerdo a un estudio internacional, el 40% de los fallos de un transformador se producen en el cambiador de tomas en carga.

El estado de algunos de los elementos del cambiador (resistencias de conmutación, contactos) puede ser evaluado mediante inspecciones periódicas. Sin embargo estas inspecciones requieren tener el transformador desconectado un tiempo relativamente prolongado; esto implica un gasto considerable y requiere de un equipo de técnicos y operarios cualificados. Además, algunas de las partes de un cambiador de tomas en carga (contactos del selector, preselector) no pueden ser inspeccionadas debido a su localización dentro de la cuba del transformador.

A continuación se explicaran los CDBC del tipo de resistencia y CDBC de tipo reactor. Se discuten los principios generales de conmutación para uno y su ciclo. CDBC conceptos de diseño de hoy en día, incluyendo el nuevo CDBC tipo vacío. La tecnología de conmutación en vacío y sus ventajas en cuanto a sus tiempos de mantenimiento respecto a los CDBC en aceite.

La mayoría de los CDBC se instalan dentro de la cuba del transformador (Fig. 1), aunque algunos modelos de CDBC se encuentran en un compartimento separado que normalmente está soldado al transformador depósito (Fig. 2). Este documento se refiere principalmente a CDBC inmersos en transformador.

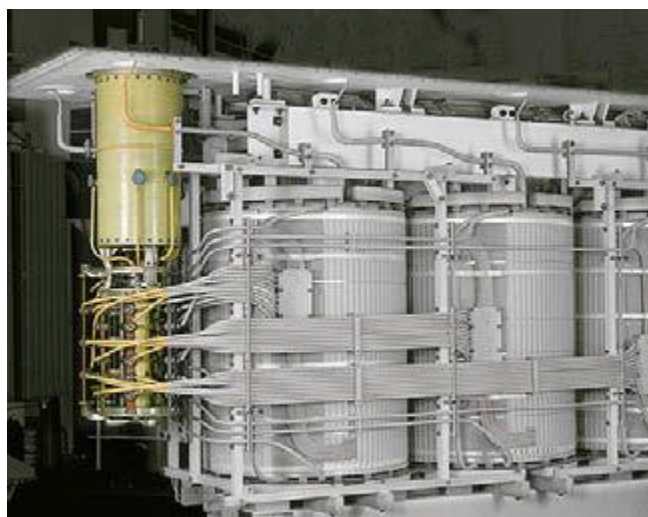


Fig. 1 Fig. 2

El mantenimiento predictivo es una metodología de diagnóstico del estado de los equipos, que permite pronosticar el momento de falla de un elemento en una máquina, de tal forma que dicho componente pueda reemplazarse, justo antes de que falle, maximizando la calidad del servicio y la fiabilidad y minimizando el coste global de operación (incluidas penalizaciones) y mantenimiento.

En los equipos muy costosos está justificado y es muy recomendable utilizar un sistema de monitorización, puesto que es posible detectar averías en cada uno de los elementos constitutivos del cambiador de tomas en carga en una etapa temprana y diferir el mantenimiento cuando el sistema de monitorización muestra un desgaste reducido.

El método de mantenimiento predictivo sin descargo más clásico, es la medida de los gases disueltos en el aceite del cambiador de tomas en carga; sin embargo, este procedimiento no es válido para detectar un elevado número de defectos incipientes hasta que éstos han derivado en averías más o menos importantes. El diagnóstico del estado de un cambiador de tomas en carga es una tarea difícil incluso para un experto en mantenimiento.

Por supuesto este tipo de mantenimiento no siempre es puesto en práctica debido a diferentes factores, mayoritariamente económicos puesto que estas tecnologías de monitorización son bastantes costosas además del personal apto para ejecutarlas.

Cuando esto ocurre el mantenimiento que se le efectúa al los CDBC es correctivo de manera que cuando el equipo presente una falla se realizan las acciones necesarias para reparar en caso que la falla sea menor o sustituir el equipo en caso que el daño haya destruido componentes críticos para el dispositivo.

1.1 Clasificación a grandes rasgos de los cambiadores de derivación.

Los cambiadores de derivación se pueden clasificar con respecto al estado de energización del transformador bajo el cual operan, en:

- Cambiadores de derivación sin carga.
- Cambiadores de derivación bajo carga o con carga.

Estos serán explicados a continuación con más detalle para comprender el funcionamiento general de cada tipo de cambiador de derivaciones, aunque se ahondara con mayor profundidad en los cambiadores de derivación bajo carga puesto que es tópico central de esta tesis.

1.2Cambiadores de derivación sin carga.

Para que este tipo de cambiadores opere, todo el transformador debe estar des-energizado o desconectado del circuito, y no solo “sin carga” como lo dice su nombre en español, esto a razón de que las corrientes de excitación presentes para la energización del transformador tendrían que ser interrumpidas por el cambiador para realizar el cambio de derivación.

Por lo tanto la aplicación de los cambiadores de derivación sin carga está dirigida principalmente a aplicaciones en donde la tensión de la red tiende a ser muy elevado o muy bajo. En el caso de tensiones bajas, en subestaciones que fueron proyectadas según una cierta cantidad de carga y que posteriormente vieron aumentada su capacidad, se produce una caída de tensión por tal aumento de capacidad, y por otro lado, al ser elevado, como en el caso de las subestaciones, que reciben como alimentadores a líneas largas y por consiguiente con un alto valor capacitivo, lo cual inherentemente producirá una elevación de tensión en la acometida



Fig.3 Cambiador de derivaciones sin carga

Funcionamiento.

El funcionamiento de estos cambiadores se puede hacer tanto en tanques monofásicos como en tanques trifásicos, y actualmente existen modelos, de ciertos fabricantes, que alcanzan tensiones de operación de 245 kV y corrientes de operación máximas de hasta 2000 amperes. Sin embargo no suelen ser utilizados en tanques de tan grandes potencias, por razones que se explicarán posteriormente.

Estos cambiadores son instalados dentro del tanque principal del transformador y usualmente son montados por encima del conjunto núcleo embobinados, lo cual facilita mucho la inspección y el mantenimiento porque, cabe mencionar, estos cambiadores suelen estar operando en una sola posición durante largos periodos de tiempo, por lo que se crean delgadas capas de sulfato de cobre lo cual incrementa la resistencia de contacto.

Selección.

Para una buena selección es importante tomar en cuenta los estándares nacionales e internacionales, por lo que se puede acudir al estándar internacional IEC 60214[20], el cual contiene la información sobre la obtención de parámetros, pero en general los aspectos importantes a tomar en cuenta son:

- nivel de aislamiento
- corriente nominal
- corriente de sobre carga
- voltaje de paso
- corriente de corto circuito
- número de posiciones de derivaciones
- tipo de mando mecánico para la operación de cambio de derivación

Por otro lado, si se encuentra en la selección de uno de estos cambiadores se recomienda la elección de uno con contactos recubiertos de plata o estaño, lo cual evita el problema de las capas de sulfato de cobre en los contactos.

Debido a que las prestaciones ofrecidas por este tipo de cambiador de derivaciones resultan poco prácticas en las redes eléctricas actuales las cuales presentan un mayor dinamismo en su diario funcionamiento el ya mencionado cambiador ha quedado obsoleto y son casi inexistentes.

1.3Cambiadores de derivación bajo carga CDBC.

Tempranamente en los inicios de los sistemas eléctricos de potencia resultó evidente la necesidad de los cambiadores de derivación bajo carga por dos grandes razones; por un lado los transformadores que transmiten una gran cantidad de energía dentro del sistema resultan ser indispensables para el continuo suministro de energía, ya que están situados en lugares estratégicos y el desconectarlos, en muchas ocasiones, representa una pérdida de carga importante, ya que los circuitos aledaños no alcanzan a suministrar la cantidad de energía que hubiese transmitido el transformador de alta tensión, que en ocasiones transmiten tanta energía, que se utilizan tres transformadores monofásicos para formar un solo banco de transformación trifásico con la capacidad de potencia de la suma de los tres transformadores, con lo cual la desconexión del banco resulta ser la pérdida de transmisión de tres transformadores al mismo tiempo.

Por otro lado las variaciones de carga, y por tanto de voltaje, en un solo día resultan ser tan variadas y frecuentes que resulta evidentemente impráctico tener que desconectar el transformador para hacer el cambio de tap, ya que para cuando se energice nuevamente el transformador, la carga será diferente.

De esta manera podemos decir entonces que el cambiador de derivación bajo carga abreviado con las siglas CDBC o bien con las siglas OLTC por su nombre en inglés “On-Load Tap-Changer” es el dispositivo electromecánico que nos permite hacer el cambio de taps sin necesidad de desconectar el transformador y por ende trabaja el cambio bajo la carga total.

Usualmente los cambiadores de derivación bajo carga están diseñados para ser conectados en los embobinados del lado de alta tensión, ya que como se ha explicado, la corriente en este lado resulta ser menor que en el lado de baja tensión (con la relación de la Ec.4) y se pueden aprovechar varias ventajas con esto.

Primeramente la capacidad interruptiva en las partes que realizarán la función de interrupción no necesitan ser tan grandes, por lo que se reducen espacios y costos; por otro lado como ya se mencionó, en el lado de alta tensión los embobinados tienen más número de espiras que en el de baja, por lo que se pueden sacar más cantidad de derivaciones por embobinado y de esta manera se puede hacer una regulación más fina; adicionalmente como es de imaginarse el hecho de que el lado de alta tensión transmita menor corriente que el lado de baja tensión provoca que utilice un conductor con sección transversal más delgada en el lado de alta que en el de baja y se vuelven más manipulables los conductores de las derivaciones, por lo que se realizan más fácilmente maniobras como instalaciones y mantenimientos.

Funcionamiento.

A semejanza de los cambiadores de derivación sin carga, estos pueden funcionar tanto para tanques monofásicos como para tanques trifásicos. Para los cambiadores de derivación bajo carga existen muchas características diferentes derivadas de los distintos diseños y modelos de los fabricantes, por lo cual más adelante se hace un especial análisis de las características para lograr su clasificación. Sin embargo, dentro de las generalidades se puede decir que los cambiadores de derivación bajo carga dividen principalmente su funcionamiento en tres partes.

Derivaciones que vienen de los devanados, por medio de las terminales que no solo ajustan, sino que también ordenan y separan las terminales entre sí para guardar las distancias entre sus partes vivas, las cuales pudieran producir fallas debido a la ruptura de la rigidez dieléctrica del aceite por la tensión de paso entre terminales.

La segunda parte de los cambiadores es el cuerpo conmutador del cambiador, el cual es el encargado de conmutar las corrientes de carga sin que se vea interrumpido el suministro de energía a los usuarios. Como se verá a continuación la forma en que esto se puede llevar a cabo es variada, pero en general esta parte del cambiador no comparte el aceite aislante con el tanque principal del transformador, por lo que al compartimento que contiene al cuerpo ruptor con su respectivo aceite aislante se le llama “depósito de aceite”.

Finalmente la tercera parte es el mecanismo de mando motor el cual proporciona el movimiento físico que requiere el cambiador de tomas para la conmutación de carga, el mando motor en este caso es necesario ya que a diferencia del cambiador sin carga, en este no puede ser utilizado el mecanismo de manubrio para el cambio manual de tomas, pues

sería de extremo peligro maniobrar en la parte superior del transformador con las boquillas energizadas, pese a esto existe la posibilidad de maniobrar manualmente el cambio de tomas, lo cual se explicará con más detalle en el respectivo punto.

1.4 Estructura general de un cambiador de derivaciones bajo carga.

La estructura básica de un cambiador de tomar en carga consta de los siguientes elementos esenciales:

- Mecánica de Accionamiento y mando motor.
- Regulador Automático de Voltaje (AVR).
- Mecanismo de transmisión
- Cabeza del cambiador
- Depósito de aceite.

- Conmutador o ruptor (en notación inglesa diverterswitch) Selector de tomas (selector switch) y preselector

1.4.1 Mecánica de Accionamiento y mando motor

De forma similar a los cambiadores de derivación sin carga, en los cambiadores de derivación bajo carga el movimiento mecánico en sus componentes, para el cambio de derivaciones se realiza mediante un eje giratorio aislante (el cual consiste en una barra dieléctrica especialmente fabricada para transmitir el movimiento físico externo) solo que ahora no solo mueve un contacto, sino que acciona todos los mecanismos del cuerpo ruptor y a su vez al selector de tomas, adicionalmente a estas dos funciones principales, también representa el principal aislamiento de los interruptores de conmutación a la tensión de tierra.

Para que se lleve a cabo el accionamiento físico de esta barra aislante, existe un mecanismo de accionamiento externo para la conmutación, el cual es llamado mando motor, el cual se encuentra localizado en un costado del transformador con la altura adecuada para una visualización y revisión a nivel de los gabinetes de control.

Luego entonces, la conexión entre estas dos piezas (la barra aislante y el mando de accionamiento) se lleva a cabo por medio de un árbol de transmisión mecánica que utiliza engranajes cónicos, también llamados codos, para recibir el momento de giro del accionamiento y transmitirlo en una rotación a noventa grados. Primeramente se usa una caja de engranes cónicos en el borde del transformador para que la barra pueda subir hasta la tapa del transformador y transmitirla en otra barra paralela a la tapa del transformador que llega a la parte superior o tapa del cambiador de derivaciones, y posteriormente ahí se encuentra otra caja de engranajes cónicos que toma la rotación de la barra paralela a la tapa y la transmite finalmente a la barra aislante que queda confinada dentro de todo el estanque del cambiador de derivaciones.

El barral que se utiliza para el árbol de transmisión mecánica suele ser de sección transversal poligonal para proporcionar la retención mecánica en el giro, aunque también se pueden utilizar otras formas como lo es la circunferencial en donde, para la utilización, se ve forzado el uso de chavetas o pasadores en la retención.

Este accionamiento mecánico o mando motor, como se explicó brevemente en el apartado de mecanismos de operación para cambiadores sin carga, presenta tantas ventajas de un accionamiento manual como las de un accionamiento electrónico con motor.

Por ser el más sencillo se empezará con el accionamiento manual mecánico, el cual consiste en una manivela la cual puede transmitir directamente la rotación de movimiento del brazo (humano) al engranaje que sale al árbol de transmisión mecánica, esta manivela usualmente se encuentra localizada desmontada en un costado del gabinete del accionamiento, ya que esta opción no se utiliza normalmente, y de manera regular solo se requeriría cuando el circuito electrónico de control al motor no funcionara, o bien en los ajustes de sincronización.

Finalmente para que los usuarios puedan utilizar de forma correcta y segura la manivela, los fabricantes muestran claramente como parte de las indicaciones en el gabinete, la dirección del giro

para ascenso y descenso respectivamente, así como también la cantidad de vueltas en manivela para llevar a cabo un ciclo completo de conmutación, y que de esta manera quede funcionando correctamente el cambiador, (aspecto muy importante sobre todo en tecnologías que utilizan impedancias resistivas).

Por otro lado el accionamiento por medio de circuito electrónico y motor, es el más usado, ya que presenta varias opciones para su operación, y es tan usado que el mecanismo completo es mejor llamado mando motor. Este circuito tiene la posibilidad de un control local manual, de un control remoto, y en conexión con un regulador de voltaje puede funcionar como un servomecanismo, como se explica a continuación respectivamente.

Ya que el accionamiento manual mecánico puede implicar riesgos, con la velocidad de giro y en el término de la conmutación, para quedar en una correcta posición de servicio final, los fabricantes dan la posibilidad del control manual local por medio del mismo circuito electrónico, el cual se puede proporcionar mediante una perilla o botones. En el caso de la perilla, la manipulación es por medio de giro (en sentido de giro de las manecillas del reloj y en contra sentido, para descenso y ascenso, respectivamente) y en el caso de los botones uno es solo para ascenso y otro es para descenso.

Por otro lado está la posibilidad de controlar el cambiador por medio de la unidad terminal remota (UTR) la cual recibe todos los parámetros de operación de la subestación, los cuales son evidentemente necesarios para la correcta operación de los dispositivos, entre los cuales está el cambiador de derivaciones. Estas unidades están instaladas dentro de las casetas de las subestaciones y actualmente centralizan toda su información a una estación maestra, por lo cual podrían ser operados desde la caseta de control o bien de forma remota a través de la estación maestra.

Otra importante opción para el accionamiento y operación de los cambiadores es la interconexión del sistema de mando motor a un regulador automático de voltaje (AVR) con el cual adquieren las habilidades de un servomecanismo, es decir, que tiene la capacidad de ser operado por sí mismo, ya que al recibir los parámetros de voltaje y corriente por medio de transformadores de instrumento regula su actividad en función de las circunstancias y modifica su estado en la situación de un límite de operación.

En ambos casos, tanto el mando motor como el regulador de voltaje, deben ir en gabinetes, los cuales provean protección contra influencias externas, en cualquier dirección, pero sobre todo para evitar contacto directo del personal con partes peligrosas, como lo son conductores energizados o partes móviles capaces de provocar daño.

Para ser exactos, estos gabinetes deberán cumplir con los requerimientos de una protección IP44 que de acuerdo con el estándar internacional IEC 60529 corresponde al impedimento de ingreso a objetos sólidos mayores a 1 mm de diámetro y contra la salpicadura de líquidos.

Como parte de sus funciones, el mando motor, tiene la utilidad de mostrar la posición de la derivación en la cual se encuentra trabajando en ese momento el transformador y adicionalmente tiene la obligación de contabilizar y mostrar el número de operaciones que lleva acumuladas desde

su instalación, de tal forma que este contador pueda ser utilizado para conocer el ritmo de trabajo del cambiador y principalmente para saber el momento indicado para un mantenimiento y a su vez para el cambio del cuerpo ruptor, ya que es el principal afectado con las operaciones.

Debido a esto, los gabinetes de protección de mando motor deben dejar sobre la carcasa frontal una mirilla que permita visualizar los parámetros antes mencionados (posición y número de operaciones).



Fig. 4 Armario de accionamiento y mando

1.4.2- Regulador Automático de Voltaje (AVR).

Como se mencionó brevemente en el apartado anterior los reguladores de voltaje reciben los parámetros para su correcto funcionamiento de transformadores de instrumento, es decir, de transformadores de corriente (TC) y de potencial (TP) para parámetros de corriente y tensión respectivamente, por lo tanto el AVR debe tener la capacidad de comparación de parámetros y toma de decisiones por lo que, para una correcta y continua operación, se debe hacer el ajuste de diferentes parámetros de servicio, los cuales pueden ser configurados todos en un mismo regulador o bien la mezcla de algunos de ellos, dependiendo de los modelos y marcas de fabricantes, que son los siguientes.

Valor de consigna. Este valor se refiere a la tensión a escala que se obtiene del secundario del transformador de potencial.

Sensibilidad (%). La diferencia de potencial entre derivaciones adyacentes (tensión de paso) puede variar de un transformador a otro por lo tanto usualmente se utiliza este valor en por ciento. Este valor puede ser ajustado mediante la tensión de paso como se muestra a continuación, en donde:

$E =$ sensibilidad(%).

$U_{st} =$ Tensión de paso.

$U_{nom} =$ Tensión nominal.

$$E(\%) = \frac{U_{st}}{U_{nom}} \times 100$$

Para insertar un valor de sensibilidad en el ajuste de parámetros del AVR se debe tomar en cuenta que al tener parámetros muy cercanos al valor de ajuste, el cambiador podría operar muy consecutivamente con cargas variables que pueden no requerir del cambio y con ello acelerar los tiempos de mantenimientos y disminuir el tiempo de vida útil del cuerpo ruptor.

Tiempo de retardo. El tiempo de retardo se refiere a la cantidad de tiempo que el AVR debe dejar pasar para pedir la conmutación una vez que el valor recibido por TP tenga una desviación (ΔU) que rebase la sensibilidad (E).

En algunos casos el tiempo de retardo está en función de que tan grande es la desviación con respecto a la sensibilidad por lo que el ajuste que uno realiza en el AVR resulta ser solo un factor para el tiempo de retardo efectivo, como se muestra con la siguiente ecuación, la cual nos da una respuesta logarítmica al cambio de derivaciones.

$$Retardo_{Efectivo} = \frac{Retardo_{ajustado} \times E(\%)}{\Delta U(\%)}$$

En donde:

$Retardo_{ajustado}$ = tiempo de retardo ajustado como parámetro en el AVR.

E (%) = sensibilidad.

ΔU (%) = desviación de la tensión recibida del TP.

En algunos casos los reguladores pueden dar la opción de un segundo valor ajustable para tiempo de retardo, y este tiempo aplicaría solamente cuando fuese necesaria más de una conmutación para reducir la desviación de regulación por debajo de la sensibilidad. Por ser alta la desviación, los tiempos de retardos suelen ser mucho menores, es decir, normalmente de 0 a

10 segundos, mientras que en un retardo normal puede haber rangos de 0 a 360 segundos.

-Bloqueo de Subtensión ($U <$). Impide conmutaciones de escalón en caso de colapsos de la red.

-Ajuste de sobretensión ($U >$). Al responder el relevador de sobretensión, el cambiador es activado mediante excitación periódica al accionamiento de mando motor, hasta que el valor de tensión mediado baje por debajo del umbral de reacción.

-Ajuste de Sobrecorriente ($I >$). Ya que el AVR tiene la vigilancia del parámetro de corriente, se puede activar el bloqueo, impidiendo conmutaciones en caso de sobrecargas, bloqueando los impulsos de salida del regulador y la alarma reacciona en el momento.

1.4.3 Mecanismo de transmisión.

Para realizar cambios de una toma a otra, el cambiador de tomas en carga es movido por un mecanismo de accionamiento motorizado, a través de los ejes de transmisión vertical y horizontal y cajas de reenvío en ángulo, al cual se le denomina mecanismo de transmisión.

Un funcionamiento anómalo de cualquiera de los elementos de la transmisión puede provocar una desregulación, es decir una situación en la que la posición real del cambiador de tomas en carga no corresponda con la posición indicada en el armario de mando.

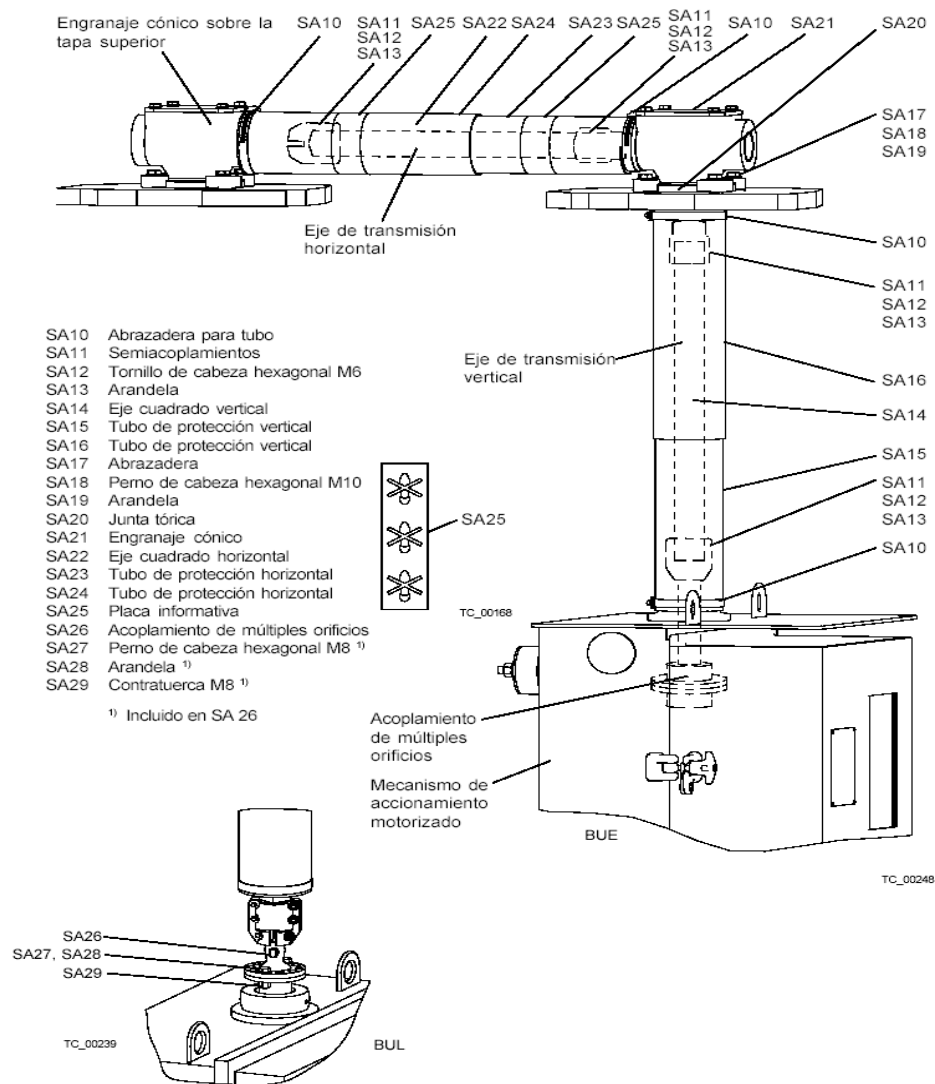


Fig. 5 Mecanismo de Transmisión.

1.4.4 Cabeza del cambiador.

La cabeza del cambiador de tomas en carga es un receptáculo metálico situado en la parte superior del cambiador de tomas en carga al que sirve de soporte, como se ilustra en la figura 6. En su interior se encuentran los mecanismos acumuladores de energía del conmutador y las cruces de malta de accionamiento del selector.

En la cabeza del cambiador dispone de una serie de tuberías para la conexión del conmutador con el depósito de expansión de aceite, para la toma de muestras de aceite, el vaciado del depósito del conmutador y el filtrado de aceite.



Fig. 6 Cabeza del regulador.

1.4.5 Depósito de aceite.

El depósito de aceite de fibra de vidrio y resina con forma cilíndrica, con su extremo superior unido a la cabeza del cambiador y el extremo inferior cerrado por el fondo del depósito. Mantiene al ruptor en una cámara de aceite independiente del aceite del transformador, además mediante un anclaje especial se soporta el selector de tomas.



Fig. 7 Depósito de aceite.

1.4.6 Selector de derivaciones. (Selector Switch)

El selector conduce la corriente de carga de la toma en servicio y selecciona la próxima toma a conectar. Se encuentra alojado en la cuba del transformador (bañado por su mismo aceite) o en un depósito adosado a la cuba principal y separada de la misma mediante una simple barrera de pressboard (selector externo). El selector es movido por un sistema mecánico sincronizado con el conmutador.

El selector, junto con el mecanismo acumulador de energía, es el primer elemento en moverse al recibir una orden de cambio. No corta ni establece carga.

Puede incorporar un preselector que permite duplicar el número de posiciones del selector. El preselector se mueve accionado por el selector sólo en momentos muy concretos de su recorrido.

El selector sólo permite el cambio desde una determinada toma a la toma siguiente o a la precedente, pero nunca el cambio entre dos tomas no correlativas.

El selector se encuentra unido de forma rígida al arrollamiento. Debido a ello no es posible extraerlo para realizar inspecciones durante el mantenimiento rutinario. En el caso de selectores internos, la cuba dispone de una boca de hombre que se puede abrir (previo vaciado parcial de aceite del transformador) en el caso de que existan sospechas fundadas de que existe una avería en el selector.

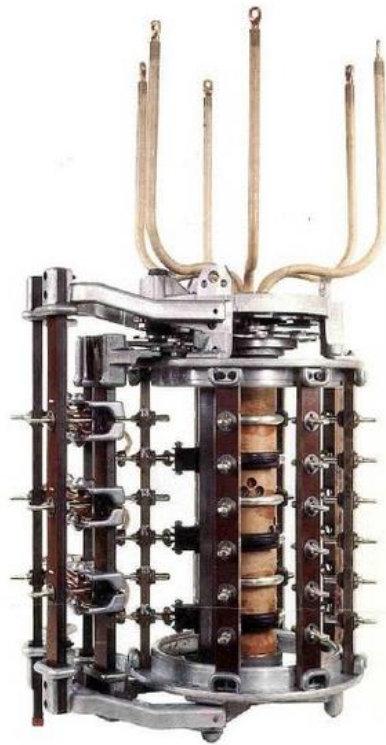


Fig. 8 Selector de tomas.

1.4.7 Conmutador o ruptor. (Diverter Switch)

El conmutador es el elemento que efectúa la transferencia de la intensidad de carga desde la toma en servicio a una toma próxima seleccionada (conmutación) sin interrumpir el servicio. Incorpora unos contactos fijos y otros móviles y está conectado al selector.

El conmutador se encuentra inmerso en un depósito de aceite independiente de la cuba del transformador, para evitar contaminarlo, debido a la degradación que sufre el aceite durante el proceso de conmutación.

El conmutador está unido a la cabeza del cambiador, de manera que forma un único cuerpo extraíble para efectuar las operaciones rutinarias de mantenimiento.

Durante el cambio de toma, es accionado por un mecanismo acumulador de energía de resortes ubicado en la cabeza del cambiador, que almacena energía durante la mayor parte del tiempo del cambio (entre 5 y 7seg) y libera la energía al final de la maniobra (40mseg).

Para limitar la corriente, el conmutador incorpora unas resistencias (lo más frecuente en Europa) o reactancias transitorias de conmutación.



Fig. 9 Conmutador o ruptor.

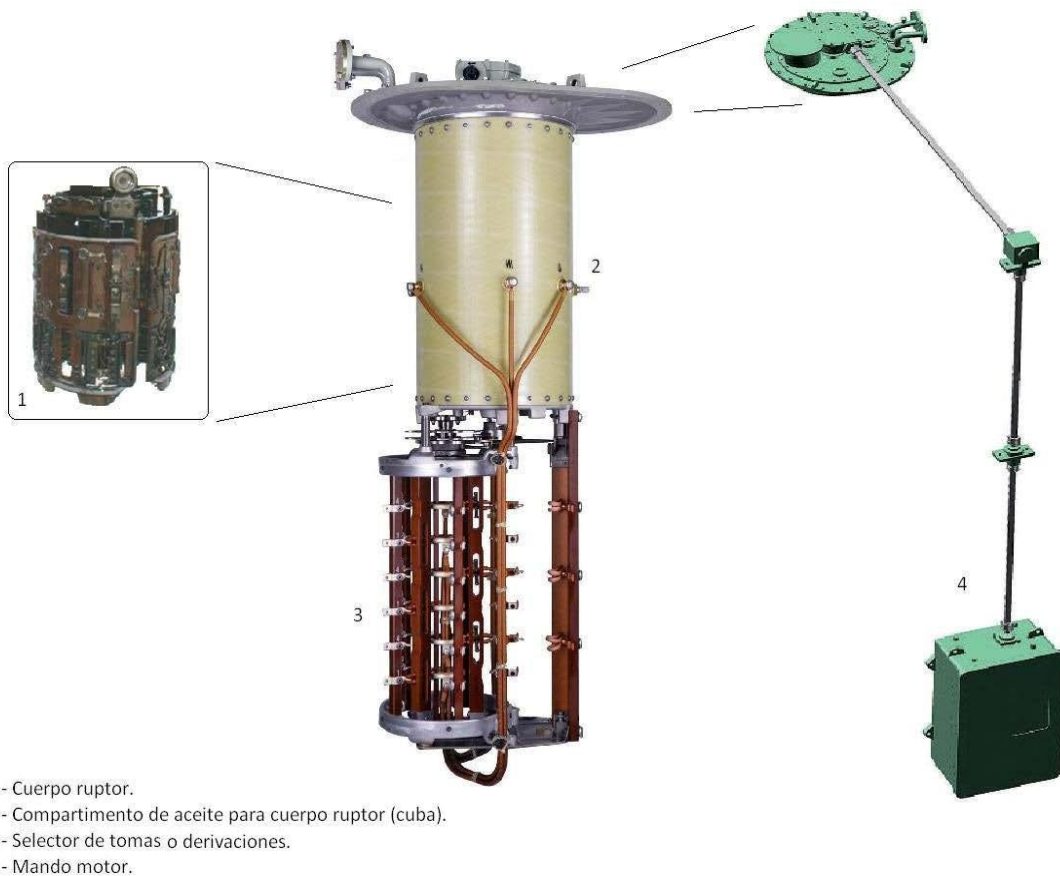


Fig. 10 Cambiador de derivaciones con sus componentes.

1.5 Clasificaciones del cambiador de derivaciones bajo carga.

Retomando el tema abordado a inicios de los fundamentos del funcionamiento de los cambiadores de derivación bajo carga, las características funcionales pueden ser muy variadas, ya que estas dependen de factores tanto de fabricantes de transformadores como de fabricantes de cambiadores los cuales a su vez manejan varias tecnologías y varios modelos.

Sin embargo, de la forma más generalizada se pueden clasificar dependiendo de tres diferentes aspectos de funcionamiento, los cuales son:

- según el medio de interrupción de la corriente de paso
- según la impedancia de conmutación
- según su ubicación de funcionamiento.

Ya que estas a su vez pueden ser subdivididas, se realiza a continuación un estudio de cada una de las mencionadas clasificaciones en un apartado independiente, con la finalidad de abarcar cada una de sus subdivisiones.

A su vez vale la pena aclarar desde este punto que, finalmente en la variedad de marcas y modelos que existen, se lleva a cabo la mezcla entre las clasificaciones aquí señaladas, es decir, una ubicación específica para el funcionamiento puede ser utilizada con las diferentes impedancias de conmutación y por otro lado con diferentes medios de interrupción para la corriente de paso.

1.5.1 Clasificación de cambiador de derivaciones según medio de interrupción.

Evidentemente los transformadores pueden tener una gran variedad de capacidades de potencia, entonces en general todos los componentes del transformador se deben diseñar con respecto a su capacidad y parámetros, por lo tanto el diseño de los cambiadores de derivación, no son la excepción.

Para los transformadores de alta tensión y gran capacidad de potencia, los cambiadores en general guardan el esquema del selector de tomas únicamente para el cambio en la selección de la derivación o toma adyacente, y en el caso del conmutador, únicamente para la interrupción de corrientes de paso.

De tal forma que los medios de interrupción aplican para el conmutador, y son básicamente los dos siguientes:

- Por medio de interruptores en vacío o
- con interruptores de aceite.

Por otro lado, cuando el cambiador se va a utilizar en transformadores de menor tensión y potencia, se unifica el funcionamiento del conmutador con el funcionamiento del selector de tomas llamándose el dispositivo selector-conmutador. Por consiguiente el funcionamiento de este dispositivo es la conmutación de la corriente con la desconexión física del selector.

Es importante mencionar que el dispositivo de interrupción que se utilice es monofásico por lo que en un transformador trifásico se utiliza un cambiador con un polo trifásico que contiene tres interruptores iguales, uno para cada fase, o bien en el caso de bancos de transformación monofásicos el cambiador utilizaría tres polos monofásicos, un polo para cada transformador.

1.5.1.1 Interrupción en aceite.

Como bien es sabido el aceite mineral que es utilizado para aislar las partes conductoras del transformador también es utilizado para extinguir el arco eléctrico en los interruptores de potencia, por su gran capacidad dieléctrica, luego entonces no es sorpresa que se utilice como medio de extinción de los cambiadores de derivación.

Sin embargo, los residuos productos de la descomposición de aceite, en la interrupción, son factores que afectan sus propiedades dieléctricas, por lo que en el caso de los cambiadores con interrupción en aceite, es de suma importancia que el aceite que está siendo utilizado como medio de extinción

de arco no tenga contacto con el tanque principal del transformador y quede confinado en un espacio único, que como se mencionó anteriormente es llamado cuba.

1.5.1.2 Interrupción en vacío.

Pese a que el cambiador en general debe ir sumergido en aceite para guardar las distancias dieléctricas que se deben respetar entre los conductores energizados, el cambiador es llamado en vacío porque utiliza como medio de extinción del arco eléctrico botellas de vacío, se ha drenado el contenido del aceite del cambiador quedando al aire libre una botella de vacío.

Cabe mencionar que esta tecnología cada vez está cobrando más terreno dentro del mundo de los cambiadores, ya que ha sido una tecnología en constante evolución y actualmente presenta muchas más ventajas que las tecnologías en aceite.

Primeramente ya que no existe arqueo para la conmutación, el aceite no se descompone, y con ello se evitan los residuos productos de la descomposición, como lo son asentamientos de carbón y gases disueltos, los cuales son inflamables y explosivos.

Presentando entonces, como ventajas técnicas, una mayor confiabilidad del equipo, se evita la afectación en pruebas para el aceite, como es la cromatografía de gases y se reduce la necesidad de mantenimientos mayores; por otro lado como ventajas económicas se tiene la posibilidad del re-uso del aceite del cambiador, por lo que se disminuyen los gastos por mantenimiento y se aumenta el tiempo de vida útil dando una mejor amortización.

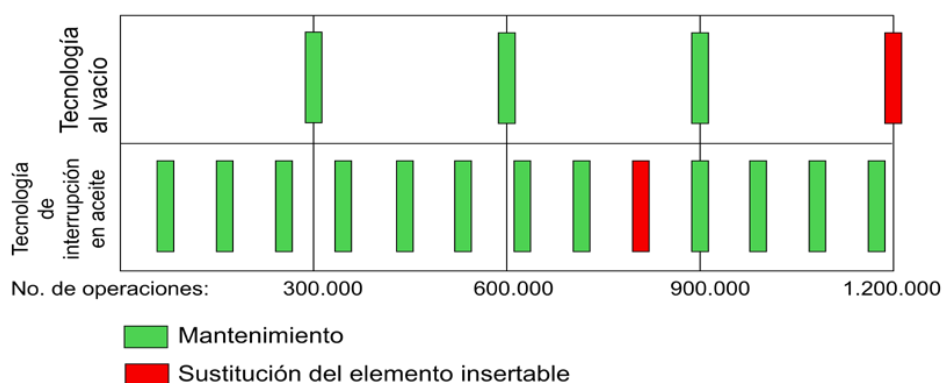


Fig. 11 Gráfica comparativa de tiempos de mantenimiento, en función del número de operaciones.

1.5.2 Cambiador de derivaciones según impedancia de conmutación.

Ya que el cambiador bajo carga tiene como objetivo realizar el cambio de derivación sin que se vea interrumpida la corriente de carga, debe seguir una secuencia de conmutación en la cual se haga contacto con la siguiente terminal antes de abrir el contacto con la terminal en la cual se está trabajando en ese momento, por lo cual para que un cortocircuito no se lleve a cabo entre las derivaciones involucradas se hace necesario el uso de impedancias que intervengan para limitar la corriente circulante que queda encerrada en el circuito de puenteo que se hace con la conmutación.

Luego entonces este objetivo se puede llevar a cabo mediante dos diferentes métodos, el primero es mediante la impedancia de tipo “resistivo” y el segundo es mediante la impedancia de tipo “inductivo” o también llamada “reactivo”, los cuales son explicados con más detalle a continuación.

1.5.2.1Cambiador de derivación tipo resistivo.

Este primer tipo de cambiadores de derivaciones bajo carga utiliza resistencias eléctricas para la conmutación, con arreglos desde una resistencia hasta múltiples resistencias, adicionalmente cada una de estas resistencias debe tener la capacidad de soportar la corriente total de carga más la corriente circulante que se produciría con dos pasos de diferencia, esto a razón de reducir la energía de disipación en forma de calor, la cual produce obviamente una gran elevación de temperatura en los resistores.

Por las mismas razones de la elevación de temperatura y las corrientes circulantes que resultan de la posición de puenteo, este tipo de cambiadores no pueden permanecer en servicio con esta posición y los cambios de voltaje se limitan al arreglo del devanado. Adicionalmente, tienen como característica estos cambiadores, que realizan el proceso completo de transición en tiempos muy cortos, ya que con esto acortan el tiempo en el cual la resistencia está sometida a la corriente, que si bien no necesariamente es la corriente total de carga (ya que esto depende del arreglo de conmutación), siempre produce una elevación de temperatura.

A continuación se ilustrará la Secuencia de una operación para la conmutación de tipo resistiva.

En donde:

CP= Contacto Principal

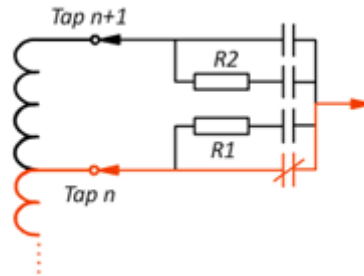
CT= Contacto de Transferencia

R= Resistencia

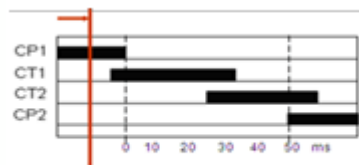
=> Posición Inicial =“n”

=> Posición final =“n+1”

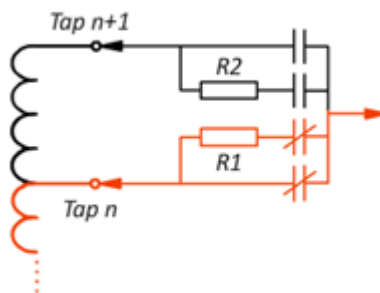
1) el primer esquema nos ilustra de manera simplificada el conexionado interno entre dos derivaciones y el comienzo de la transición desde una derivación hacia otra. Inicialmente el CDBC se encuentra en una posición de servicio cualquiera “n” en la cual el transformador está operando. Podemos ver como el contacto principal nº 1 de la derivación “n” mantiene la derivación anclada.



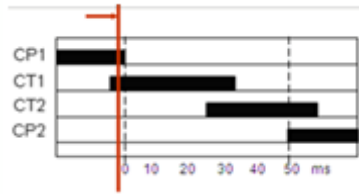
La grafica muestra la secuencia de los contactos de la transición de una derivación a otra en función del tiempo. En primera instancia se aprecia como el contacto principal 1 está cerrado manteniendo la derivación actual. se puede apreciar que el cambio de una derivación a otra transcurre en un periodo de tiempo bastante corto (50 milisegundos aprox.).



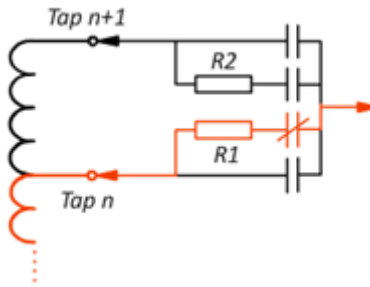
2) El cambio será hacia una posición adyacente “n+1”, este comienza cerrando el contacto de la resistencia de transición 1 (R1). Con estos dos contactos cerrados el CDBC aún está en la posición “n” pero a punto de cambiar a “n+1”.



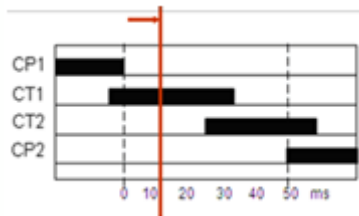
Como se puede apreciar en la grafica en este punto el contacto principal 1 y el contacto de transferencia de la resistencia R1 se encuentran cerrados.



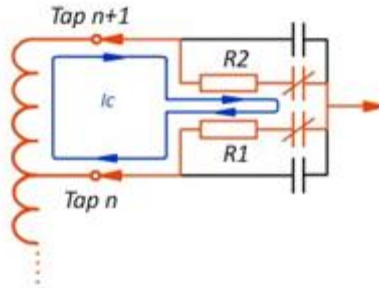
3) Luego se produce la apertura del contacto principal 1 lo que produce el desvío de la corriente carga, quedando toda la corriente de carga sobre la resistencia de transición R1 manteniendo aun la posición “n”.



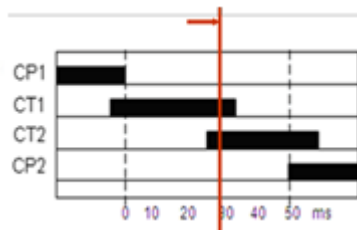
En este punto el contacto principal 1 se ha abierto lo cual deja operando solo al contacto de transferencia de la resistencia de transición R1.



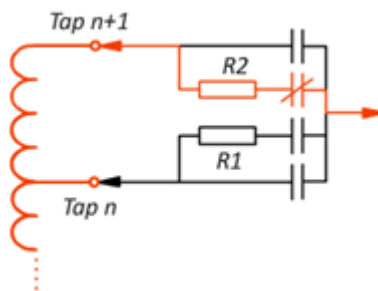
4) Se inicia la transferencia de carga cerrando el contacto de la resistencia de transferencia R2. Quedando puenteadas las derivaciones se provoca una corriente circulante derivada de la tensión de paso. En esta posición la corriente de carga se divide en partes iguales, debido a que el valor óhmico de las resistencias es el mismo. Durante esta transición la que es muy rápida el n° de espiras que con las que opera el transformador es el de la posición “n+1”.



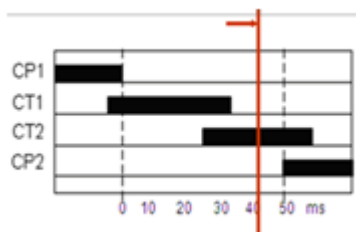
En este punto están operando los dos contactos de transferencia de ambas resistencias de transición (R1 y R2).



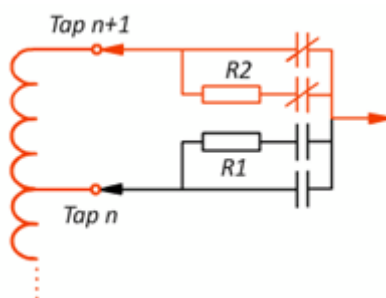
5) Luego se abre el contacto de la resistencia de transferencia R1, quedando toda la carga transferida en la derivación “n+1” por medio de la resistencia de transferencia R2. Aun esta fase es de transición para que el cambio se concrete definitivamente la corriente de carga debe circular a través de la rama del contacto principal 2.



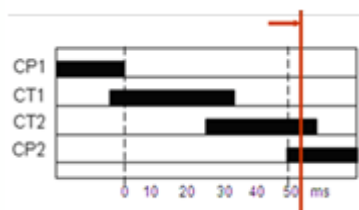
Como se puede apreciar en la grafica en este punto queda operando solo el contacto de transferencia de la resistencia de transición R2.



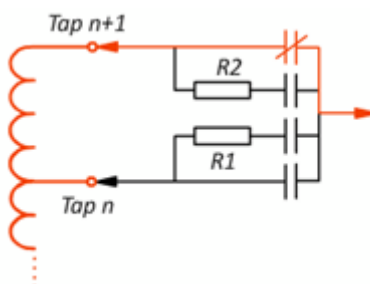
6) Luego se cierra el contacto principal n° 2 con lo cual se desvía la corriente de carga al conductor principal cerrando el contacto principal 2. Operando casi en la derivación “n+1” de manera estable.



En la grafica podemos apreciar cómo están operando tanto el contacto de principal 2 con el contacto de transferencia 2, en la transición hacia el estado estable.



7) Se completa la transferencia librando de corriente de carga a la resistencia de transferencia R2 y “n+1” se convierte en la nueva posición de servicio.



Finalmente queda cerrado y estable el contacto principal de la posición de servicio a la cual se produjo el cambio "n+1", hasta que se requiera un cambio hacia una nueva posición de servicio.

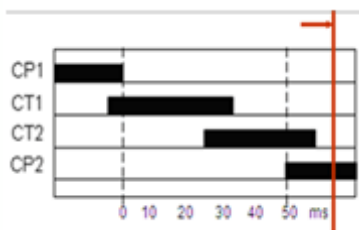


Fig.12 Secuencia de una operación para la conmutación de tipo resistiva.

1.5.2.2 Cambiador de derivación tipo reactivo (inductivo).

La segunda forma de llevar a cabo la conmutación sin que se vea producida una corriente de cortocircuito entre las derivaciones involucradas es bajo el método de conmutación de tipo reactivo, llamado así por usar inductores, en lugar de resistencias, como medio de impedancia entre derivaciones.

Estos inductores no disipan tanta energía como los resistores ya que principalmente la energía usada es reactiva con lo cual no se produce disipación de calor, luego entonces, estos pueden ser diseñados para soportar la totalidad de la corriente de carga y adicionalmente la corriente circulante por largos periodos de tiempo.

Por otro lado este tipo de cambiadores tienen la característica de tener la capacidad de operar en una posición de puente entre terminales, como posición de servicio normal, mejorando la regulación, haciéndola más fina y proporcionando un total de posiciones de servicio del doble de taps del devanado de derivaciones menos uno.

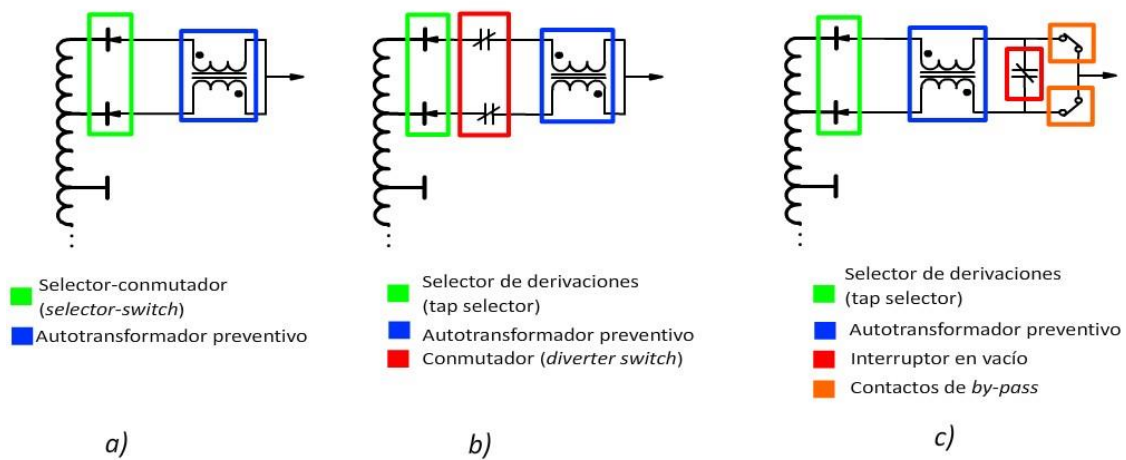
Esto gracias a que los inductores de la impedancia son enrollados en un mismo núcleo con lo que aumenta su impedancia reactiva y quedan acoplados magnéticamente. Si se encuentran dando servicio ambos en un mismo tal, quedan conectados en paralelo, funcionando como un reactor, pero cuando se encuentran dando servicio en una posición de puente entre terminales, quedan conectados eléctricamente en serie, funcionando como un autotransformador, por lo que se le conoce como método del autotransformador preventivo.

Esto presenta varias ventajas, primeramente los embobinados son conectados con una relación de 1:1 y si son enrollados para dar una polaridad aditiva los sentidos de las corrientes se anulan mutuamente, por lo que la corriente circulante es prácticamente nula y el voltaje de salida resulta ser el promedio de los voltajes de las derivaciones puenteados.

Similarmente a los cambiadores de tipo resistivo, para los cambiadores de tipo reactivo, los arreglos pueden variar y la capacidad de potencia estará en función del método de interrupción.

Ahora a continuación, en la figura , se muestran los diagramas de conexiones de los diferentes arreglos de cambiadores que funcionan con el autotransformador preventivo, y en seguida la

fotografía de un cambiador con el arreglo del inciso c, ubicada de forma independiente como figura , ya que es la tecnología que prevalece en arreglos de tipo reactivo y que es utilizado en transformadores de alta tensión.



A continuación se ilustrara la secuencia o Ciclo de operación para un cambiador con impedancias de tipo reactiva.

En donde:

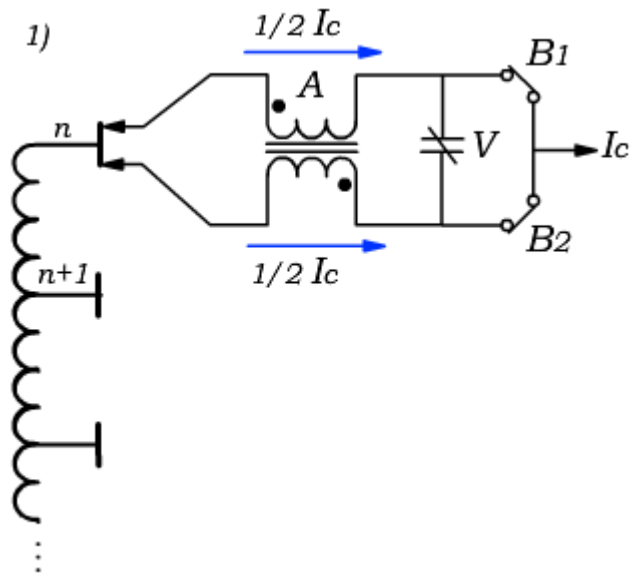
I_c = Corriente de carga

A= Autotransformador preventivo

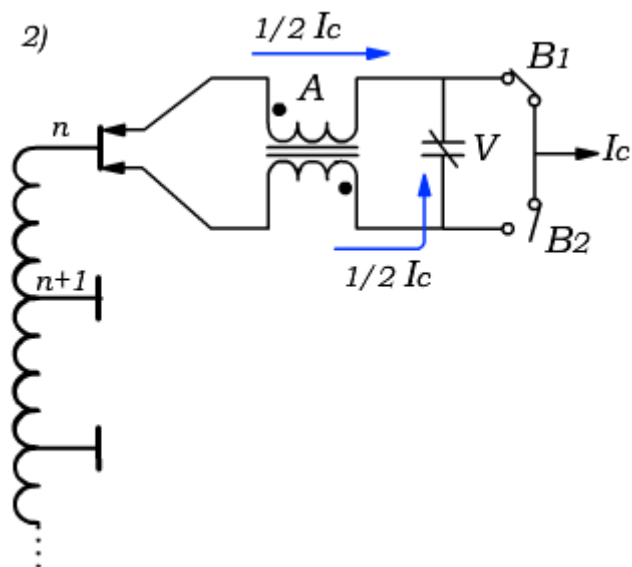
V= Interruptor de vacío

B= Contactos de by-pass

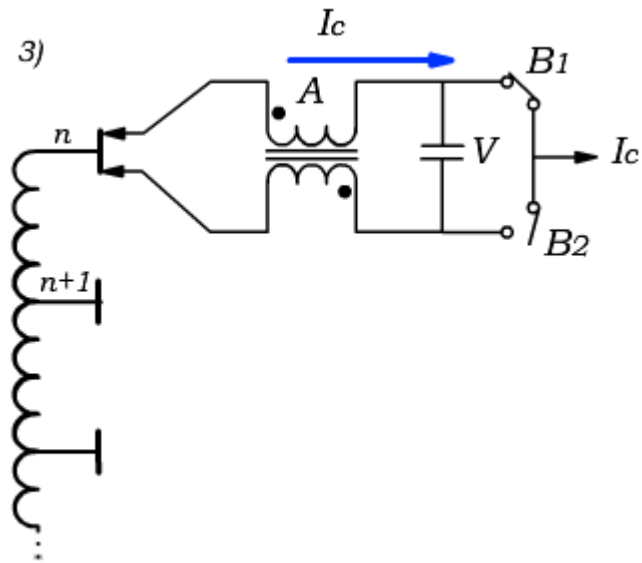
1) En el siguiente esquema se ilustra un cambio de derivación en un CDBC tipo reactivo del inciso C de la figura anterior. Inicialmente el CDBC se encuentra en una posición de servicio cualquiera que denominaremos “n”, que al tener tanto los contactos de by-pass (B1 y B2) como el interruptor de vacío cerrados, la corriente de carga se distribuye en ambos lados del cambiador, esta distribución es exactamente la mitad de la corriente de carga por lado, ya que el autotransformador tiene una relación de 1:1 por lo que la impedancia es idealmente igual en ambos lados.



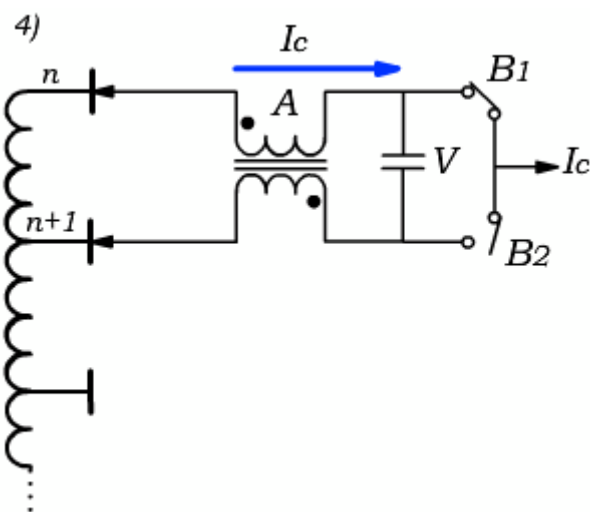
2) La transición inicia hacia la derivación “n+1” por lo que el contacto de by-pass del lado correspondiente (B2) se abre, desviando la corriente de carga que transmitía hacia el interruptor (hasta el momento la corriente no ha sido interrumpida).



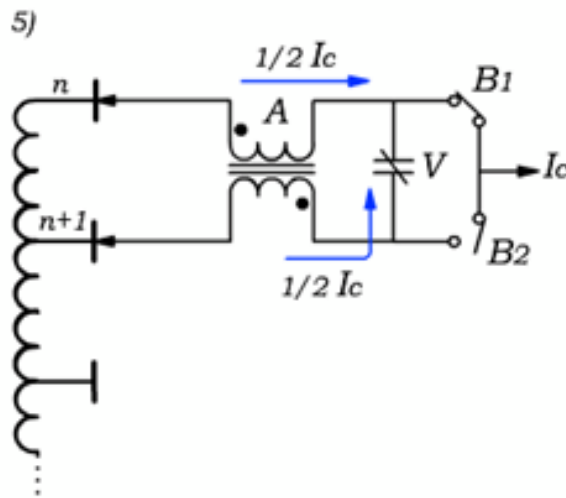
3) Después de que el interruptor ha adquirido la corriente que se manejaba por medio del contacto de by-pass (B2), el interruptor en vacío (V) se abre, quedando toda la corriente de carga en un solo lado del cambiador (en la parte superior).



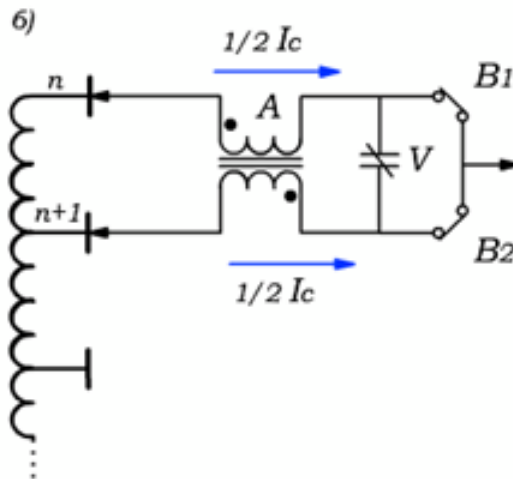
4) Sin corriente que interrumpir el selector de tomas se puede mover libremente a la derivación contigua “n+1”.



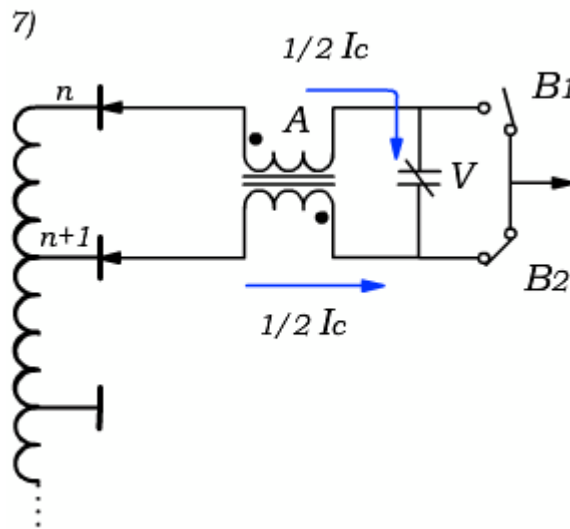
5) Para comenzar a concretar el cambio hacia la siguiente derivación, el interruptor de vacío se cierra y se vuelve a distribuir la corriente de carga en el auto transformador con la adición de una muy pequeña corriente circulante.



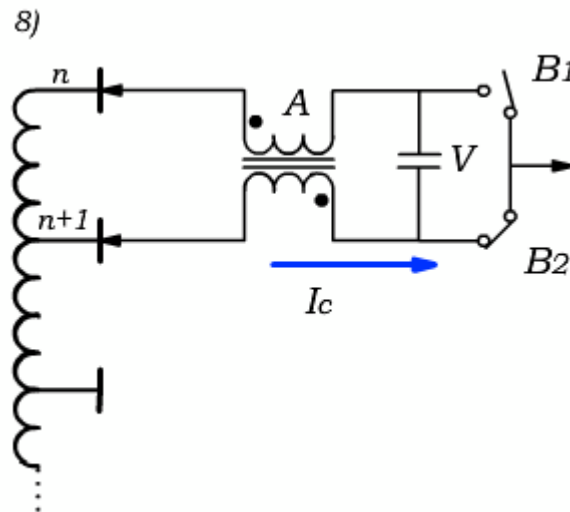
6) Luego se cierra el contacto de by-pass B2 que estaba abierto y con ello se alcanza la siguiente posición de servicio “n+1” (en estado estable) este estado es llamado posición de puente, en donde la salida de voltaje es el promedio de las tensiones de las derivaciones involucradas. O sea el transformador está operando a la tensión existente entre las derivaciones “n” y “n+1”.



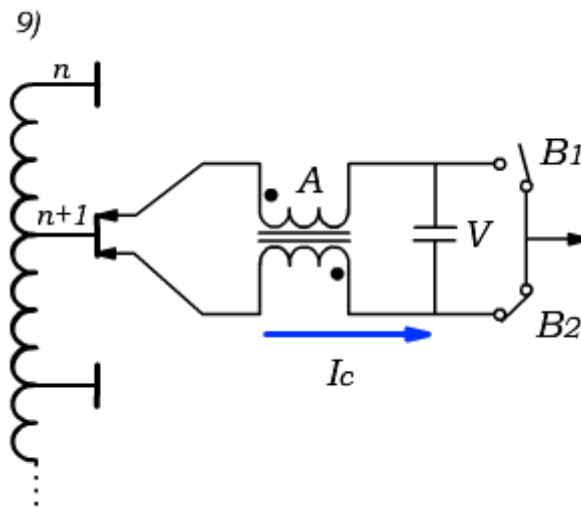
7) Para continuar su transición a la siguiente derivación, se abre el contacto de by-pass correspondiente a la terminal del selector que se requiere mover (B1) y queda la corriente de carga transferida al interruptor de vacío “V”.



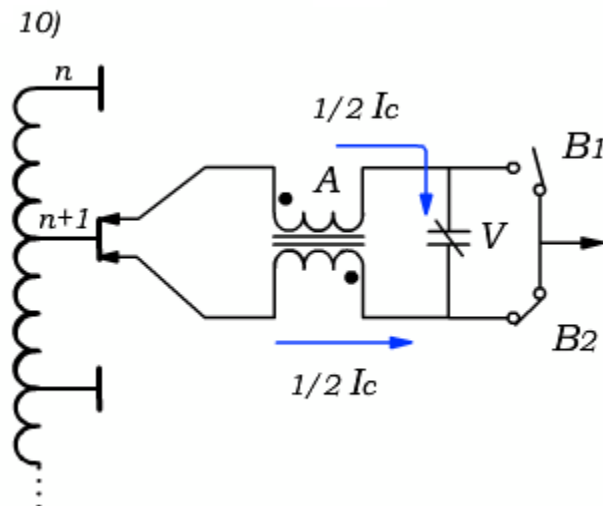
8) Se abre nuevamente el interruptor de vacío para dejar libre de la corriente de carga al contacto del selector que sigue conectada a la derivación “n”. Desde este momento toda la carga queda transferida a la siguiente derivación y el voltaje al que opera el transformador es el de la derivación “n+1”.



9) Para adquirir nuevamente una posición de servicio (en estado estable) el selector mueve el contacto desconectado a la nueva posición de servicio "n+1".



10) Cierra el interruptor de vacío ,distribuyendo la corriente de carga, nuevamente a la mitad para cada sección del auto transformador y se elimina la pequeña corriente circulante.



11) Se adquiere la nueva posición de servicio (en estado estable) quedando cerrados los contactos de by-pass (B1 B2) y el proceso puede ser nuevamente repetido cuando se requiera.

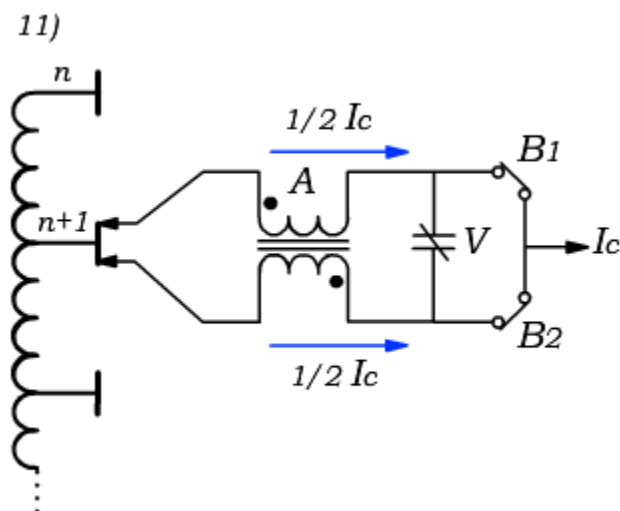


Fig. 13 Ciclo de operación para un cambiador con impedancias de tipo reactiva.

1.5.3 Cambiador de derivaciones bajo carga según ubicación de funcionamiento

De forma similar a lo presentado en las clasificaciones anteriores, las clasificaciones de los cambiadores de derivación se pueden subdividir, y esta vez lo hacen en función de su ubicación de funcionamiento, es decir, los cambiadores pueden ser ubicados en diferentes espacios (obviamente muy cercanos a los embobinados) para su funcionamiento. Ya que estos pueden y, para ciertas partes, deben tener su compartimento de aceite independiente del tanque principal del transformador, los cambiadores pueden ser ubicados dentro y fuera del tanque principal del aceite, por lo que en general se pueden clasificar en :

- externos
- internos

De forma generalizada se puede encontrar que los cambiadores pueden tener diferentes características físicas, ya que algunos son diseñados desde un principio para ser usados de forma externa, como es el caso de la figura 2.13, mientras que otros son diseñados para ser usados de forma interna como en la figura 2.5, sin embargo se encuentra que incluso los mismos diseños de uso interno son usados de forma externa y muchas veces la razón, como se explicará a continuación, resulta de las capacidades de conmutación.

También por otro lado está el hecho de que con la finalidad de conservar las propiedades del aceite en donde se requiera, se confinan en compartimentos diferentes sus componentes, por lo que finalmente las combinaciones posibles resultan ser las siguientes.

1.5.3.1 Externos

- Externo con selector y conmutador en compartimentos independientes.

Este arreglo mantiene todo el cambiador fuera del tanque principal del transformador y adicionalmente se divide en dos compartimentos, uno para el selector y otro para el conmutador con total aislamiento uno del otro, de tal forma que se quede aislada la carbonización dentro del compartimento del conmutador y el selector mantenga su aceite limpio para soportar altas tensiones, también está la opción de usar interruptores en vacío por lo cual este arreglo puede ser usado para transformadores de gran capacidad.

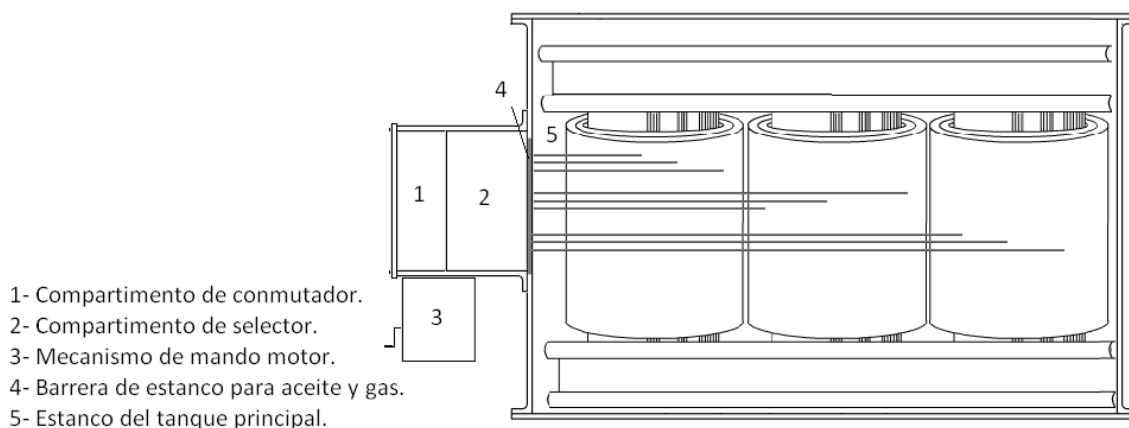


Fig.14 Cambiador de derivaciones externo con selector y conmutador en compartimentos independientes.

- Externo con selector y conmutador en un único compartimento.

En ocasiones resulta suficiente aislar el cambiador de derivaciones del tanque principal del transformador por lo que el selector y conmutador pueden compartir el aceite, en este caso se suele utilizar el método de interrupción con botellas de vacío de tal forma que el diverterswitch no produzca las sedimentaciones de carbón que puedan afectar la rigidez dieléctrica en el selector.

- Externo con selector-conmutador.

Similarmente al caso anterior se separa del tanque principal del transformador pero el hecho de que la conmutación y selección de derivación se lleve a cabo en el mismo dispositivo hace que solo se requiera una sola cámara para ambas funciones. Cuando la tecnología hace que inevitablemente se produzcan arcos en la selección hace que esta opción no pueda manipular transformadores de altas capacidades de potencias y por ende de altas tensiones.

-Externo con cambiador de diseño interno.

Por sus grandes capacidades interruptoras de corriente en el *diverter switch* y sus largos selectores de tomas para las más altas tensiones de paso, los cambiadores de derivación diseñados para uso interno son seleccionados para su uso en transformadores de gran capacidad, pero proporcionando las ventajas de un tanque independiente.

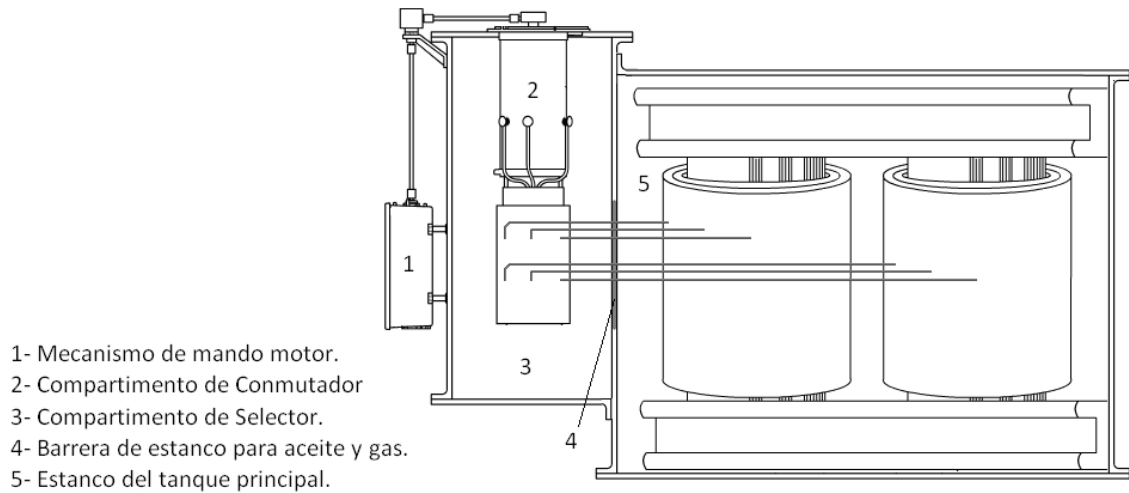


Fig. 15 Cambiador de derivaciones externo con selector y conmutador de diseño interno

Ventajas y desventajas del uso externo.

El uso externo de los cambiadores de derivación ofrece varias ventajas, entre las cuales sobresalen el poder identificar y hacer un diagnóstico más fácil de los problemas que puedan existir en el banco de transformación, identificando el lugar de falla por su contenido de gases. Igualmente con el análisis de gases disueltos se puede hacer una mejor inspección del transformador, sin que el cambiador interfiera en algo, sea esto con falla o sin ella.

Por otro lado el tener acceso total al cambiador de derivaciones con la remoción de la cubierta, facilita los mantenimientos y hace más fáciles las inspecciones. Como desventaja es que la barrera selladora entre los tanques y por la cual pasan las derivaciones comienza a tener complicaciones con tensiones mayores a 145 kV.

1.5.3.2 Internos:

-Interno con selector y conmutador separados.

De manera generalizada los diseños de uso interno son capacitados para ser suspendidos de la tapa del transformador, y es colocado en un costado de los embobinados, un polo trifásico en el caso de tanques trifásicos, o es colocado un polo monofásico en el costado de cada transformador cuando se utilizan transformadores monofásicos.

En este caso el selector es instalado debajo del conmutador y está operando con el mismo aceite del transformador, estos normalmente manejan dos anillos por fase, uno para las derivaciones impares y el otro para las pares. En el caso del *diverterswitch* se encuentra en su propio compartimento que separa las carbonizaciones y a su vez aísla los gases, usualmentetienen su propia respiración en tanque conservador con deshidratante independiente del que usa el transformador.

Este tipo de cambiadores es el usado en los más altos rangos de potencia y por ende en las más altas tensiones.

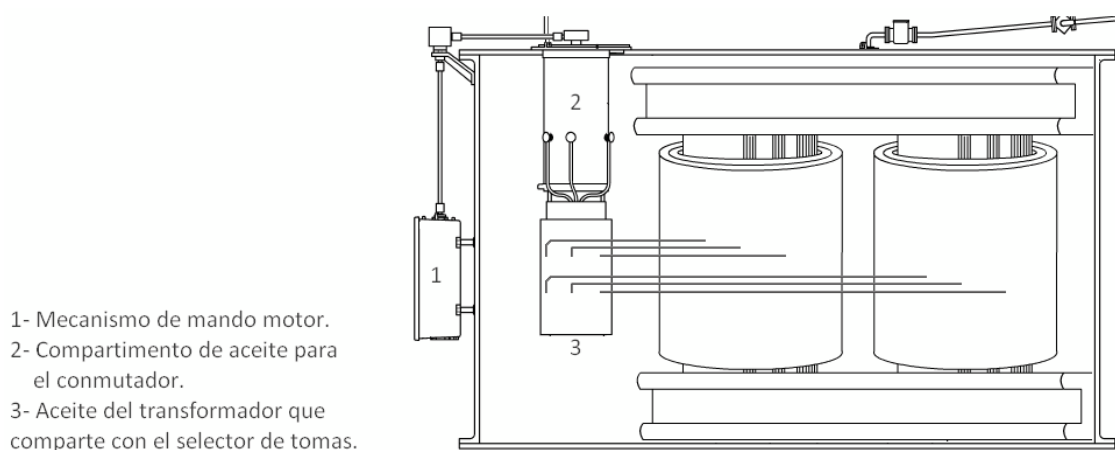


Fig.16 Cambiador de derivaciones interno con selector y conmutador separado.

-Interno con selector y conmutador en un mismo compartimento.

La instalación es similar al caso anterior (instalando el cambiador suspendido de la tapa del tanque principal del transformador, con el selector por debajo del conmutador) con la diferencia de tener el selector y el conmutador en la misma cámara, por lo que se pueden usar interruptores en vacío para la extinción de arco y eliminar los productos por descomposición de aceite, sin embargo de igual forma no alcanzan las capacidades del diseño anterior.

-Interno con selector-conmutador.

Ahora el selector-conmutador está diseñado con una disposición vertical que coloca al preselector por encima de las fases (cuando este es requerido) y todo este conjunto está en una cámara de aceite independiente al tanque principal, que aísla los gases y el aceite carbonizado.

Esta tecnología, como ya se vio igualmente para el uso externo, solo es aplicada para bajos rangos de potencia y no alcanza las más altas tensiones.

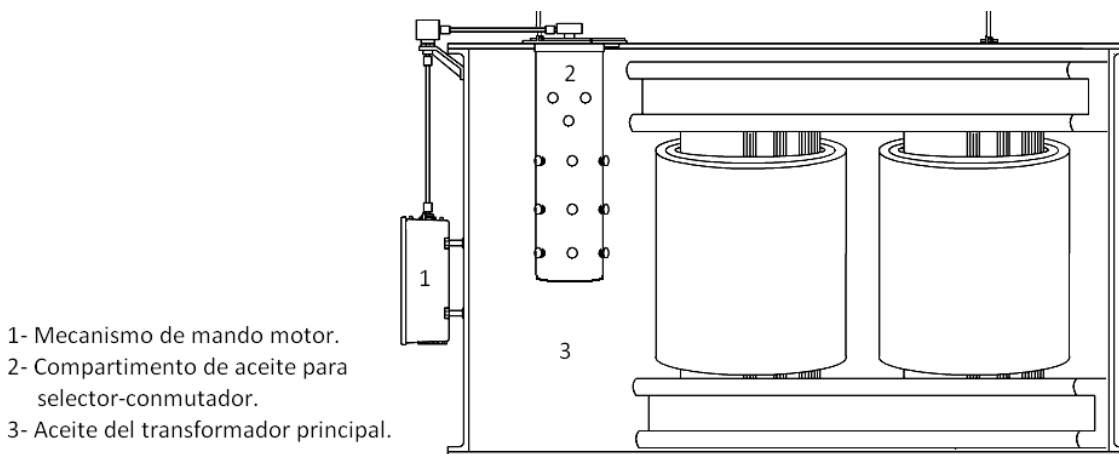


Fig. 17 Cambiador de derivaciones interno con selector-conmutador.

Ventajas y desventajas del uso interno.

Los cambiadores de derivación de uso interno tienen la ventaja de ser más apropiados para las más altas tensiones, y para un mismo rango de potencia el cambiador de uso interno usa menor cantidad de aceite en sus compartimentos, por lo que para los mantenimientos se facilita el manejo de aceite. Como desventaja es que al tener los selectores y en particular los preselectores trabajando en el mismo aceite del transformador, los análisis de gases disueltos hechos al transformador pueden estar influenciados por descargas parciales y arcos de contactos producidos por el cambiador de derivaciones.

1.6 ACCESORIOS

1.6.1 Placa de datos.

En general todo el equipo eléctrico primario debe ser suministrado desde fábrica con la o las placas de datos que contengan la información básica del equipo, por lo que los cambiadores de derivación no son la excepción. En los casos de cambiadores bajo carga con mando motor pueden tener dos placas de datos, una haciendo referencia a las características del cambiador y otra para las características del mando motor.

De manera general los datos provistos en la placa para cambiadores de derivación son los siguientes:

- a) Nombre del fabricante.
- b) Año de fabricación.
- c) Número de serie.
- d) Tipo (designación del fabricante).
- e) Corriente de paso nominal.
- f) Voltaje de paso nominal.
- g) Valor de la resistencia de transferencia (cuando esta aplique).
- h) Estándar bajo el cual está construido.

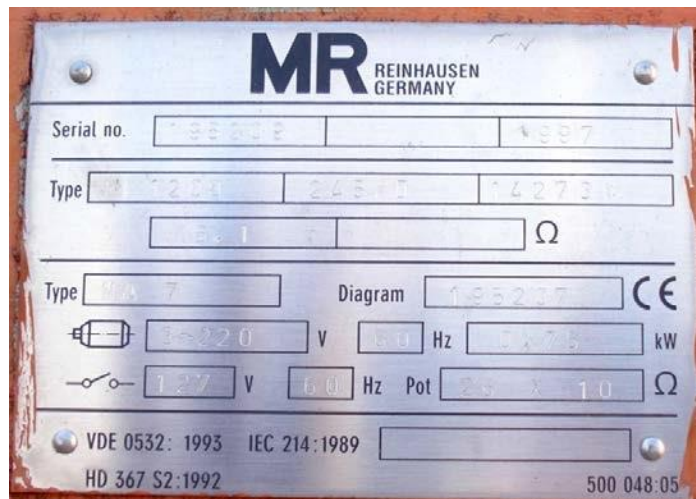


Fig. 17 Fotografía de una placa de datos.

Aunque la designación del tipo es establecida por el fabricante, la estructura básica es prácticamente la misma en todos ellos, por lo que, como ejemplo, se explica a continuación la designación alfanumérica de uno de los fabricantes más importantes, MASCHINENFABRIK REINHAUSEN (MR).

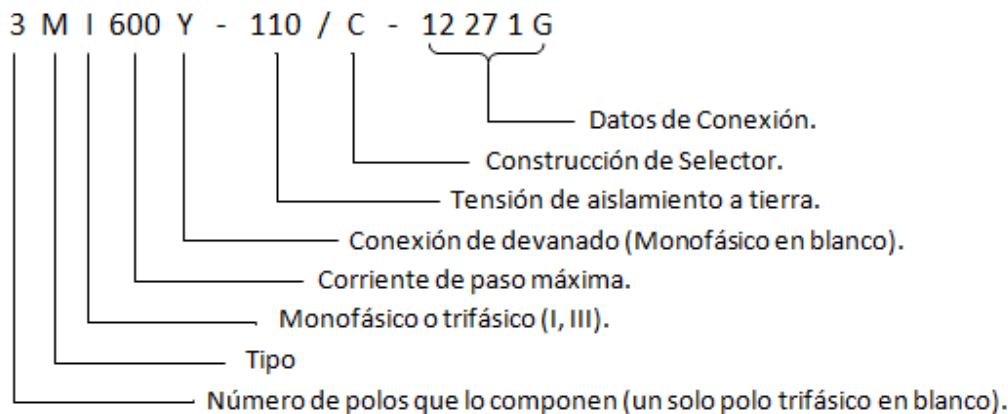


Fig. 18 Designación alfanumérica de los cambiadores de derivación.

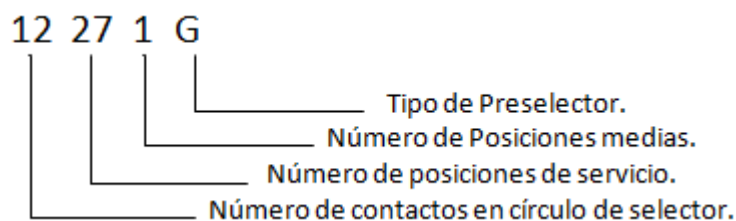


Fig. 19 Datos de conexión del cambiador.

1.6.2 Indicador de aceite.

Los indicadores de nivel de aceite como su nombre lo menciona, son dispositivos que ayudan saber el nivel de aceite que se tiene dentro de una cámara o compartimento, por lo que estos deben ser provistos para cada compartimento independiente que se tenga.

En los casos en que el selector de tomas se encuentre sumergido dentro del tanque principal del transformador, el indicador de nivel de aceite del tanque principal funcionará como indicador también para el selector y por tanto no requerirá indicador adicional.

Cabe mencionar que estos siempre deben estar colocados en un lugar visible ya que son dirigidos para ser revisados durante el funcionamiento del transformador, por el personal de sitio.

a)



b)



Fig. 20 Indicador de nivel de aceite, a) disposición visual vertical, b) disposición visual rotacional.

1.6.3 Alarmas por bajo nivel de aceite.

Las alarmas por bajo nivel de aceite son provistas para prevenir y evitar un bajo nivel de aceite que pudiese dejar los conductores con alto riesgo de arqueo, lo cual produciría un daño catastrófico.

Estas deben ser consideradas para cada compartimento independiente de aceite y pueden estar dadas por los contactos de los indicadores de nivel de aceite, o bien pueden estar integradas en relevadores de flujo de aceite.

1.6.4 Válvulas de muestreo.

Cada compartimento debe tener válvulas para el muestreo de aceite de forma independiente, y todas las válvulas provistas deben ser capaces de soportar los requerimientos de presiones manométricas tanto positivas como negativas, a las cuales se verán sometidas. Las presiones positivas se dan cuando la válvula se encuentra en las partes bajas del tanque, ya que a la presión atmosférica se le agrega la presión del mismo aceite, así mismo también con transformadores que cuentan con el sistema inerte para conservación de propiedades del aceite, por otro lado las presiones negativas o vacuométricas se pueden dar en el drenado de aceite para mantenimiento.



Fig. 21 Válvula de muestreo de aceite.

CAPITULO II

PRUEBAS Y DIAGNOSTICO AL CAMBIADOR DE DERIVACION BAJO CARGA

El cambiador de derivación bajo carga (CDBC) ha sido uno de los componentes indispensables para la regulación de tensión en transformadores de potencia utilizados en redes de energía eléctrica y aplicaciones industriales por casi 80 años, por lo cual asegurar un correcto y continuo funcionamiento es muy importante para garantizar cubrir las necesidades de la red, como también un óptimo sistema y proceso de control.

En este capítulo desarrollaremos una serie de criterios que se deben tomar en cuenta antes de realizar el mantenimiento de este equipo muy fundamental en la conversión de energía, como también hacer un diagnóstico acorde a lo necesario para así atacar el real problema o detectar futuras fallas que podría tener el equipo en el futuro, todo esto para planificar correctamente el plan de mantenimiento de este, no obstaculizando mayormente el funcionamiento del sistema completo.

Cabe señalar que el mantenimiento al cambiador de derivaciones bajo carga forma parte a su vez del mantenimiento y/o puesta en servicio del transformador de potencia, ya que estos dos equipos tienen una relación tan íntima en su funcionamiento que no se deben pasar el alto el mantenimiento en conjunto del uno con el otro.

Antes y después de cada mantenimiento se llevan a cabo pruebas de funcionamiento del equipo, estas pruebas se realizan antes del mantenimiento para así detectar fallas o futuras averías en el cambiador de derivación bajo carga y ayudan, como mencionamos anteriormente, a realizar un programa de mantenimiento que van de la mano a las verdaderas necesidades del cambiador, y las pruebas que se realizan después del mantenimiento sirven para comprobar el correcto funcionamiento del equipo y que este esté en sincronía con el transformador y con el sistema eléctrico de potencia en el que está inserto.

En general lo que se busca con el mantenimiento es diagnosticar oportunamente futuras fallas y así reducir estas fallas en el funcionamiento normal del equipo, todo esto para alargar la vida útil del cambiador de derivación bajo carga, eso sí se debe tener cuidado que no sea tan recurrente de lo necesario, ya que esto decae la productividad del equipo, ya que los mantenimientos podrían detener en un tiempo muy prolongado el transformador dejándolo fuera de servicio y no cubriendo la verdadera disponibilidad por lo cual fue adquirido.

2.1 Criterios de mantenimiento

Normalmente se puede decir que al incrementar el mantenimiento se mantiene mayor confiabilidad y la productividad del equipo aumenta (ya que no produce gastos por fallas mayores), cuando el mantenimiento es más recurrente de lo necesario decae la productividad del equipo, ya que los mantenimientos podrían detener tanto tiempo el transformador fuera de servicio que no cubre la disponibilidad para lo cual fue adquirido, y adicionalmente se suman los gastos del mantenimiento.

Por esta razón se establecen criterios de mantenimiento que abarquen todas las perspectivas por las cuales el equipo eléctrico lo requiera; estos criterios básicamente resultan ser los siguientes:

- Según parámetros permisibles
- Según datos del fabricante
- Crítico y no crítico

2.1.1 Criterio según parámetros permisibles

El criterio según parámetros permisibles se basa en el hecho de que el cambiador y en general el transformador de potencia, mantiene sus parámetros de funcionamiento en un rango en el que se consideran seguros, y que a su vez se derivan de un correcto funcionamiento.

Estos parámetros son obtenidos mediante pruebas normalizadas que son registradas y almacenadas para una futura comparación, un claro ejemplo de esto es la revisión y rectificación de las propiedades dieléctricas de sus aislamientos, la cual se puede obtener por medio de la prueba de factor de potencia en aislamiento o en capacitancias para las boquillas de alta tensión, en donde para obtener el valor de su parámetro se realiza la prueba inicial y posteriormente se repite, realizando esa misma prueba, buscando que sus propiedades no hayan sufrido un deterioro tal que requiera de su mantenimiento. Por esta razón en este criterio conviene considerar no solo la reparación, sino tal vez también la reposición del equipo probado.

Para este criterio los cambiadores de derivación tienen la opción de una relativamente reciente forma de prueba denominada método vibro acústico el cual, representa en una gráfica las vibraciones del cambiador; luego entonces, después de dejar funcionando el equipo se puede volver a realizar la prueba para comparar las gráficas, y si los resultados de las pruebas mantienen la misma forma en las gráficas se pueden aprobar los resultados como positivos y continuar con el funcionamiento normal; de lo contrario si las gráficas difieren tanto en forma como en magnitud o desplazamiento, los resultados serían negativos, y el equipo ya debe ser considerado para un mantenimiento.

También como parte de las pruebas para este criterio están las fisicoquímicas al aceite aislante, las cuales se deben tomar en cuenta para cada compartimento que tenga el cambiador.

Por lo tanto para poder estar seguros sobre la necesidad de un mantenimiento del equipo bajo este criterio, se hace necesario contar con un archivo que integre el historial de cada equipo, tomando en cuenta la técnica de prueba y buscando su normalización, para que de esta manera los resultados puedan ser comparados tanto con las pruebas anteriores como con los resultados de futuras pruebas, y de esta manera determinar su variación y tendencia, tomando en cuenta principalmente la primera puesta en servicio y si ha estado fuera de servicio.

2.1.2 Criterio según datos del fabricante

En muchas ocasiones el fabricante sugiere un ritmo de mantenimiento para sus equipos, el cual está en función del diseño y la tecnología que utilizan, como el número de operaciones ejecutadas por el cambiador de derivaciones como parámetro indicador de un mantenimiento, y adicionalmente también se observa que dependiendo de la tecnología, el fabricante podrá indicar un ritmo de mantenimiento diferente para una tecnología que para otra; por ejemplo, para los cambiadores con interrupción en aceite se recomienda realizar el mantenimiento mayor cuando se llevan ejecutadas de 80 000 a 100 000 operaciones, mientras que para los cambiadores de derivación que utilizan botellas de vacío en el proceso de conmutación, el mantenimiento mayor se puede extender hasta las 300 000 operaciones.

Otro parámetro importante que pueden marcar los fabricantes es el tiempo de funcionamiento (horas de funcionamiento) acumulado por el cambiador; es decir, existen casos en los que el cambiador está instalado y funcionando, pero mantiene un ritmo de operaciones tan bajo que no llega a las operaciones establecidas para un mantenimiento mayor cuando en realidad por las condiciones internas ya requieren de ello, por esta razón adicionalmente los fabricantes suelen establecer el tiempo de funcionamiento máximo acumulado para requerir nuevamente un mantenimiento, independientemente de que se haya llegado o no a las operaciones establecidas.

Por esta razón para poder estar seguros sobre la necesidad de mantenimiento del equipo, de acuerdo con este criterio, se puede hacer necesario contar también con un historial, el cual nos indique la acumulación de tiempo de funcionamiento (puede ser en años) y también la referencia de operaciones para los mantenimientos (ya que los contadores de operaciones no son reiniciables) para conocer en que número de operaciones se realizó el más reciente mantenimiento y a partir de ahí obtener el número de operaciones acumuladas.



Fig.22 Número de operaciones en un cambiador de derivación bajo carga

2.1.3 Criterio de crítico y no crítico

Este criterio se basa en la prioridad que el dispositivo tiene en el sistema; es decir, cuando se tiene la necesidad de mantenimiento en más de un transformador, en ocasiones se puede recurrir a dirigir los trabajos al transformador, o bien en el caso del cambiador de derivación, que tenga o provoque más afectaciones en la red.

Es decir, se establecen las condiciones de cada equipo en la red y las consecuencias de su falla en la operación del sistema eléctrico, entonces se puede realizar un plan de mantenimiento estudiando cuál transformador puede tener mayor afectación y/o provocar mayor vulnerabilidad, viendo a su vez también a las subestaciones como puntos de interconexión en la red.

2.2 Fallas típicas de un cambiador de derivación bajo carga

En un cambiador de derivación bajo carga existen distintos factores que influyen en el mal funcionamiento de este, los que contribuyen a un mal funcionamiento, estos factores son:

- Diseño inadecuado
- Mala fabricación o mal control de calidad
- Operación incorrecta
- Deterioro o envejecimiento de los componentes
- Excesiva humedad en el aceite

- Mantenimiento no oportuno
- Inadecuado mantenimiento
- Montaje incorrecto de elementos después de mantenimiento
- Uso infrecuente de algunas posiciones de regulación

En un cambiador de derivación bajo carga se pueden dar fallas eléctricas y mecánicas. La mayor parte de las fallas son principalmente de origen mecánico, aunque sus consecuencias pueden originar fallas eléctricas. Los principales modos de fallas de cambiadores de derivación bajo carga son:

- a) **Falla en el motor de arrastre que acciona el cambiador**, obtiene en el sistema de mando del mismo (fallas eléctricas en el motor, elementos averiados en el sistema de mando, etc.).
- b) **Falla en la transmisión**: Desalineación en acoplamientos, engranajes desgastados o dañados, rodamientos deteriorados.
- c) **Falla en el mecanismo acumulador de energía mecánica.**
- d) **Asincronismo o desregulación entre el cambiador y su accionamiento motorizado**:
 - Debe existir un sincronismo perfecto entre el cambiador y su accionamiento motorizado, de tal forma, que el cambiador siempre realice el cambio de toma completo antes que el motor finalice la maniobra. Es fundamental que se cumpla en ambos sentidos de marcha del motor (subir y bajar toma) y para todos los polos (fases) que constituyen el cambiador. El asincronismo entre el motor y el cambiador puede hacer que éste opere fuera de sus márgenes de trabajo o dejar abierto el circuito en carga, causando en ambos casos avería del cambiador y probablemente daño en el arrollamiento del transformador. El asincronismo puede ser producto de un inadecuado diseño, o mal control de calidad de fabricación o ensamblaje, o componentes envejecidos o deteriorados como se ilustra en la figura 20. En las operaciones de mantenimiento es importante comprobar la coincidencia entre el número de posición indicado por el accionamiento motorizado y el número que aparece en la cabeza del cambiador de derivación bajo carga en todas las posiciones de las derivaciones y para todos los polos del cambiador de toma bajo carga.



Fig. 23 Contactos colapsados debido al mal sincronismo

- e) **Asincronismo o desregulación entre los polos del cambiador:** Se presenta cuando la conmutación entre los diferentes polos del cambiador no es simultánea, provocando diferencias entre los tiempos de conmutación.
- f) **Depósito o acumulación de partículas de aceite quemado en los contactos del selector** o del conmutador, de compuestos de partículas de aceite y plata, u óxido de cobre o sulfuros. La acumulación de partículas de aceite quemado no provoca directamente el fallo del cambiador, pero forma carbón y puntos calientes en lugares donde circula la corriente de carga.

La formación de películas finas de carbón incrementa la resistencia de contacto y su temperatura. Un aumento en la temperatura de los contactos provoca un progresivo aumento de la resistencia de contacto y correspondientemente un aumento adicional de temperatura, erosión de los contactos, quemado, y generación de gas. La polución del aceite debida al carbón reduce las propiedades dieléctricas del aceite produciéndose un deterioro de aislamiento. Una insuficiente presión de los contactos provoca unos efectos semejantes a los mencionados (incremento en la resistencia de contacto).

En particular, el selector del cambiador es propenso a un fenómeno de envejecimiento denominado efecto de largo plazo, el cual comienza con la formación de una capa delgada de aceite, esta formación es acelerada por las altas temperaturas, la corriente de carga y una baja presión de contacto, por lo que

elcambiador puede no opera en una determinada toma durante un tiempo prolongado.



Fig. 24 Contactos fijos del selector desgastados



Fig. 25 Contactos del selector erosionados debido a la acción del arco eléctrico

- g) Desprendimiento o arranque del material del contacto** (ya sea de los contactos del selector o del conmutador): También se puede presentar desprendimiento o arranque de material de contacto, debido a arcos eléctricos producidos durante la conmutación o incluso por el desgaste natural de la operación del cambiador.

- h) Fallas causadas por ruptura del aislamiento (aislamiento sólido o aislamiento líquido):** Provocan serios daños al conmutador y la desconexión del transformador. Esta falta es inducida a menudo por arcos internos o arcos entre fases, debido a presencia de humedado contenido de agua presente en el aceite en el cual está inmerso el conmutador o por depósitos de impurezas en las paredes del depósito del conmutador. Para prevenir este fenómeno es necesario realizar un filtrado del aceite periódicamente. Si se presenta dentro de la cuba del conmutador un excesivo arqueo, la temperatura del aceite tendería a incrementarse. Por lo tanto la temperatura de la cuba de aceite del conmutador es un parámetro indicador para representar la condición del cambiador. Este tipo de fallo altera las vibraciones del cambiador, de forma que no es posible detectar este tipo de fallo por análisis de vibraciones, aunque sí por análisis de gases disueltos o por análisis físico-químicos del aceite del cambiador.
- i) Fallas en las resistencias de transición o en las trencillas de conexión de las mismas:** Se debe a un inadecuado diseño o envejecimiento de las mismas. Una desconexión de las resistencias de transición dentro del conmutador, supone un circuito abierto que causa arcos en el aceite y si esto persiste las protecciones desconectarán el transformador. Este tipo de fallos se desarrolla lentamente dentro del conmutador e incrementa el valor de la medida de la resistencia dinámica de contacto. Otro tipo de fallos corresponde al cortocircuito de las resistencias de transición.
- j) Fallas diversos:** Fallas en las juntas de sellado, corrosión en la cuba, fallas en la fijación.

Las fallas repentinas están asociadas a faltas causadas por ruptura del aislamiento, o a fallas en las resistencias de transición. La degradación gradual está asociada con el desgaste de contactos y el depósito o acumulación de partículas de carbón. La degradación gradual de los contactos es un fenómeno irreversible directamente relacionado con: corriente de carga, valor de la corriente

circulante durante cada cambio de una derivación a otra, número de operaciones del cambiador de derivación y tiempo de operación del transformador en cada derivación desde el último mantenimiento.

A continuación, en las tablas 1, 2 y 3, se resumirán las distintas fallas anteriormente mencionadas:

Tabla 1. Defectos o fallas típicas y modo de fallas de un cambiador de derivación bajo carga. Conmutador parte I: fallas dieléctricas

COMPONENTES DEL SISTEMA (CONMUTADOR)	DEFECTO O AVERIA	MODO DE FALLO
<p><u>CONMUTADOR</u> Dieléctricos</p> <p>Aislamiento sólido</p> <ul style="list-style-type: none"> - Entre tomas - A tierra - Entre fases - Barrera de pressboard <p>Aislamiento líquido</p> <ul style="list-style-type: none"> - A través de contactos <p>Resistencia</p> <p>Reactancia</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Agua excesiva - Contaminación del aceite (combinado con carbón) - Objetos extraños - Resistencia cortocircuitadas - Descargas - Recalentamiento - Conexión incorrecta - Avería en el núcleo 	<ul style="list-style-type: none"> - Descarga progresiva - Descarga discruptiva (brusca) - Falla térmica de otras resistencias - Calentamiento local (formación de gas) - Formación de burbujas de gas

Tabla 2 Defectos o fallas típicas y modo de fallas de un cambiador de derivación bajo carga. Conmutador parte II: fallas eléctricos y mecánicas

COMPONENTES DEL SISTEMA(CONMUTADOR)	DEFECTO O AVERIA	MODO DE FALLO
<p><u>CONMUTADOR</u></p> <p>Eléctricos</p> <p>Resistencias</p> <p>Contactos</p> <ul style="list-style-type: none"> - Contactos auxiliares - Contactos principales 	<ul style="list-style-type: none"> - Circuito abierto - Sobre calentamiento - Desgaste - Desalineamiento - Insuficiente presión <p>Contacto</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sobre calentamiento 	<ul style="list-style-type: none"> - Desgaste adicional - Generación de burbujas de gas - Posible descarga disruptiva - Gran acumulación de carbón - Fallo térmico - Formación de arcos - Formación de burbujas de gas
<p>Terminales</p> <p>Uniones & conexiones</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Empalmes en mal estado (conexiones flojas, mal prensadas, etc). - Conductor dañado. - Filamentos 	<p>Sobre calentamiento</p> <p>Formación burbujas de gas</p>

	rotos	
Mecánico Resortes de operación Barras y ejes de operación Mecanismos de operación	<ul style="list-style-type: none"> - Operación ralentizada del conmutador - Eje de accionamiento roto - Sincronización incorrecta entre selector y conmutador 	<ul style="list-style-type: none"> - Operación incorrecta del interruptor - Operación incompleta del interruptor - No operación del interruptor - Descarga disruptiva

Tabla 3 Defectos o averías típicas y modo de fallas del Selector de un cambiador de derivación bajo carga.

COMPONENTES DEL SISTEMA(CONMUTADOR)	DEFECTO O AVERIA	MODO DE FALLO
Dieléctrico Aislamiento sólido <ul style="list-style-type: none"> - Entre tomas - A tierra - Entre fases - Barrera de pressboard Aislamiento líquido <ul style="list-style-type: none"> - A través de contactos 	<ul style="list-style-type: none"> - Agua excesiva - Contaminación del aceite - Contaminación superficial - Descargas parciales de baja energía - Aceite excesivamente 	<ul style="list-style-type: none"> - Descargas parciales destructiva - Contorneo localizado - Descarga progresiva - Celulosa excesivamente vieja

	envejecido	
<p>Eléctrico</p> <p>Conexiones</p> <p>Contactos del selector</p> <p>Transición gruesa fina</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Malas conexiones - Contactos desalineados - Baño de plata deteriorado o desgastado - Escasa presión de los contactos, 	<ul style="list-style-type: none"> - Sobrecalentamiento por formación de gas, chispas y arcos - Acumulación de carbón entre contactos
<p>Mecánico</p> <p>Eje impulsor</p> <p>Contactos del selector</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Deteriorado o roto - Alineamiento incorrecto con respecto a la operación del conmutador. - Recorrido más allá del final 	<ul style="list-style-type: none"> - Operación fuera de sincronismo entre el selector y el conmutador ocasionando formación de arcos
<p><u>Mecanismo de arrastre</u></p> <p>Eje impulsor</p> <p>Topes mecánicos</p> <p>Motor y mecanismos de engranaje</p> <p>Equipo de control</p> <p>Interruptores auxiliares</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Sincronización incorrecta - Operación más allá del extremo - Engranajes rotos - Par desalineado - Interruptores 	<ul style="list-style-type: none"> - Operación incorrecta del selector con respecto al conmutado - El cambiador se bloquea en una toma que no

	auxiliares gastados, rotos o dañados	opera
--	--	-------

2.3 Pruebas de diagnóstico al cambiador de derivaciones bajo carga

Tradicionalmente, las técnicas de diagnóstico de cambiadores de derivación bajo carga estuvieron basadas en revisiones periódicas en función del número de maniobras. Evidentemente, las técnicas de mantenimiento basadas en revisiones periódicas, no constituyen una solución satisfactoria al problema del diagnóstico, ya que se revisan cambiadores que no presentan problema alguno (lo cual supone sacar al transformador de servicio, para lo cual hay que contratar una grúa para extraer el conmutador, y contar con un equipo de técnicos altamente calificados, durante un tiempo relativamente largo). Además, se corre el riesgo de que existan fallos catastróficos debido a imprevistos que se podrían producir en el período entre revisiones. Incluso es posible que ciertas averías se produzcan por un mal ensamblaje del equipo después de una revisión.

Una mejora respecto del mantenimiento preventivo basado únicamente en el tiempo de funcionamiento en el cual se propone realizar el mantenimiento en un tiempo variable que depende del número de maniobras desde la última conmutación y la intensidad que circula por el cambiador de derivación bajo carga durante el momento de la conmutación utilizando una función de desgaste.

Adicional a lo anterior mencionado, otros puntos importantes por los que se realizan las mediciones y pruebas, recordando lo descrito en este capítulo referente a los criterios de mantenimiento, algunas de las pruebas se realizan con la finalidad de la comparación para la verificación de la desviación con un estado anterior en donde los parámetros se consideran buenos.

Entonces ahora cobran mayor importancia estas pruebas, ya que no solo deben ser ejecutadas como una forma de cerciorarse de las condiciones del equipo, sino que deberán ser realizadas con mayor cuidado, revisando la calibración y buen estado del equipo de prueba, la exactitud de las lecturas y los cálculos, ya que servirán adicionalmente como base en el historial de pruebas para todo el equipo.

Algunas de estas pruebas son:

- a) Prueba de análisis de gases disueltos
- b) Medida de la temperatura
- c) Medida de la resistencia dinámica de contacto

- d) Medida del par del motor de arranque
- e) Prueba vibro acústica
- f) Prueba de corriente de excitación
- g) Pruebas al aceite aislante

A continuación se describirán cada uno de estas pruebas necesarias para el correcto diagnóstico del cambiador de derivación bajo carga.

2.3.1 Prueba de análisis de gases disueltos

El aceite aislante de un transformador va degradándose (pérdida paulatina de sus características) durante el funcionamiento normal del mismo, mermando sus propiedades dieléctricas y refrigerantes. En particular el aceite de un transformador se descompone bajo la acción de un arco eléctrico y debido a la temperatura. El envejecimiento normal del aceite produce cantidades muy pequeñas de gases combustibles (principalmente hidrógeno, CO, CO₂ e hidrocarburos gaseosos) mientras que solicitaciones térmicas y eléctricas anormales en el transformador, dan como resultado la emisión de grandes cantidades de gases. La proporción entre los diferentes gases generados depende de la temperatura de descomposición del aceite, y ésta a su vez, del tipo de defecto.

Parte de los gases generados quedan disueltos en el aceite aislante, y el análisis de estos gases es un método muy efectivo para obtener información de posible fallas internas en el transformador.

El Standard IEEE STD C57.104-91 “Guide for the interpretation of gases generated in oil-immersed transformers”, describe cómo se debe interpretar la concentración de gases disueltos en aceite, el diagnóstico del estado del transformador y las sugerencias o recomendaciones a tener en cuenta.

En general se detectan nueve gases típicos o patrón (Tabla 4) de los cuales todos son gases combustibles a excepción del oxígeno, nitrógeno y dióxido de carbono.

Tabla 4 Gases típicos de la combustión

SIMBOLO	NOMBRE
H ₂	Hidrogeno
O ₂	Oxigeno
N ₂	Nitrógeno
CH ₄	Metano
CO	Monóxido de carbono
C ₂ H ₆	Etano
CO ₂	Dióxido de carbono
C ₂ H ₄	Etileno
C ₂ H ₂	Acetileno

Existen diferentes formas de interpretación de las concentraciones de gases disueltos en el aceite, tales como el método Rogers [20], el método Dornenburg [17], el método MSS [20], o el triángulo de Duval.

Para detectar una avería incipiente es preciso tener en cuenta las concentraciones de gases producidos, mientras que la tendencia de dichas concentraciones es indicativa de la actividad del defecto.

Por lo que se refiere a la detección de averías en cambiadores de derivación bajo carga, cabe distinguir entre averías en el conmutador y averías en el selector.

Las fallas eléctricas más comunes en el conmutador de un cambiador de derivación bajo carga, son sobrecalentamiento de contactos o puntos calientes y arcos eléctricos. Cada una de estas fallas puede presentarse individual o simultáneamente. Debido a ello, los gases más frecuentes en cambiadores de derivación bajo carga son acetileno (producido en el caso de arcos eléctricos) y metano, etano y etileno (producidos en el caso de puntos calientes).

El principal problema para la detección de fallas en conmutadores de cambiadores de derivación bajo carga es que cuando se opera el conmutador, se producen pequeños arcos que provocan una gran cantidad de gases (principalmente C₂H₂, pero también H₂ y otros), los cuales son del mismo tipo que los producidos por una falla interna del transformador.

Para la interpretación gráfica, Duval utiliza un triángulo equilátero compuesto por tres vértices (%CH₄, % C₂H₄, % C₂H₂). Esta técnica propone un sistema de concentraciones en ppm(partes por millón)

$$\% C_2H_2 = 100 \times \frac{X}{X + Y + Z}$$

$$\% CH_4 = 100 \times \frac{Y}{X + Y + Z}$$

$$\% C_2H_4 = 100 \times \frac{Z}{X + Y + Z}$$

Siendo: X concentración en ppm de CH₄, y concentración en ppm de C₂H₄, Z concentración en ppm de C₂H₂.

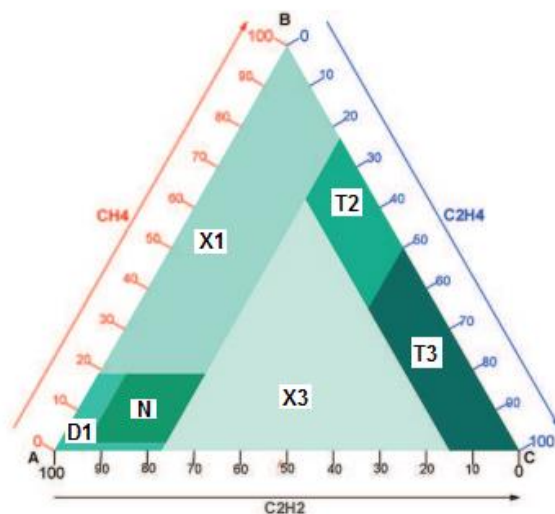


Fig. 26. Triangulo de dubal para cambiador de derivación bajo carga en aceite

Tabla 5 Significado de las zonas N, X1, X3, D1, T2 y T3

Zona	Identificación	Acciones recomendadas
N	Operación Normal	
T3	Defecto térmico severo T3 ($T > 700^{\circ}\text{C}$); carbón denso	Cambio de aceite. Inspección de contactos con carbón del cambiador
T2	Defecto térmico severo T2 ($300 > T > 700^{\circ}\text{C}$); carbón	Cambio de aceite. Inspección de contactos con carbón del cambiador
X3	Defecto T3 o T2 in progreso con algo de carbón o incremento en la resistencia de contactos. O severo arqueo D2	Inspección del cambiador para comprobar presencia de carbón o resistencia de contactos o arqueos severos
D1	Arqueo anormal D1 (fuera de la zona N)	Inspección del cambiador para pequeñas señales de arqueo
X1	Arqueo anormal D1 de defecto térmico en progreso	Área en periodo de investigación

Otro método de detectar averías en conmutadores de cambiadores de derivación bajo carga a partir del análisis de gases disueltos ha sido propuesto por Jakob. Por lo que se refiere al selector, éste se encuentra inmerso en el aceite de la cuba principal, y los arcos eléctricos o puntos calientes que pudieran producirse se diagnostican de forma semejante a como se hace con este tipo de averías en otros puntos del transformador. Para distinguir si la avería se

encuentra en el selector o en otro punto del transformador hay que comprobar si la generación de gases está relacionada con el hecho de que el transformador trabaje en una toma determinada.

El análisis de gases disueltos se utiliza desde el principio de los años 70 del siglo pasado. Su principal inconveniente es que en la actualidad, esta técnica se realiza con una cierta periodicidad, de modo que podría ocurrir que el cambiador de derivación bajo carga sufriera alguna avería en el período entre tomas de muestras de aceite. Es posible que en un futuro el desarrollo y reducción de precio de los sensores de gases multigas on-line permita utilizar la técnica para monitorización de transformadores.

2.3.2 Medida de la temperatura

La mayoría de las fallas en cambiadores de derivación bajo carga se manifiestan generando calor. Midiendo la diferencia de temperatura entre la cuba principal y el habitáculo del cambiador de derivación bajo carga, es posible detectar defectos en el cambiador. En condiciones normales la temperatura de la cuba es un poco mayor que la del cambiador de derivación bajo carga, mientras que en condiciones de falta la temperatura del cambiador de derivación bajo carga puede ser superior a la de la cuba. Para interpretar las diferencias de temperatura es interesante disponer de más datos, tales como: número de derivación en la que se encuentra trabajando el transformador, grado de carga del mismo, número de cambios de derivación en la última hora de funcionamiento, etc. Incluso el hecho de si el calentamiento se produce en la transición de un derivación par a una derivación impar o viceversa puede ser de interés.

Esta técnica no sirve para detectar problemas de naturaleza mecánica. El método puede ser usado como una técnica de monitorización o de mantenimiento predictivo; en este último caso, se puede emplear termografía.

Esta técnica tiene el inconveniente que en determinados tipos de cambiadores que se encuentran muy dentro de la cuba, la medida de la temperatura del receptáculo del cambiador, puede ser complicada utilizando sondas de temperatura externas al transformador. Dentro de sus ventajas está que no se requiere desconectar de servicio el transformador y que puede ser utilizada para monitorización on-line de transformadores.

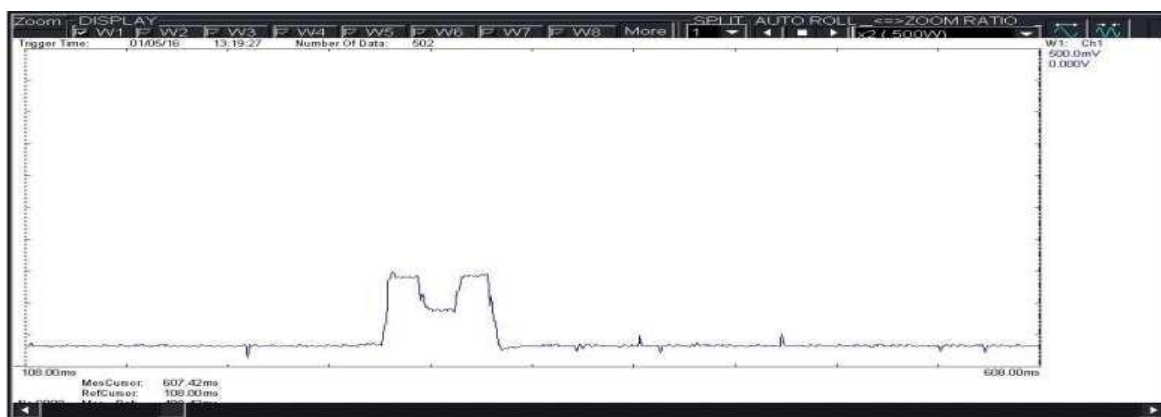
2.3.3 Medida de la resistencia dinámica de contacto

La llamada “resistencia dinámica de contacto” es la resistencia de una fase del transformador (incluyendo los contactos del cambiador de derivación y la resistencia de conmutación) durante el proceso de cambio de derivación. Antes de realizar la medida de resistencia, conviene hacer un cambio completo de derivación desde el derivación 1 al último (p.e. la derivación 21) y bajando, para “limpiar” los contactos del conmutador y del selector de restos de aceite quemado, carbonilla, etc. Para realizar la medida, se aplica entre una fase

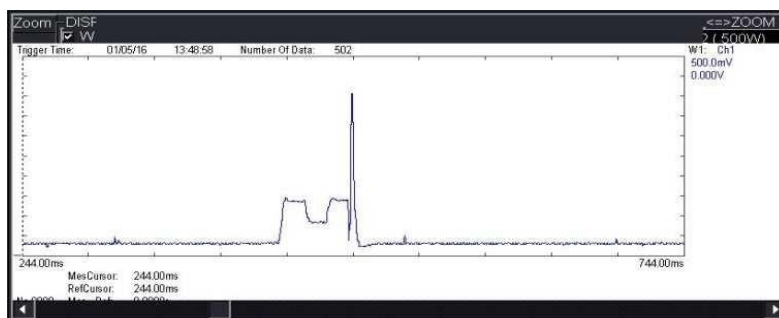
del transformador y el neutro una tensión constante de valor reducido (en torno a 5 V de DC) y se registra la corriente durante el proceso de cambio de derivación.

Para identificar el mayor número de fallas posible, se realizan dos tipos de medidas:

La medida de la resistencia dinámica durante el cambio de un derivación a la siguiente, puede utilizarse para detectar problemas en la resistencia de conmutación y tiempos de conmutación. Como la medida se realiza a tensión constante, el registro de intensidad es inversamente proporcional a la resistencia de conmutación. En la figura 22 se muestra el registro de un cambiador sin fallas y en otro uno defectuoso.



Transición de un cambiador sin averías



Transición de un cambiador con averías

Fig.27 Registro de corriente durante la medida de la resistencia dinámica durante el cambio de una derivación a la siguiente.

La medida de la resistencia dinámica durante el margen completo de regulación (desde la primera derivación a la última y viceversa) puede ser utilizada para identificar fallas en el selector, el preselector o el inversor.

En los sistemas de medida de la resistencia dinámica de contacto que utilizan corrientes muy bajas la medida puede no ser correcta en el caso de que haya una película demasiado gruesa de aceite quemado pegada a los contactos. En esos casos la resistencia de contacto en un determinado derivación puede ser diferente subiendo y bajando.

2.3.4 Medida del par del motor de arranque

Las fallas en el accionamiento a motor del cambiador de derivación bajo carga pueden ser detectadas midiendo o calculando el par desarrollado por el motor de accionamiento, ya que esta magnitud es muy sensible a los problemas mecánicos.

La estimación o cálculo de este par a partir de la corriente consumida por el motor no es difícil, pero para ello se precisa conocer los parámetros del motor (inductancias, constante de tiempo del rotor) y actualizar estos parámetros con la temperatura del mismo. Para obtener dichos parámetros habría que sacar el motor del armario del cambiador y someterlo a una serie de ensayos (vacío, cortocircuito), lo cual es muy engorroso. Por estas razones, en lugar de utilizar el par del motor, para el diagnóstico de fallas se utiliza el consumo de potencia.

Para calcular el consumo de potencia se registra la tensión y la corriente en dos fases del mismo mediante pinzas amperimétricas y sondas voltimétricas de efecto Hall. Debido a ello, este sistema se puede utilizar en transformadores en servicio sin necesidad de desconectar el transformador de la red en ningún momento. Variaciones en la potencia consumida pueden ser indicativas de un rozamiento excesivo del eje o de un desgaste excesivo en alguno de los elementos del mecanismo de accionamiento.

2.3.5 Prueba vibro acústica

Este método de prueba, tiene como principal objetivo conocer el estado de funcionamiento del cambiador de derivación bajo carga, proporcionando las ventajas de un historial de pruebas, y siendo útil por ello para la determinación y planeación de mantenimientos.

Este relativamente nuevo método de prueba, tiene como bases teóricas el hecho de que el cambiador de derivación tiene un patrón de movimiento en su cambio de posición, ya sea para ascenso o descenso. Por otro lado cada movimiento mecánico produce una vibración, que es transmitida a las paredes del transformador por medio del aceite, ya que el aceite es un fluido incompresible y por tal motivo no podría absorber las ondas del movimiento.

También para dar un más acertado pronóstico en las condiciones mecánicas del cambiador, apoya sus mediciones con otro componente del funcionamiento, que es el motor de inducción, el cual es contenido en el mecanismo de mando motor, quien es el responsable de iniciar el movimiento rotacional en todo el mecanismo. Entonces el equipo de medición cuenta con un sensor de vibración, también llamado acelerómetro como medio transductor, el cual se coloca en las paredes más cercanas del cambiador, o bien en las paredes del compartimento externo, según se trate. También cuenta con un gancho para la medición de corrientes del motor y finalmente la salida de datos se va directo a una computadora, que con el software instalado, puede realizar gráficas de los datos y almacenarlos.



Fig. 28. Analizador DERIVACIÓN -4 para la prueba vibro acústica

La utilización del motor como otra fuente de información es debido a que, el motor es encendido y a pagado en la duración exacta para el cambio de posición y adicionalmente la corriente demandada es proporcional a la carga mecánica conectada al rotor, por esta razón, realizando la gráfica en la misma escala de tiempo, la magnitud de la corriente del motor con las vibraciones del cambiador, se puede detectar la problemática en partes más específicas del mecanismo.

Luego entonces, con la interpretación de resultados, este método puede revelar problemas eléctricos y mecánicos como:

- Desgaste de contactos
- Problemas en el mando motor como manejo o sincronización
- Fallas interruptivas
- Arqueo anormal

- Contactos desalineados
- Pérdida de contacto
- Rebotes en contacto

Ya que este equipo de prueba no requiere de una conexión eléctrica con los conductores del transformador, basta tener las precauciones necesarias para no incurrir en errores con el manejo del transformador, y los conductores en boquillas pueden continuar conectados como lo harían en un funcionamiento normal.

Entonces se puede iniciar el procedimiento haciendo la instalación del equipo de prueba, como su manejo normal lo requiere, esto es, conectando el equipo de prueba a una fuente de alimentación (alterna de 127 V), conectar sólidamente la tenaza de potencial de tierra, instalar el o los acelerómetros (pueden ser hasta tres en un mismo cambiador) los cuales no son removibles y finalmente la pinza para la medición de la corriente en el conductor que alimenta al motor.

Entonces se enlista el software para la recepción de datos, y con el mando electrónico local (manual) se hace el cambio de posición en el cambiador hacia una dirección, una vez ejecutado el cambio de posición el aparato de medición detiene su lectura y manda los datos a la computadora en donde se almacenan y registran para su interpretación, la cual puede ser hasta el final de la prueba entera.

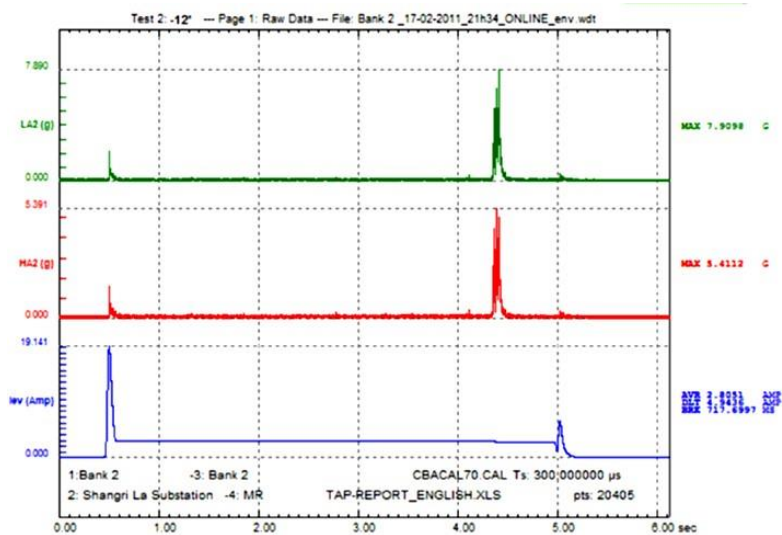


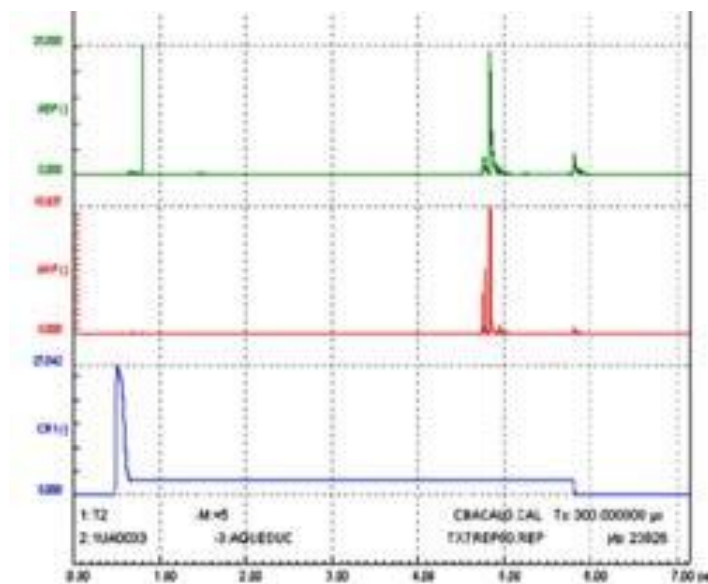
Fig. 29 Ejemplo de una gráfica típica de la prueba vibro-acústica, con la envolvente de las señales de alta frecuencia, baja frecuencia y corriente.

Este procedimiento se sigue hasta completar todas las posiciones de servicio del cambiador tanto de ascenso como de descenso , es decir en ambas direcciones todas las posiciones, y se

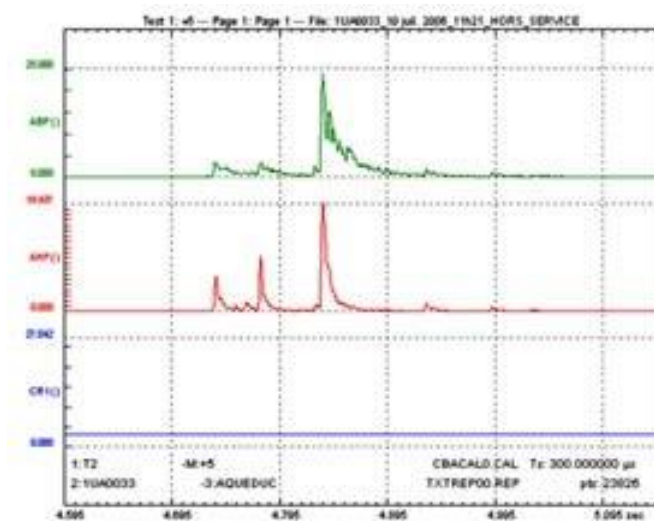
obtendrá con esto el historial de pruebas, el cual puede ser analizado desde ese momento si se tiene registro de otro cambiador de las mismas características y modelo, o bien, de las características del movimiento mecánico para ese modelo en específico, por otro lado, si no se tiene mayor información al respecto, se pueden revisar las condiciones más generales, como la coincidencia de posición de servicio y la sincronización del cambiador con el mando motor, y si esto coincide se pueden tomar estas lecturas como las idóneas para la futura comparación en el historial.

A continuación se muestra una serie de graficas para la mayor comprensión de esta prueba:

1. Desgaste de contactos



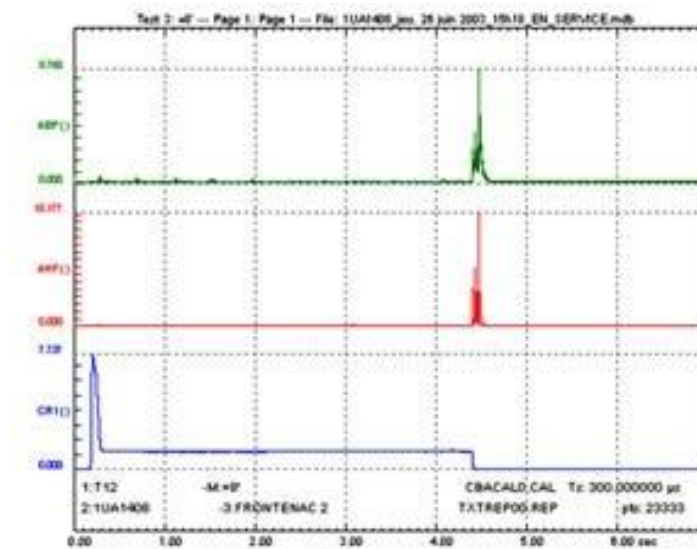
a)



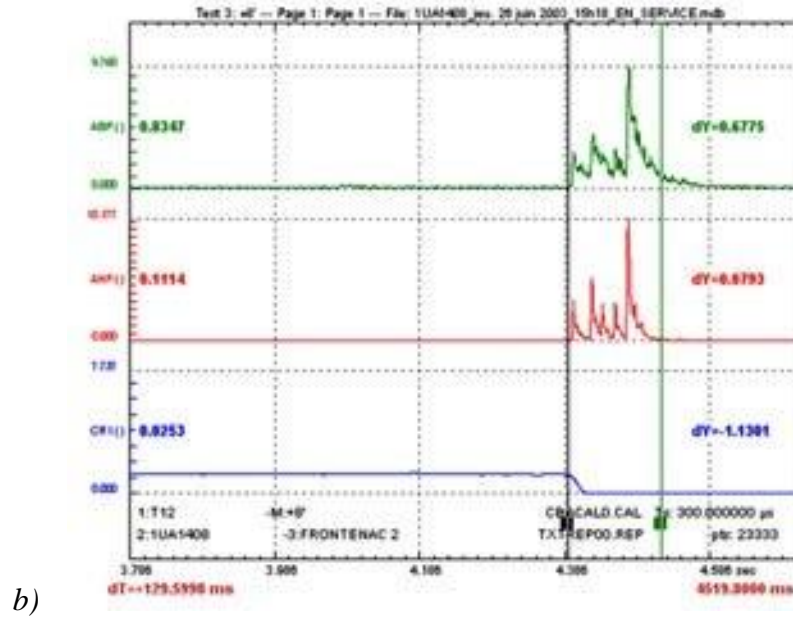
b)

Fig.30 Identificación de desgaste de contactos en cambiador, por pérdida de impacto; a) muestra la señal de la corriente en azul, de la AF vibro acústica en rojo y de la BF en verde y b) al realizar un zoom muestra un impacto perdido, las señales deberían ser casi idénticas, pero estas difieren en gran medida, reportando un desgaste de contactos.

2. Asincronismo con mando motor: Ciertos tipos de análisis de señales pueden ser realizados fácilmente sin una señal de referencia. Este ejemplo demuestra la señal de una operación de conmutación retrasada en 120 milisegundos después del fin de la envolvente de la corriente. La reparación costo simplemente en desacoplar el accionamiento del motor para ajustarlo de modo que la conmutación ocurra antes de que caiga la corriente del motor.



a)



b)

Fig.26 a) Identificación de asincronismo con mecanismo de mando motor, por impactos fuera del tiempo de energización del motor, b) zoom

3. Identificación de problemas mecánicos (con lubricación)

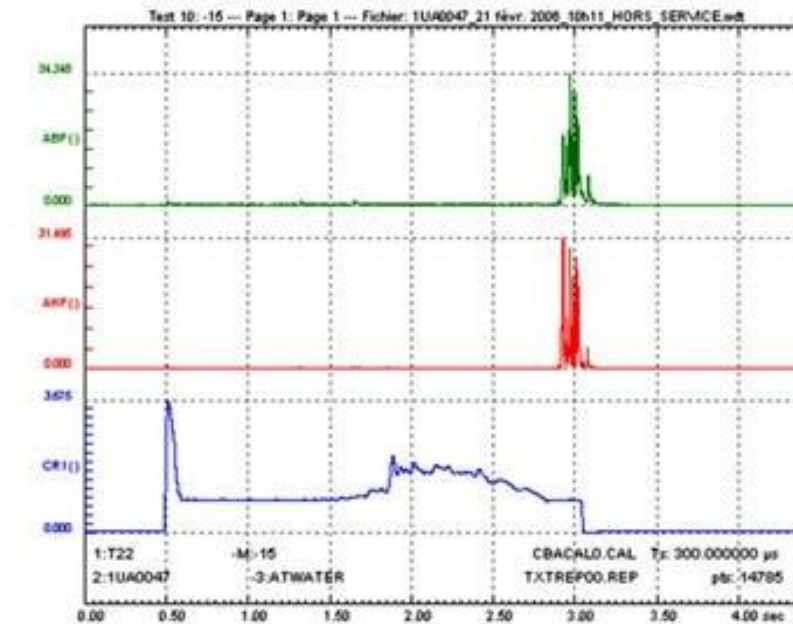


Fig. 27 Problemas mecánicos, identificados por la corriente demandada por el motor, en este caso fue problema de lubricación.

4. Detección de arqueos

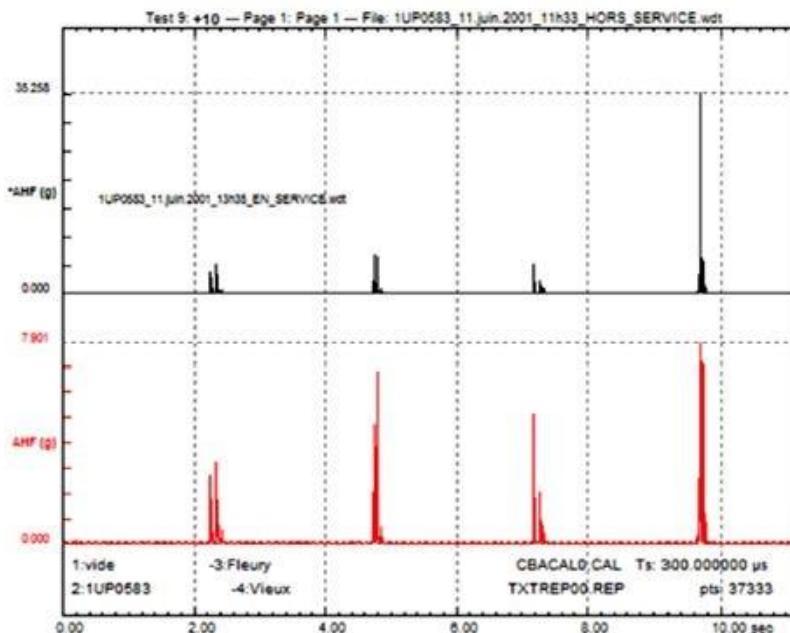


Fig.28 Detección de arqueos por vibraciones intensas fuera del rango de operación.

2.3.6 Prueba de corriente de excitación

La corriente de excitación es una prueba que se basa en la teoría del circuito equivalente. Esta prueba también suele ser llamada de circuito abierto, ya que se energiza el circuito equivalente por un lado y por el otro lado se deja el circuito abierto, de tal forma que la corriente que circula por el aparato de medición (equipo de factor de potencia) no es sino la consecuente del voltaje aplicado, en la impedancia de magnetización del núcleo y la inductancia de flujo disperso.

Entonces, como su mismo nombre lo indica, los resultados de las pruebas no son sino magnitudes de la corriente de excitación, pero la interpretación de los resultados nos permite determinar cortos circuitos entre espiras, falsos contactos en las conexiones, laminaciones dañadas, desplazamientos en los conductores, pero sobre todo (para propósitos de este seminario) permite una detallada revisión de funcionamiento del cambiador de derivaciones.

Esta prueba se inicia con la preparación del transformador, y este consiste en desconectar los conductores de todas las boquillas, incluyendo el o los neutros de tierra, también se asegura la conexión a tierra del tanque y finalmente se drena a tierra cualquier carga remanente en los conductores.

Se conecta el equipo a las terminales del devanado de mayor tensión, primero conectando correspondientemente la terminal de línea o HV (del inglés High Voltaje) al H1 y el de baja tensión o LV (Low Voltaje) a Ho, usando el circuito de medición UST, del equipo de prueba.

Entonces se puede comenzar con la energización del transformador dejando abiertos los devanados del secundario (y/o terciario cuando este exista) anotando correspondientemente los valores para cada posición de servicio del cambiador de derivaciones. Una vez terminado todo el recorrido del cambiador de derivaciones, desde la primera posición hasta la última, se desconecta el equipo de medición y se vuelve a conectar al mismo devanado pero con las terminales HV y LV, invirtiendo la posición en las boquillas.

Entonces para la interpretación de resultados, se debe observar que la magnitud de la corriente de excitación aumenta paulatinamente conforme el cambiador de derivaciones disminuye la cantidad de devanado, es decir, conforme se disminuye la impedancia del devanado. Además la lectura en posición cruzada se debe corroborar que en los resultados el porcentaje de desviación no supere el 2%.

En este caso cabe mencionar, que no existen magnitudes grandes o pequeñas, ya que primeramente la corriente de excitación dependerá del voltaje de excitación y a su vez debemos tomar en cuenta el comportamiento no lineal en la histéresis del núcleo ferro magnético.

En tal caso lo que verdaderamente vale la pena observar es el comportamiento de las corrientes en magnitud y posición, ya que de obtener comportamientos diferentes a los esperados, se puede tratar de un problema como los ya mencionados.

2.3.7 Pruebas al aceite aislante

Hasta el momento se ha hablado de las funciones principales del aceite, y de los componentes que presentes en él afectan sus características, pero el punto de interés ahora es que, para determinar y estar seguros de la calidad del aceite, se hace indispensable la realización de pruebas, haciendo análisis de las mismas y entendiendo lo que se está midiendo, para después poder tomar las medidas correspondientes.

Primeramente se debe saber que al aceite aislante se le pueden realizar un gran número de pruebas, diferentes e independientes entre si, por lo que en este punto no se propone profundizar en el tema, pues no es finalidad de esta tesis, sino más bien dar una visión general de las pruebas para entender los conceptos más comunes de los ingenieros de campo y finalmente encontrar la relación y aplicación con el cambiador de derivaciones.

El abundante número de pruebas que se pueden realizar al aceite se consiguen clasificar en tres categorías o tipos distintos, que son:

- Pruebas eléctricas.

- Pruebas físicas.
- Pruebas químicas.

Estas pruebas, para su mejor comprensión están desglosadas a continuación;

1. Pruebas eléctricas:

- a) Tensión de ruptura o rigidez dieléctrica.
- b) Factor de potencia.
- c) Resistividad.

2. Pruebas físicas:

- a) Densidad.
- b) Viscosidad.
- c) Temperatura de congelación.
- d) Temperatura de inflamación
- e) Aspecto visual.
- f) Análisis estructural.
- g) Tensión mecánica interfacial.

3. Pruebas químicas:

- a) Número de de neutralización o índice de acidez.
- b) Número de saponificación.
- c) Contenido de agua.
- d) Cloruros y sulfatos.
- e) Azufre total
- f) Punto de anilina
- g) Contenidos de gases disueltos

Aunque lo ideal para conocer el estado del aceite con el que se trabajará es realizar todas las pruebas, para tener la información completa de sus propiedades, en la realidad no siempre es posible, ya que esto requeriría de mucho tiempo invertido y a la vez no todas las pruebas nos arrojan información determinante para la toma de decisiones en campo, por lo que, usualmente solo se llevan a cabo ciertas pruebas, las cuales nos permitirán conocer el comportamiento del aceite para las situaciones a las que se verá sometido durante su uso en el transformador.

CAPITULO 3

MANTENCION AL CAMBIADOR DE DERIVACION BAJO CARGA

El mantenimiento del cambiador de derivación bajo carga debe garantizar una máxima fiabilidad y conocimiento de quien está efectuando este trabajo, ya que si no se realiza con un conocimiento completo puede conllevar a una falla irreversible en el equipo lo que dañaría irremediablemente al cambiador, pudiendo dejar en un tiempo muy prolongado fuera de servicio al transformador de poder, sin mencionar las grandes pérdidas económicas que resultaría con la pérdida del equipo, por lo cual realizar un correcto mantenimiento es indispensable para evitar daños o un mal funcionamiento en conjunto del cambiador de derivación bajo carga con el transformador de poder con respecto a su funcionalidad con el sep.

En este capítulo desarrollaremos un manual de mantenimiento al cambiador de derivación bajo carga, todo esto después de haber realizado un programa de mantenimiento concreto con la ayuda de las pruebas de detección de averías y futuros fallos descritas en el capítulo anterior para así garantizar que el mantenimiento se desarrolle con éxito y sin contratiempos, debiendo tener en cuenta todos los componentes del cambiador de derivación bajo carga ya que estos trabajan en perfecta sincronía de funcionamiento, por lo cual es necesario seguir una serie de pasos descritos en este capítulo para así facilitar el mantenimiento del cambiador.

Las únicas partes del cambiador de derivación bajo carga son el mecanismo de accionamiento motorizado, es aceite aislante y los contactos del cambiador, tanto los fijos como los móviles, los que posiblemente sea preciso sustituir durante la vida útil del cambiador de derivación bajo carga.

También desarrollaremos todas las precauciones a tener en cuenta en el mantenimiento de este equipo, para así salvaguardar la integridad de quienes realizan el mantenimiento, ya que se estará trabajando, además de energía eléctrica, con partes calientes y partes móviles lo que puede resultar peligroso en el desarrollo del mantenimiento, por lo cual seguir paso a paso los protocolos descritos en este manual.

Cabe señalar que cada fabricante realiza el manual tanto de instalación, montaje y mantenimiento de cada uno de sus equipos, dependiendo del modelo a tratar, por lo cual este trabajo busca complementar esta información dada por el fabricante y no sustituir lo mencionado anteriormente, por lo tanto se debe considerar las recomendaciones dadas por este, tanto la guía de instalación y puesta en servicio suministrada por este, todo esto para evitar averías posteriores al mantenimiento en la unidad, por lo que no se debe exceder nunca los límites de funcionamiento indicadas por el fabricante en las placas características del equipo.

3.1 Protocolos de seguridad

3.1.1 Advertencias

3.1.1.1 Antes de iniciar el mantenimiento:

- Antes de realizar cualquier tarea en el CDBC, colocar el control del mecanismo de accionamiento motorizado en posición 0 (abierto). También es recomendable mantener la puerta del mecanismo cerrada con un candado de bloqueo mientras dure el trabajo en el cambiador de derivación bajo carga, y que la persona a cargo del mantenimiento conserve la llave en su poder. De este modo se evita que el mecanismo de accionamiento motorizado se ponga en marcha de forma inesperada.
- Antes de iniciar cualquier trabajo en el interior del mecanismo de accionamiento motorizado es necesario desconectar la alimentación auxiliar, ya que el motor, los contactores y el elemento calefactor pueden recibir corriente de otras fuentes.

3.1.1.2 Durante el funcionamiento:

- Los dispositivos de ventilación (deseCADador o válvula de aire de una vía) siempre expulsan pequenas cantidades de explosivos. Asegurarse de que no haya fuego, superficies calientes ni chispas en las inmediaciones de dichos dispositivos.
- En caso de interrupción de la alimentación eléctrica durante el funcionamiento, la maniobra se completar cuando se restablezca el suministro.
- No inserte la manivela durante una maniobra eléctrica.
- Si se retira la manivela antes de que el cambiador de tomas en carga haya llegado a una posición exacta, el mecanismo de accionamiento motorizado se pondr en marcha para llevar el cambiador a su posición exacta, siempre y cuando reciba alimentación eléctrica.

3.1.1.3 Durante la manipulación del aceite:

- El aceite de transformador sin usar es ligeramente tóxico; cuando est caliente, los gases que despiden pueden irritar el aparato respiratorio y los ojos. El contacto constante y prolongado con el aceite de transformador puede provocar sequedad en la piel.
- El aceite usado de la caja del conmutador y de la caja del selector de carga del cambiador de derivación bajo carga contiene sustancias nocivas. Los gases que despiden irritan el aparato respiratorio y los ojos y son muy inflamables. El aceite de transformador usado puede además resultar cancerígeno.
- Evitar el contacto con el aceite en la medida de lo posible y utilizar guantes de protección adecuados para manipular esta sustancia.
- Recoger el aceite usado en bidones de aceite.
- El aceite debe recogerse con un dispositivo de absorción y eliminarse como residuo peligroso para el medio ambiente.
- En caso de incendio, utilizar un extintor de polvo, espuma o anhídrido carbónico para apagarlo.

- Al extraer por bombeo el aceite usado de un cambiador de derivación bajo carga, es preciso utilizar tubos y flexibles conectados a tierra para evitar el riesgo de explosión derivado de los gases que generan los arcos eléctricos durante el funcionamiento.
- La temperatura del aceite del cambiador de derivación bajo carga puede ser muy elevada. Extremar las precauciones.
- Asegurarse de que no haya fuego, superficies calientes ni chispas cuando vaya a abrir la caja o vaciarla por la válvula ya que siempre se forma una bolsa de gases explosivos. Deje transcurrir unos 15 minutos después de quitar la derivación a para permitir la salida del gas antes de iniciar cualquier tarea.
- Tener en cuenta que las manchas de aceite pueden ser resbaladizas, por ejemplo, cuando se trabaje en la derivación a del transformador.

3.1.2 Precauciones de seguridad

- No introducir aceite en el cambiador de derivación bajo carga si la cuba del transformador está al vacío y el cambiador de derivación bajo carga no lo está.
- Dejar que se forme una bolsa de gas sobre el aceite del cambiador de derivación bajo carga.

3.1.2.1 Después del llenado de aceite:

- No aplicar corriente al transformador hasta tres horas después del llenado de aceite a la presión atmosférica. Este periodo de espera es indispensable para que desaparezcan las burbujas de aire.

3.1.2.1 Montaje de juntas:

- Los bordes de cierre y las juntas deben estar limpios y en perfecto estado. Los tornillos de las juntas deben apretarse gradualmente, por turnos de dos diametralmente opuestos.

3.2 Preparativos antes de realizar el mantenimiento

Para un correcto mantenimiento de un cambiador de derivación bajo carga , se debe disponer previamente con los siguientes materiales y medios auxiliares para asegurar un mantenimiento correcto y bien programado, como también asegurar todas las medidas de seguridad para proteger la integridad de las personas que participaran en este mantenimiento, estos preparativos son:

- Dispositivo de elevación o grúa incluido el conductor para elevar el cuerpo insertable del ruptor. Se debe tener en cuenta la altura de extracción y el peso del cuerpo insertable del ruptor en cuestión según la tabla adjunta
- Aceite aislante mineral nuevo según IEC 60296 y barriles vacíos. Para la cantidad de aceite y la especificación del aceite.
- Aceite aislante mineral nuevo según IEC 60296 para fines de limpieza, aprox. 30-50 litros (cuerpo insertable del ruptor OILDERIVACIÓN ® G aprox. 100 litros)
- Bomba de aceite con mangueras y conexiones para el cambio de aceite
- Cuba para limpiar las piezas del cambiador de derivación bajo carga.
- Escalera adecuada para subir de forma segura el transformador, a ser posible una escalera de mano, cuya altura supere como mínimo 1 m el punto de contacto para permitir la sujeción al exceder su altura.
- Mesa de trabajo para el mantenimiento del cuerpo insertable del ruptor
- Puesto de trabajo, a ser posible un taller, con suficiente iluminación
- Alimentación de tensión
- Medio de transporte adecuado para el transporte del cuerpo insertable del ruptor al taller.
- Grúa para manipular los cuerpos insertables del ruptor de cambiadores de derivación bajo carga durante los trabajos de mantenimiento

3.2.1 Trabajos preliminares

- Desconectar el transformador, poner a tierra en ambos lados y asegurar (interruptores de potencia abiertos), limite la zona de trabajo y desconecte las instalaciones de extinción automáticas (CO2, etc.)
- Tomar todas las medidas legales vigentes y las que sean necesarias para la protección frente a accidentes (andamio de trabajo, opción de sujeción para el arnés de seguridad, etc.)
- establecer cómo deben comportarse en caso de emergencia –a quién debe informarse, qué debe hacer quién, disposición de medios auxiliares de rescate en el lugar.

3.3 Programa de mantenimiento

El programa de mantenimiento cuenta con tres etapas principales:

1. Inspección
2. Revisión
3. Sustitución de contactos

3.3.1 Inspección

En la placa de características se recomienda llevar a cabo una “inspección anual”. Esta recomendación se refiere principalmente al mecanismo de accionamiento motorizado y consiste en una inspección visual del interior del armario del mecanismo, en comprobar que el calentador funciona, etc.

El mecanismo de accionamiento motorizado está equipado con un contador que registra todas las maniobras de cambio de tomas. Cada vez que se proceda a una inspección deberá anotarse la lectura del contador. Si es posible, se recomienda comprobar el correcto funcionamiento del motor y el contador mediante una maniobra de cambio de posición en una dirección y en la contraria.

Si el cambiador de tomas en carga está equipado con su propio conservador de aceite, se debe comprobar el desecador y el indicador del nivel de aceite con arreglo a las instrucciones del fabricante del transformador.

Esta inspección se realiza con el transformador en funcionamiento.

En cuanto a la inspección del mecanismo de accionamiento motorizado, incluye comprobar los siguientes puntos:

- Motor y contador
- Calentador
- Valor del contador

Por su parte, la inspección del conservador incluye los puntos siguientes:

- Nivel de aceite
- Desecador



Fig. 29 Estado aceite cambiador de derivación

3.3.1.1 Procedimiento

Advertencia

Esta tarea debe realizarse con la toma de tierra debidamente conectada, ya que el transformados se encuentra bajo tensión.

3.3.1.2 Comprobación del desecador

Se debe comprobar el desecador según las instrucciones del fabricante del transformador

Advertencia

Los desecadores y el tubo del conservador contienen gases explosivos. Asegurarse de que no haya fuego, superficies calientes ni chispas antes de desmontar el desecador.

Si más de la mitad del producto desecante ha cambiado de color, será preciso secarlo o reemplazarlo.

Por lo general, el producto desecante empieza a cambiar de color por la parte inferior del desecador. Si empieza a cambiar de color por la parte superior de éste, existe una fuga en las conexiones al conservador que habrá que localizar y sellar.

3.3.1.3 Comprobación del nivel de aceite del conservador

El nivel de aceite del conservador debe ser el indicado en las instrucciones del fabricante.

3.3.1.4 Comprobación del motor y del contador

Asegurarse de que el motor funciona correctamente, que el indicador de posición aumenta (o disminuye) un paso y que el contador se incrementa en una unidad cada vez que se realiza una maniobra. Registrar la lectura del contador que muestra el número de maniobras efectuadas por el cambiador de tomas en carga (esta información puede ser de utilidad para elaborar el programa de revisión).

Asegurarse de que el motor también funciona correctamente en esa dirección, que el indicador de posición disminuye (o aumenta) un paso y que el contador se incrementa en una unidad más.

3.3.2 Revisión

La frecuencia de las revisiones viene dada por la vida útil de los contactos y el número de maniobras o el tiempo en servicio.

El número de maniobras del cambiador de derivación bajo carga se registra en un contador situado, dependiendo del modelo del cambiador, en el armario del mecanismo de accionamiento motorizado. Cada vez que se lleve a cabo una inspección o una revisión habrá que anotar el número de maniobras indicado en el contador.

Por lo general, el cambiador de derivación bajo carga debe someterse a revisión con una frecuencia equivalente a la quinta parte de la vida útil prevista de los contactos. La información correspondiente figura en la placa de características. De este modo, es posible hacer un seguimiento del desgaste de los contactos y planificar su sustitución.

Si la frecuencia de las maniobras de cambio de tomas es tan reducida que debe transcurrir un periodo de tiempo muy prolongado hasta alcanzar la quinta parte de la vida útil de los contactos, el intervalo entre revisiones no deberá exceder el indicado en la placa de características (normalmente 5 años).

La revisión, aunque se encargue a personal debidamente formado, requiere al menos 8 horas de trabajo, incluidas las 3 horas de periodo de espera tras el llenado de aceite.

3.3.2.1 Procedimiento

La revisión incluye básicamente la elevación y limpieza del selector de carga, la comprobación del selector de carga y del preselector (en su caso), la comprobación de las resistencias de paso, y la comprobación de los contactos y del mecanismo de accionamiento motorizado.

El procedimiento de revisión incluye los siguientes puntos:

- Vaciado y filtrado del aceite
- Elevación y limpieza del selector de carga y de su caja
- Comprobación de los contactos fijos y móviles del selector de carga y del preselector (en su caso)
- Comprobación de las resistencias de paso
- Introducción del selector de carga en su caja
- Comprobación del relé de presión
- Lubricación del sistema de ejes de transmisión
- Comprobación del mecanismo de accionamiento motorizado

- Llenado de aceite
- Puesta en funcionamiento



Fig. 30 Elevación selector de carga

3.3.2.2 Desconexión y puesta a tierra del transformador

Advertencia

Antes de iniciar cualquier tarea en el cambiador de tomas en carga es necesario poner el disyuntor de protección del motor y el selector de control LOCAL/REMOTO, según corresponda, en la posición 0.

Antes de llevar a cabo cualquier tarea en el cambiador de tomas en carga: Asegurarse de que el transformador esté desconectado y de que la conexión a tierra sea correcta.

Accionar la manivela del cambiador de derivación bajo carga hasta llegar en la posición mantenimiento, según corresponda

3.3.2.3 Juego de repuestos estándar recomendado

Durante la revisión, se debe contar con un juego de recambio de contactos para el selector de cargas, dependiendo del modelo de cambiador de derivación a realizar el mantenimiento.

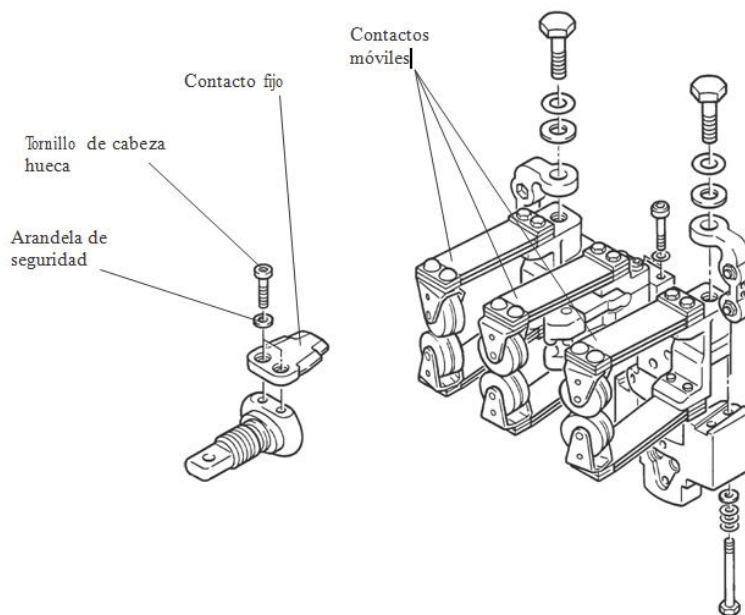


Fig. 31 Juego de contactos estándar

3.3.2.4 Análisis y vaciado del aceite

Advertencia

La temperatura del aceite del cambiador de tomas bajo carga, puede ser muy elevada, por lo cual se debe extremar precauciones.

Se debe tomar una muestra de aceite por la válvula y sométala a un ensayo de rigidez dieléctrica con arreglo a la norma IEC 60156 (2,5 mm de distancia entre los electrodos en forma de casquete esférico). La finalidad de este ensayo es comprobar si el aceite se puede filtrar o es necesario sustituirlo.

La rigidez dieléctrica de la muestra, tomada con el cambiador de derivación bajo carga en funcionamiento, no debe ser en ningún caso inferior a 30 kV. Después de filtrar el aceite o cambiarlo por aceite sin usar, la rigidez dieléctrica debe ser al menos de 40 kV. De lo contrario, el aceite no será adecuado para llenar el cambiador.

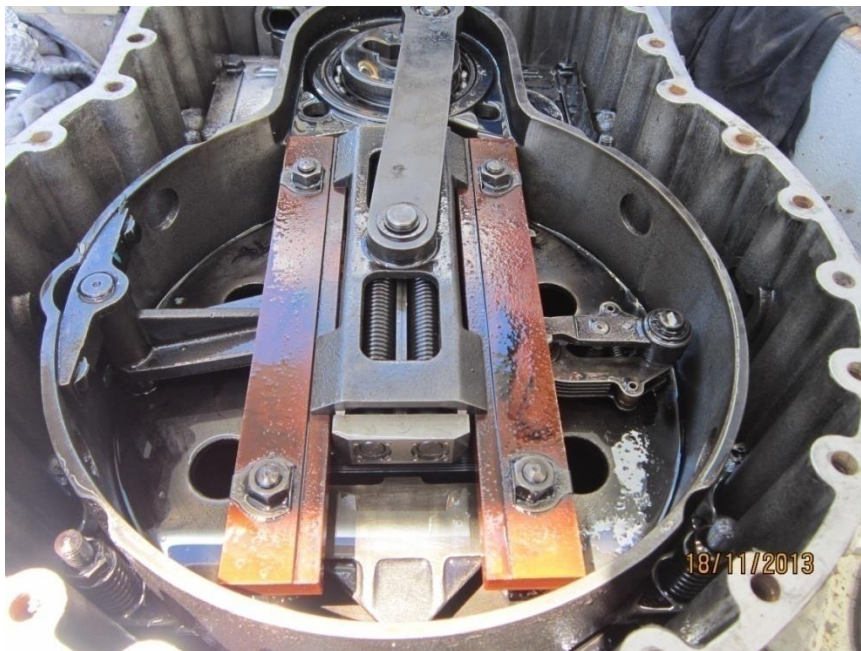


Fig. 32 Vista cambiador derivación, una vez vaciado el aceite

3.3.2.5 Filtrado del aceite

Después de extraer el aceite es necesario filtrarlo para eliminar las impurezas y devolverle la elevada rigidez dieléctrica requerida. El valor disruptivo del aceite purificado debe ser como mínimo de 40 kV/2,5 mm con arreglo a la norma IEC 60156.

Para comprobar los resultados del filtrado, tomar una muestra durante el filtrado y otra después de llenar de aceite el cargador de derivación bajo carga.

3.3.2.6 Comprobación del desecador

Comprobar el desecador siguiendo las instrucciones del fabricante del transformador.

Advertencia

Los desecadores y la tubería del conservador contienen gases explosivos. Asegurarse de que no haya fuego, superficies calientes ni chispas antes de desmontar el desecador.

Si más de la mitad del producto desecante ha cambiado de color, será preciso secarlo o reemplazarlo. Por lo general, el producto desecante empieza a cambiar de color por la parte inferior del desecador.

3.3.2.7 Comprobación de los contactos

Nota: En esta parte la revisión dependerá del fabricante y modelo del cambiador de derivación bajo carga.



Fig. 33 Contactos del selector de carga

3.3.2.8 Contactos móviles

Nota: Si se cambian los contactos móviles, se debe sustituir también todos los contactos fijos que estén bastante desgastados, para minimizar el desgaste de los contactos móviles nuevos.

Si durante el periodo que ha estado en funcionamiento el cambiador de derivación bajo carga solamente ha utilizado unas cuantas posiciones, se puede reemplazar los contactos de dichas posiciones que estén desgastados y dejar los contactos no desgastados de las posiciones que no se hayan utilizado.



Fig. 34 Muelle de los contactos móviles del selector de carga

Precaución

Si el cambiador de tomas en carga ha superado las 500.000 maniobras, será necesario cambiar los contactos, pues la tensión de los resortes de los contactos se habrá debilitado.

3.3.2.9 Comprobación de funcionamiento del relé de presión.

Se debe realizar esta comprobación conectando la bomba de aire y el manómetro a la toma de pruebas del relé de presión. Se debe aumentar la presión hasta que el relé dispare los disyuntores del transformador.

La presión leída en el manómetro debe tener desviación máxima de $\pm 10\%$ según la placa descriptiva.

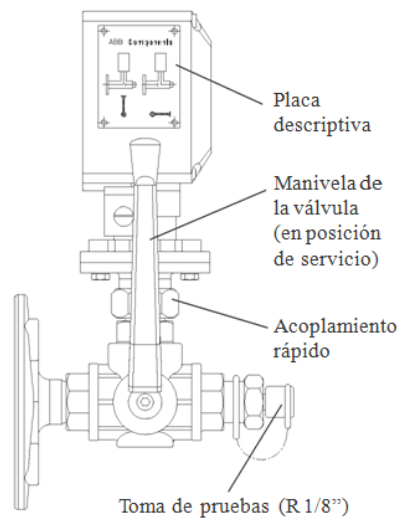


Fig. 35 Relé de presión

3.3.3 Sustitución de contactos

En la placa de características del cambiador de derivación bajocarga se indica la vida útil prevista de los contactos de reposo del selector de carga a la carga nominal.

Los contactos pueden soportar un gran número de maniobras de conmutación. En el caso de los transformadores de potencia normales, el selector de carga efectúa unas 20 maniobras diarias, lo que significa que normalmente no será necesario cambiar los contactos en toda la vida útil del transformador. (En el caso de los cambiadores de derivación bajocarga montados en transformadores de horno, el número de maniobras puede ser considerablemente mayor).

Precaución

El número de maniobras no debe exceder en ningún caso de 500.000, pues la tensión de los resortes de los contactos se debilitaría.

CONCLUSION

En este seminario hemos visto la importancia que tiene el cambiador de derivación bajo carga en el funcionamiento de un Sep, jugando un papel preponderante entre la interconexión de sistemas, principalmente en la estabilidad de voltajes, demostrando que es tan importante que el transformador de potencia, y que en su conjunto son unos de los equipos mas importantes e indispensables en la conversión de energía en la red.

También reconocimos los factores a tomar en cuenta o los parámetros a tener cuidado a analizar para tener al cambiador de derivación bajo carga en optimas condiciones de operación, y así poder realizar diferentes estrategias de monitoreo, todo esto para prever futuras fallas, conociendo las principales fallas o mejor dicho las que más son comunes tener en el cambiador y así poder tener un enfoque mas preciso al momento de realizar este monitoreo.

Analizamos las pruebas a realizar para detectar estas fallas, y así poder planificar de acuerdo a las diferentes condiciones en el que se encuentra el cambiador de derivación bajo carga, principalmente el impacto que podría tener dejarlo fuera de servicio en el Sep, y teniendo en cuenta de que esta mantención se realiza en conjunto con el transformador de poder, realizando nuevas y mejores estrategias de mantenimiento, tanto para planificar como para las acciones a realizar, ya sea en un mantenimiento preventivo o correctivo.

Posteriormente, una vez identificadas las fallas y realizada la planificación del mantenimiento, se describió tanto los preparativos antes de realizar el mantenimiento, el mantenimiento en si del cambiador de derivación bajo carga, siguiendo una series de protocolos tanto de desenergizacion del equipo como las medidas de seguridad para el personal a cargo del mantenimiento.

Por otro lado, luego de realizado el mantenimiento, se debe verificar el correcto funcionamiento del cambiador antes de la energización, sobre todo antes de conectar cualquier carga al transformador, todo esto realizando diferentes pruebas para asesorase de eliminar cualquier riesgo posible, ya que cualquier anomalía podría originar corrientes de corto circuito que podrían dañar otros elementos conectados al transformador, no solo económicos, sino también daños al personal a cargo.

Finalmente podemos decir que no solo los métodos de prueba nos darán la seguridad de que el mantenimiento resulto como se planifico con anticipación, sino que también la correcta realización de todos los puntos expuesto en ese seminario, tanto el conocimiento teorico, como también el práctico, nos ayudaran a realizar un trabajo que nos permitirá una mantención exitosa y sin percances, por lo cual el entrenamiento del personal a cargo es fundamental para que la mantención del cambiador de derivación bajo carga sea un trabajo profesional, y asi poder cumplir con los tiempos en el cual el equipo se encuentra fuera de

servicio, pero sobre todo utilizar este profesionalismo para salvaguardar la integridad de las personas en contacto directo con este importante equipo en un sistema eléctrico de potencia.

BIBLIOGRAFIA

- [1]IEC 60296 . (2012). Fluids for electrotechnical applications – Unused mineral insulating oils for transformers and switchgear. International ElectrotechnicalCommission: fourthedition.
- [2]NMX-J-123. (2008). Aceites minerales aislantes para transformadores – Especificaciones, muestreo y métodos de prueba. ”, Asociación de Normalización y Certificación: Ance.
- [3]John J. Winders, Jr.. (2002). Power Transformers Principles and Applications. New york: Marcel Dekker Inc.
- [4]ABB. (2010). Cambiador de tomas, Tipo UBB.ABB
- [5]ABB. (2010). Cambiador de tomas, Tipo VUCG.ABB
- [6]ABB. (2010). Cambiador de tomas, Tipo UCG.ABB
- [7]CM. (2004). Conmutador de tomas en carga, Instrucciones de operación. Shanghai: Shanghaihuaming manufactura de equipos electricoS.A..
- [8]Reinhausen. (2010). Cambiador de tomas en carga RMV-A. Regensburg: MaschinenfabrikReinhausen.
- [9]Reinhausen. (2009). Mantenimiento preventivo de cambiadores de tomas bajo carga. Regensburg: MaschinenfabrikReinhausen.
- [10]Reinhausen. (2010). Instrucciones generales para los preparativos de mantenimiento de los cambiadores de toma bajo carga. Regensburg: MaschinenfabrikReinhausen.
- [11]Reinhausen. (2010). On load tap changers for powers transformers. Regensburg: MaschinenfabrikReinhausen.
- [12]IEC 60076-3. (2000). International standard. Geneva, Switzerland: IEC central office.
- [13]Inducor. (2011). La prueba dinamica del cambiador de tomas. Electrical testing group.
- [14]AHV ingenieros. (2012). Pruebas con TTR. Concepcion: AHV ingenieros.
- [15]Alvares, S.. (2006). El conmutador bajo carga. Bogota: Universidad de Bogota.
- [16]Transequipos. (2009). Triangulo de duval. Enero 21, 2015, de Transequipos Sitio web: <http://transequipos.com/cuadro-de-duval>
- [17]Sarria, J., Guerrero, N., & Rivas, E. . (2013). Estado del arte del análisis de gases disueltos en transformadores de potencia. Octubre, 2014, de Universidad Distrital Sitio web: <http://www.scielo.org.co/pdf/rfing/v23n36/v23n36a10.pdf>

[18]Zensol. (2014). Analizador de Cambiador de Tomas bajo Carga - TAP-4. Octubre 2014, de Zensol Sitio web: <http://www.zensol.com/es/productos/TAP-4>

[19]M y S mantenimiento. (2008). Toma De Muestras y Análisis Completos De Aceites Dieléctricos.. Noviembre 2014, de M y S mantenimiento Sitio web: <http://www.mysmantenimiento.com.ar/z1.html>

[20]Ramos, C., Garcia, R., Nava, J., &Ramirez,J.. (2011). Procedimiento de evaluacion de la condicion de transforfadores de potencia y subestaciones de gas. Juarez: Universidad Autonoma.