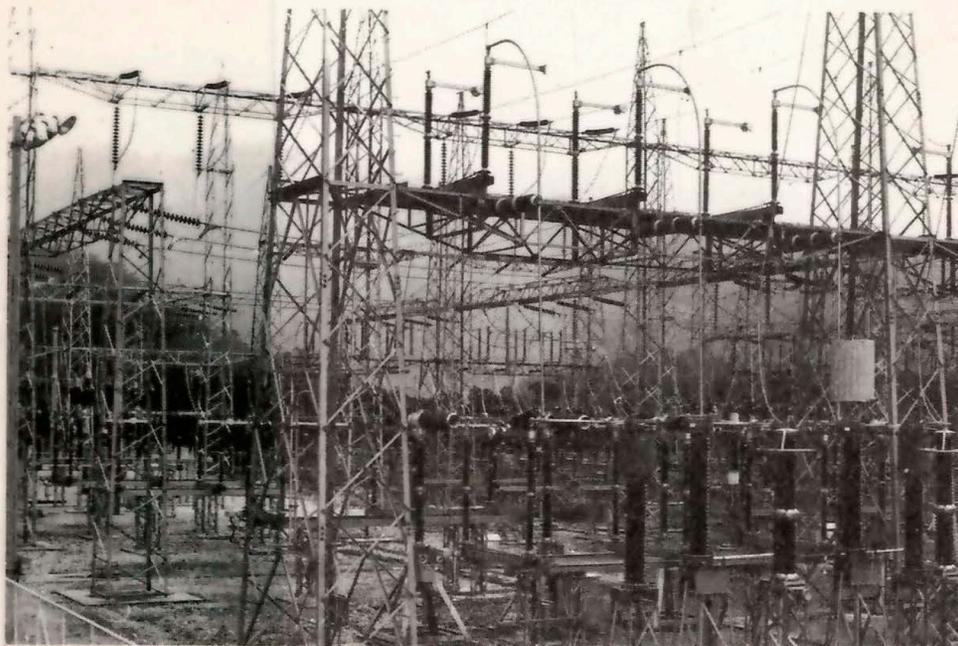


SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE -SENA-
Regional Antioquia-Choco



PROYECTO ELECTRICO

Operación de Subestaciones de energía



BLOQUE MODULAR:

1

OPERACION DE SUBESTACIONES DE ENERGIA

Módulo instruccional:

5

TRANSFORMADOR DE POTENCIA



Empresas Públicas de Medellín

Regional
Antioquia Chocó



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

TRANSFORMADOR DE POTENCIA

MODULO INSTRUCCIONAL 5

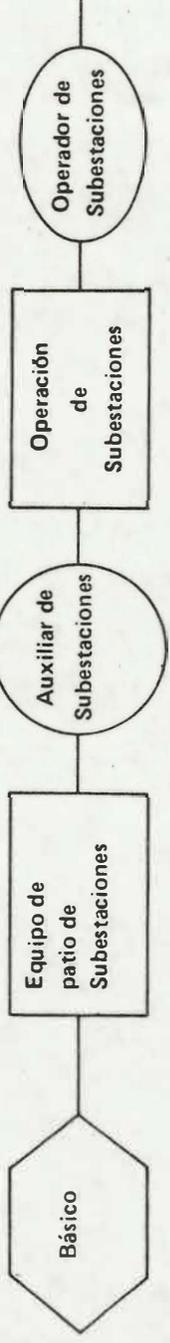
UNIDAD 1

07019

FM
0075
EJ. 1



OPERACION DE SUBESTACIONES DE ENERGIA



C O N T E N I D O

INTRODUCCION

OBJETIVOS

I. Transformador – Autotransformador

A. Equipo de Conservación de aceite

1. Funciones del conservador de aceite
2. Características del conservador de aceite

B. Desecador de aire

C. Relé Buchholz (aparato detector de gas)

D. Grupo moto-ventilador

E. Atravesadores o pasatapos (bujes de conexión)

F. Chimeneas de explosión de diafragma (válvula de seguridad con sistema de señales)

G. Indicador de nivel para líquido dieléctrico tipo carátula y de transmisión magnética.

H. Termóstatos

I. I. Imagen Térmica

J. Relé tipo RS 1000 para protección de reguladores con carga

1. Objetivo
2. Descripción
3. Funcionamiento
4. Instalación
5. Conexión de relé

K. Refrigeración de los transformadores

L. Aceites aislantes para transformadores

1. Características físicas
2. Características químicas
3. Características eléctricas

M. Placa de características

II. Otros transformadores

A. Transformadores Secos

B. Transformadores con nitrógeno

RESUMEN

BIBLIOGRAFIA

EL TRANSFORMADOR DE POTENCIA

INTRODUCCION

El Transformador es uno de los dispositivos llamados convertidores, ya que aseguran las diversas transformaciones posibles de las características de la energía eléctrica.

Los transformadores son elementos utilizados para convertir una corriente alterna en otra corriente alterna de distinta tensión; característica importantísima que los hace indispensables, en muchas aplicaciones industriales.

Por lo general, los valores de la tensión primaria y secundaria son diferentes y también se establece una distinción entre los devanados correspondientes, designándolos como DEVANADO DE ALTA TENSION Y DEVANADO DE BAJA TENSION, respectivamente.

Cuando el devanado primario, es también el devanado de alta tensión, se trata de un transformador REDUCTOR, es decir que reduce la tensión; por el contrario, si el devanado primario es el devanado de baja tensión, se trata de un transformador ELEVADOR, ya que la tensión de utilización en el secundario, es más elevada que la tensión primaria.

Como consecuencia de lo anterior, podemos obtener grandes ventajas, como es por ejemplo el caso del transporte de la energía eléctrica; ya que resulta tanto más económico cuanto mayor sea la tensión de transporte. Por otra parte, la energía eléctrica es más fácil de producir y menos peligrosa a baja tensión; como también más fácil de utilizar y menos peligrosa. De aquí, el gran interés que ofrece el transformador con el que, con pequeñas pérdidas, es posible obtener lo siguiente:

1. Transformar la energía eléctrica de baja tensión y gran intensidad a la salida de una central generadora en energía eléctrica de alta tensión y pequeña intensidad (transformador elevador) con el objeto del transporte de energía.
2. Transformar de nuevo esta energía eléctrica de alta tensión y pequeña intensidad en energía de baja tensión y gran intensidad (Transformador reductor) para poder ser distribuida (utilizada).

Esta es la aplicación más importante de los transformadores y cuando éstos se utilizan para el transporte y distribución de energía eléctrica en los grandes sistemas, reciben en general, el nombre de TRANSFORMADORES DE POTENCIA.

O B J E T I V O S

Con el estudio de esta unidad el trabajador - alumno estará en condiciones de :

- Diferenciar y utilizar los elementos accesorios del transformador, su funcionamiento y la misión que desempeñan.
- Conocer las rutinas o "Control" que debe llevar el operador.

I. TRANSFORMADOR – AUTO-TRANSFORMADOR

A. Equipo de Conservación del Aceite:

El conservador del aceite (recipiente de expansión) o tanque destinado a transformadores con regulación bajo carga, es un recipiente horizontal; montado sobre el tanque (cuba) del transformador y unido a éste por una tubería en la cual se coloca un relé Buchholz con 2 contactos y con válvulas de aislamiento.

El conservador de aceite está provisto de 2 compartimentos uno de los cuales alimenta la cuba del transformador y el otro contiene el aceite de reserva para la cámara de ruptura del conmutador de Tomas. Ambos compartimentos están separados por un tabique y comunican entre sí por una abertura cerrada con un disco de material filtrante ya que el aceite de la cámara de ruptura es menos puro debido a la oxidación y a las chispas provocadas en cada cambio del conmutador de Tomas.

El conservador está provisto de un orificio de llenado, dos válvulas de vaciado y filtración en su parte inferior y en su parte superior de un indicador de nivel.

1. Funciones del Conservador de Aceite:

El conservador de aceite, figura 1, tiene fundamentalmente 3 funciones:

- Mantener constante el nivel del aceite en la cuba del transformador. El aislamiento interno del transformador se establece teniendo en cuenta la presencia del aceite aislante. Por lo tanto, es esencial que la cuba del transformador esté siempre llena de aceite a pesar de la dilatación o de la contracción del volumen de aceite en función de las variaciones de las temperaturas.
- Impedir el envejecimiento del aceite; bajo la acción del oxígeno y de las sales minerales que actúan como catalizador, se produce en el aceite de los transformadores, una reacción de envejecimiento, cuya velocidad está favorecida por la temperatura.

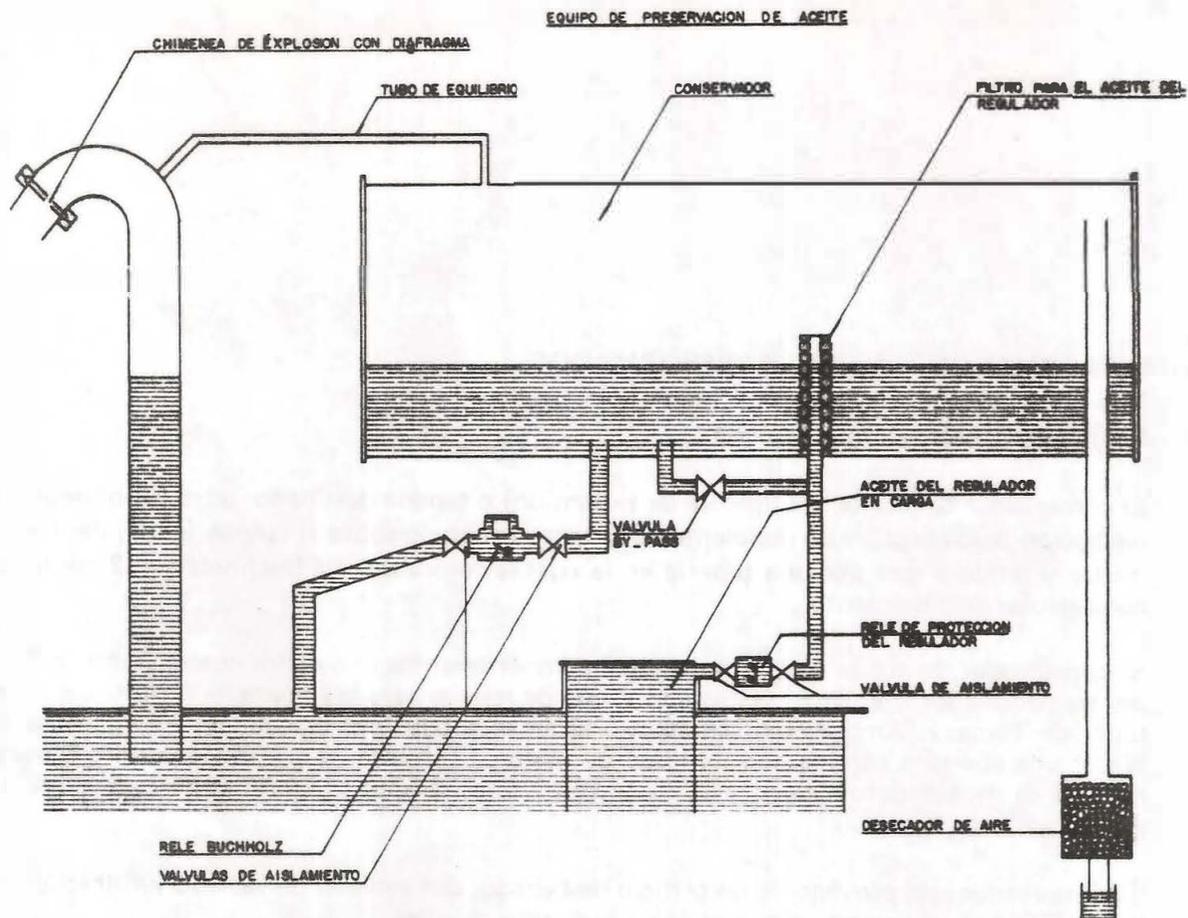


FIG. 1 – Conservador de Aceite.

Este envejecimiento se traduce en un aumento de la acidez y la formación de compuestos que atacan la celulosa, provocando la degradación de las características eléctricas de los aislantes.

- Impedir la absorción de la humedad: El contenido de agua en los aceites utilizados para transformadores afecta su rigidez dieléctrica.
- Además de absorción de agua por el aceite entraña el riesgo de una concentración de humedad en los aislamientos de los arrollamientos y cables de alimentación con el peligro de provocar una reducción de sus propiedades aislantes.

2. Características del Conservador de Aceite:

El conservador logra estas 3 funciones de la siguiente forma:

- El conservador está sobredimensionado para contener aproximadamente el 100% del volumen total del aceite y poder mantener así constante el nivel del aceite del transformador.

- La temperatura del aceite del conservador es menos que la de la cuba, al mismo tiempo la superficie de aceite en contacto con el aire es menor lo que hace reducir la oxidación y por consiguiente el envejecimiento del aceite.
- La condensación eventual de agua solamente puede producirse en el conservador; para impedir que el agua condensada fluya hacia la cuba principal del transformador, la tubería de enlace rebosa ligeramente en el interior del conservador. Para evitar la formación de agua de condensación en el conservador, la tubería de aire de éste, está provista de un desecador de aire.

B. Desecador de Aire.

El desecador de aire, figura 2, está destinado a extraer la humedad del aire aspirado por el transformador en período de contracción (poca demanda: enfriamiento del aceite). Presenta además la ventaja de oponerse a la respiración durante las pequeñas variaciones de la carga del transformador.

El aparato está constituido por un recipiente, fijado en el transformador, que contiene el depósito de material deshidratante (1) y el sifón para el aceite.

Cuando la temperatura del transformador es estacionaria, el material deshidratante (1) permanece aislado de la atmósfera por una capa de aceite.

Cuando la masa del transformador está en curso de enfriamiento; la respiración se establece en cuanto la depresión alcanza cierto grado en el tubo (2), evacuando el aceite que contiene el tubo (3).

DESECADOR DE AIRE

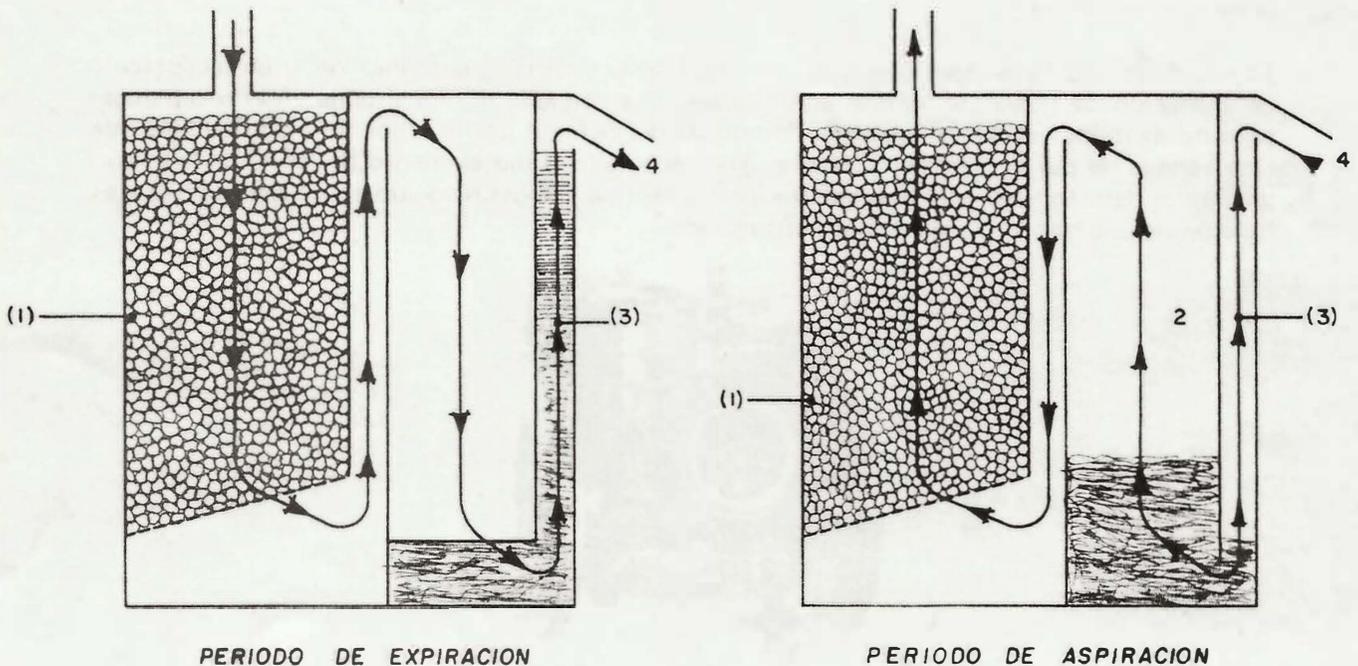


FIG. 2 – Desecador de Aire

El aire penetra por el saliente que se encuentra en la parte superior del tubo (3), atraviesa la capa de aceite del tubo (2) en donde se depositan las partículas de agua y el polvo que están en suspensión de acuerdo, a las condiciones atmosféricas, pasando luego a través de una importante capa de material deshidratante (1) antes de penetrar en el conservador o en el tanque del transformador.

Durante el período de calentamiento, la dilatación del líquido dieléctrico provoca la expulsión del aceite contenido en el tubo (2) en cuanto la presión alcanza un valor suficiente y la expiración se establece en sentido contrario.

El material deshidratante por lo general es SILICAGEL; puede absorber hasta el 30o/o de su peso de agua convirtiéndose seco exteriormente.

Su color es azul en estado seco y se torna rosado cuando adquiere humedad. En este estado se debe proceder a su cambio.

La duración de la silicagel depende naturalmente de las variaciones de carga en el transformador y el estado de sequedad de la atmósfera.

C. Relé Buchholz (Aparato Detector de Gas):

El relé Buchholz es un dispositivo de protección sensible a los fenómenos que se producen cuando se inicia un defecto en el interior de un transformador, es cuando se produce desprendimiento de gas o de vapor debidos a la descomposición de los aislantes orgánicos (sólidos o líquidos); por efecto del arco o de "puntos" calientes.

El relé Buchholz es un aparato compacto, de poco volumen y de fácil montaje; provisto generalmente de válvulas de entrada y de salida, que permiten montarlo en serie sobre la canalización que une el transformador con el depósito conservador de aceite. Viene provisto de una flecha indicadora de la dirección del flujo de gases que va de la cuba del transformador al tanque conservador.

El relé Buchholz lleva dos flotadores, uno de alarma y otro de desconexión; y un receptáculo de captación de gases contenidos en el aceite. Una pequeña mirilla situada en el receptáculo permite examinar el gas y juzgar la naturaleza del defecto por el color y la cantidad de este. Una válvula de purga permite recoger el gas acumulado como elemento de juicio de la importancia del defecto y su eventual agravación; la cantidad de gas recogido en un tiempo dado, es función de una posible falla en el transformador.

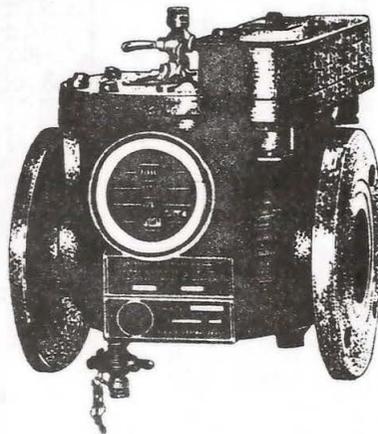


FIG. 3 – Aspecto exterior de un relé Bouchholz (ACEC).

La posición del flotador de alarma, depende del nivel del aceite en el receptáculo (presión de los gases que tiene el aceite). La posición del flotador de desconexión depende de la velocidad del caudal de aceite y de gas que circula desde el transformador hasta el conservador.

El relé lleva en la parte superior una llave que puede utilizarse para los ensayos de funcionamiento de los flotadores.

Funcionamiento del Relé Buchholz

Para explicar el funcionamiento nos referimos a las figuras 3 - 6 - 4. Las partes componentes del Relé Buchholz se pueden observar en la figura 5 - 7.

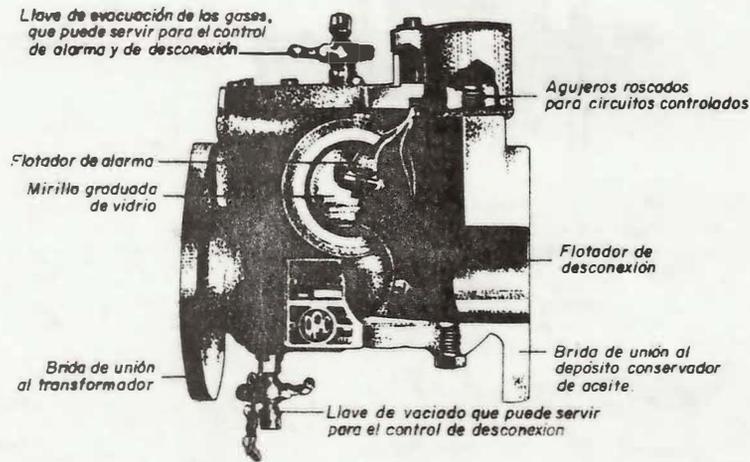


FIG. 4 — Corte parcial de un relé Buchholz (ACEC).

El receptáculo (a), lleno de aceite normalmente, contiene los 2 flotadores (b1) y (b2) móviles alrededor de ejes fijos. Si, a consecuencia de un defecto poco importante, se producen pequeñas burbujas de gas, éstas se elevan en la cuba del transformador, y se dirigen hacia el depósito conservador del aceite. Estas burbujas son captadas por el aparato y almacenadas en el receptáculo, donde el nivel del aceite baja progresivamente, a medida que las burbujas llenan el espacio superior del receptáculo. Como consecuencia el flotador (b1) se inclina, y cuando la cantidad de gas es suficiente, cierra sus contactos (c1) que alimentan el circuito de alarma (d). Si continúa el desprendimiento de gas, el nivel del aceite en el receptáculo baja hasta que los gases puedan alcanzar la tubería que los lleva hasta el depósito conservador.

El flotador (b2) conserva su posición de reposo mientras sea lento el desprendimiento de gases. Si el defecto se acentúa, el desprendimiento se hace violento y se producen grandes burbujas; de tal forma que a consecuencia del choque el aceite fluye bruscamente a través de la tubería hacia el depósito conservador del aceite.

Este flujo de aceite encuentra el flotador (b2) y lo acciona, lo que provoca el cierre de los contactos (c2); éstos accionan a su vez, el mecanismo de desconexión (f) de los interruptores de los lados de primario y secundario del transformador, poniendo a éste fuera de servicio.

La protección Buchholz entra en funcionamiento también cuando se producen sobrecargas considerables, corto circuito de cierta duración, cuando baja el nivel del aceite del transformador,

por debajo de un límite determinado, por exceso de aire en el interior de la cuba del transformador.

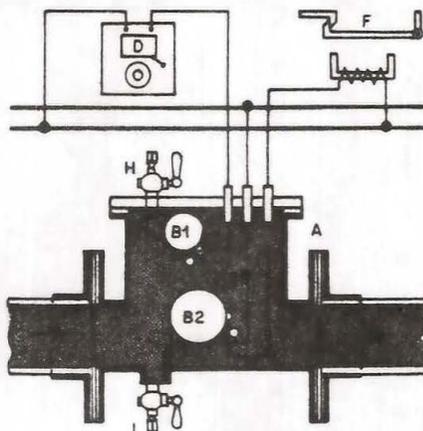


FIG. 5 - Funcionamiento del relé Buchholz en caso de servicio normal del transformador.

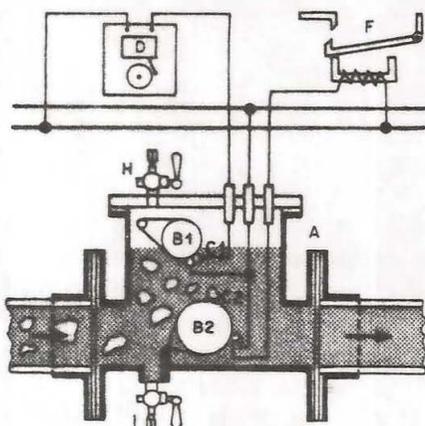


FIG. 6 - Funcionamiento del relé Buchholz en caso de aparición de un grave defecto en el transformador.

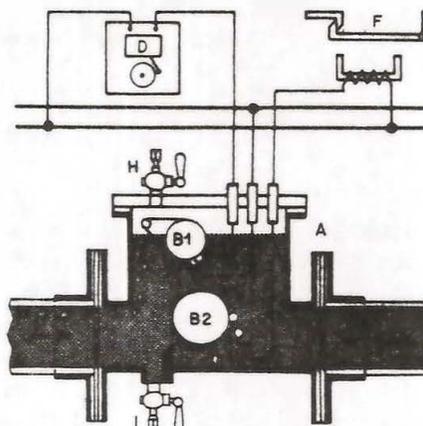


FIG. 7 - Funcionamiento del relé Buchholz en caso de aparición de pequeños defectos en el transformador.

Repetimos nuevamente, que una observación de la cantidad y aspectos de los gases desprendidos permite localizar la naturaleza y la gravedad del defecto. El color de estos gases da una buena indicación sobre el lugar donde se ha producido el defecto, por ejemplo:

- Gases blancos = Proceden de la destrucción de papel.
- Gases amarillos = Proceden de la deteriorización de piezas de madera
- Gases negros o grises = Proceden de la descomposición del aceite.

Mostraremos un cuadro que nos indica el funcionamiento sucesivo de los contactos de alarma y disparo para los principales defectos ocurridos.

- Corto circuito entre láminas del circuito magnético alarma
- Mal contacto en alguno de los circuitos eléctricos alarma
- Chispa de descarga de una pieza metálica aislada de la masa alarma
- Descenso del nivel de aceite por debajo del límite admisible. alarma disparo
- Aspiración accidental de aire durante el llenadodisparo
- Descarga de un aislantedisparo
- Corto circuito entre espiras, entre bobinas o entre tomas disparo
- Descarga a masa de una pieza bajo tensión disparo
- Sobrecarga accidental, muy fuerte alarma disparo.



Radiadores: Utilizados para la refrigeración del aceite.

D. Grupo Moto - Ventilador:

Los grupos moto-ventiladores están montados sobre los tubos de los radiadores para poder obtener la renovación del aire al contacto de estos tubos.

El operador de la Subestación debe observar que permanentemente, y sobre todo en las horas "picos", estén funcionando todos los grupos moto-ventiladores. Si observa alguna anomalía, debe proceder a revisar el estado y la posición de las protecciones (térmicos y/o fusibles de los motores).

E. Atravesadores o Pasatapas (Bujes de Conexión):

Los bujes o pasatapas son los dispositivos que permiten entrar con los conductores de alta tensión hasta los arrollamientos del conductor.

Los atravesadores o pasatapas para tensiones inferiores a unos 30 Kv están constituidos por una espiga conductora, maciza o tubular, revestida de porcelana.

A partir de 30 Kv, se utilizan pasatapas generalmente del tipo condensador. El tubo metálico central está recubierto de papel baquelizado, con interposición de armaduras condensadoras que distribuyen correctamente el campo electrostático.

Se pueden clasificar de acuerdo al sitio de colocación del transformador bien sea a la interperie o interiormente. En la interperie las condiciones ambientales hacen que varíen las características del aislamiento de los elementos.

El terminal del buje se construye por lo general en forma cónica y puede tener una superficie lisa o con una serie de saliente, parecida a un aislador, dependiendo del nivel de tensión.

En algunos casos, especialmente para muy altas tensiones, no es suficiente la porcelana en el buje para proporcionar un "aislamiento" adecuado, esto creó la necesidad de producir bujes con aceite aislante en su interior.

F. Chimenea de Explosión de Diafragma (Válvula de Seguridad) con Sistema de Señales – Fig. 8

Todos los transformadores son susceptibles de ser sometidos durante su funcionamiento a sobrepresiones internas provocadas por un calentamiento exagerado, a la formación de un arco en su interior. Este tipo de incidente cuando se presenta, no puede ser detectado y controlado sino después de algunos segundos por reveladores de protección.

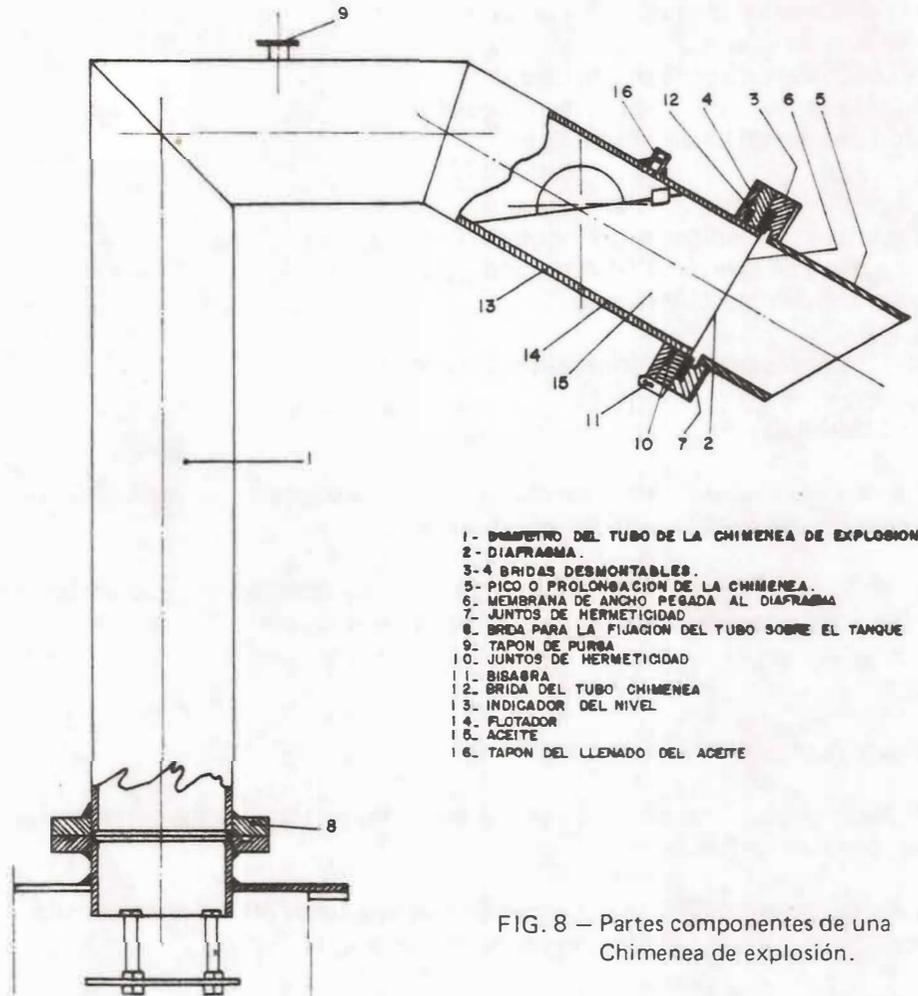


FIG. 8 – Partes componentes de una Chimenea de explosión.

Durante este intervalo, las sobrepresiones internas son capaces de deformar fuertemente el tanque; para evitar esas deformaciones se emplea la chimenea de explosión de diafragma que por ruptura de éste libera las sobrepresiones internas antes de que el tanque se deforme.

Las partes componentes de la chimenea de explosión se muestran en la figura 8

Funcionamiento:

En el momento de una sobrepresión interna brusca el diafragma de vidrio (2) se rompe, desgarran las membranas (6) de caucho y por la abertura así producida permite una evacuación de las sobrepresiones internas hacia el exterior anulando los riesgos para el tanque o los accesorios montados directamente sobre él. El tipo de incidente interno que provoca la ruptura del dia-

fragma, provoca igualmente la puesta fuera de servicio del transformador por disparo debido al relé Buchholz. Es indispensable después de la ruptura del diafragma y expulsión del líquido dieléctrico, investigar las causas de este incidente y remediarlas.

Sistema de Señales:

El sistema consiste esencialmente en un indicador de nivel (13), de un flotador (14) sumergido en una pequeña cantidad de aceite (15) mantenida en el extremo "pico" de la chimenea.

Cuando el diafragma de vidrio (2) se rompe, el flotador baja y cierra un contacto. Este contacto es conectado por medio de un alambre auxiliar a bornes del pupitre del control del transformador.

Además se utiliza otro tipo de válvula de seguridad que va montada en la parte superior de la cuba del transformador, compuesta por un diafragma de caucho que cumple la misma función de la chimenea de explosión.

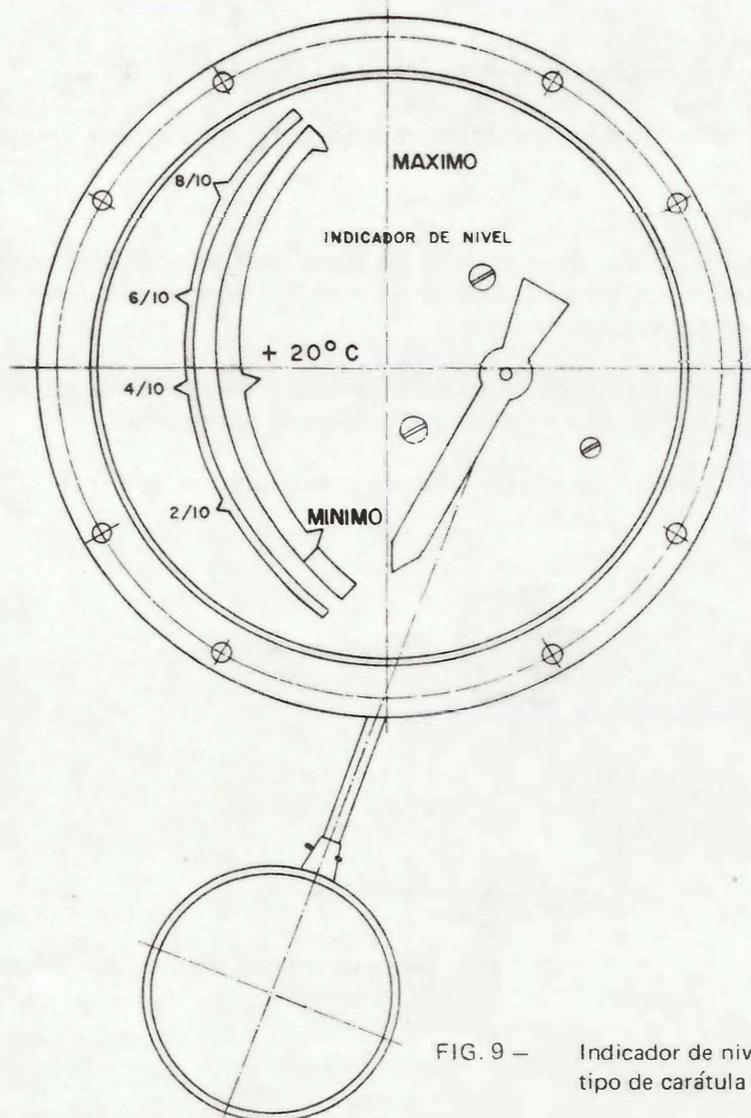


FIG. 9 — Indicador de nivel para líquido dieléctrico tipo de carátula y de transmisión magnética.

G. Indicador de Nivel para Líquido Dieléctrico Tipo Carátula y de Transmisión Mecánico

Este dispositivo está destinado para transformadores de potencia y está montado normalmente sobre una de las paredes laterales del conservador de aceite; está provisto de un disco graduado vertical, cuya aguja indica las fluctuaciones de nivel del aceite.

La carátula está marcada claramente con el nivel del llenado a la temperatura ambiente, a 20°C indicando el nivel mínimo y el nivel máximo.

La aguja indicadora es operada únicamente por el movimiento de un flotador que sigue el nivel del líquido, en el conservador.

H. Termóstatos:

Los termóstatos son dispositivos que se utilizan más que todo para controlar la temperatura del aire de ventilación y el caudal necesario de este aire, para una refrigeración contra las sobrecargas.

Por lo general el rango de regulación de estos aparatos es de 50°C a 100°C.

Los termóstatos permiten obtener una apertura o un cierre del circuito. (moto ventiladores).

I. Imagen Térmica:

Es un dispositivo que se aplica, sobre todo, a los transformadores de gran potencia y que permite seguir en todo instante, desde el exterior del transformador, la evolución de la temperatura del arrollamiento al que se ha conectado.

Este es un sistema de protección de los transformadores contra las elevaciones inadmisibles de temperatura, debidas a sobrecargas o fallas en el sistema de refrigeración.

Explicaremos, resumidamente, la imagen térmica producida por la firma ACEC. Figura 10.



FIGURA 10. - Imagen térmica ACEC.

Un termómetro de cuadrante, cuya escala de temperatura está comprendida entre $+ 20^{\circ}\text{C}$ y 160°C . Este aparato indicador está unido, por medio de un tubo capilar, a un bulbo introducido en un recipiente que contiene una bobina de calefacción; este recipiente está herméticamente cerrado. El aparato lleva además un pequeño auto-transformador para la alimentación de la bobina y un transformador de intensidad.

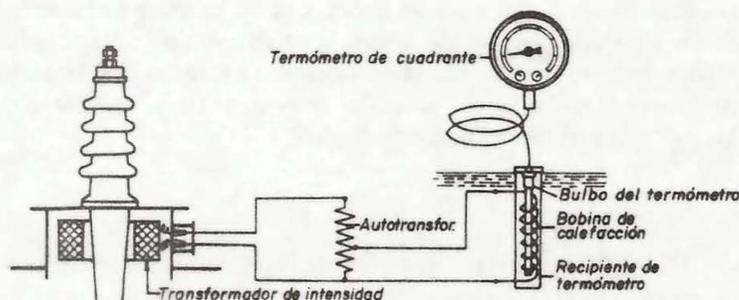


FIGURA 11. - Esquema de montaje de la imagen térmica ACEC.

La figura (11) muestra el funcionamiento de una imagen térmica; se supone que el recipiente que contiene el termómetro está sumergido en la parte superior del aceite del transformador.

Como puede observarse, la bobina de calefacción está conectada al secundario del transformador de intensidad, por medio de un auto-transformador; por lo tanto la temperatura de la bobina de calefacción es proporcional a la corriente que atraviesa el transformador, lo que se aprovecha para la regulación de dicha corriente.

El calentamiento del bulbo actúa sobre el termómetro de cuadrante, por la dilatación de una columna de mercurio contenida en el bulbo y el tubo capilar de conexión.

J. Relé tipo RS 1000 para Protección de Reguladores con Carga:

1. Objetivo:

El relé de protección RS 1000 tiene por objeto proteger el regulador (cambiador automático) bajo carga y el transformador en caso de falla en el regulador

2. Descripción:

El relé RS 1000 se presenta bajo la forma de una caja de aluminio fundido que tiene dos bridas que permiten fijarlo en la tubería que une la cabeza del regulador al tanque conservador de aceite.

Esta caja forma una cámara de aceite cerrando el dispositivo de protección propiamente dicho que constituye un elemento de construcción compacto.

La placa soporte del dispositivo de protección lleva los pivotes de la válvula checke de protección del revelador y los pivotes del sistema de brazo básicamente con resorte.

El relé va provisto de un visor en su cara anterior, ésta cara lleva una flecha indicadora que facilita la colocación del relé en su lugar.

3. Funcionamiento:

El relé RS 1000 no funciona sino en caso de circulación de líquido dieléctrico en dirección hacia recipiente del tanque conservador. En posición normal, la válvula cheque obtura parcialmente el orificio de entrada del relé dejando sólo un paso para permitir la evacuación, sin dificultad, de los gases producidos con los cambios de derivaciones.

Si por una falla en el interior del regulador se produjera un empuje del aceite relativamente fuerte, la placa báscula alrededor de su eje, empuja el sistema de palancas basculando más allá del punto muerto y éste se mueve hasta su posición extrema por la acción del resorte. Este funcionamiento provoca al mismo tiempo el movimiento de contacto de mercurio de la posición "en servicio" a la posición "desconectado".

4. Instalación:

El relé de protección RS 1000 se instala lo más cercano posible de la cabeza del regulador con carga. La flecha de la cubierta indica el sentido de montaje y su punta debe estar indicando siempre hacia el tanque conservador.

Dos válvulas, una adelante y otra atrás del relé; permiten en caso necesario aislarlo para desmontarlo sin pérdida de líquido dieléctrico. En funcionamiento normal éstas válvulas deberán estar abiertas. Se recomienda sellarse para evitar cualquier falsa maniobra.

5. Conexión del Relé:

Los contactos del relé pueden ser utilizados en circuitos de apertura o cierre. El funcionamiento del relé de protección RS 1000 debe siempre provocar el disparo de los interruptores de alta, media y baja tensión del transformador, es decir que el funcionamiento del relé debe asegurar siempre la desconexión del transformador.

K. Refrigeración de los Transformadores:

Las pérdidas de energía que se producen en un transformador, en servicio tanto en el circuito magnético como en los arrollamientos, se convierten en calor, que es necesario evacuar al medio exterior con objeto de que la elevación de la temperatura interna sea inferior al calentamiento admitido en los distintos elementos que constituyen el transformador.

Se utilizan como aislantes las sustancias orgánicas más usuales (papel, algodón, seda, etc.), el aumento de temperatura admisible con devanados impregnados, es de 60°C al aire, y de 65°C si van sumergidos en aceite. Para el aceite la temperatura máxima admisible es de 60°C, medida en la parte superior del transformador, que es donde está más caliente. Estas consideraciones están hechas para una temperatura ambiente máxima de 35°C con refrigeración natural, o para una temperatura máxima de 25°C de agua a la entrada del refrigerador, si se utiliza este líquido como agente refrigerante. De acuerdo con lo dicho, suponiendo una temperatura ambiente de 35°C, la temperatura máxima que pueden alcanzar los elementos del transformador es:

Temperatura máxima admisible = Temperatura nominal + Temperatura ambiente

Para los arrollamientos: $35 + 65 = 100^{\circ}\text{C}$

Para el aceite: $35 + 60 = 95^{\circ}\text{C}$

Estos límites de calentamiento tienen gran importancia, ya que el envejecimiento del transformador es función de la temperatura del punto más caliente del arrollamiento.

Está demostrado experimentalmente que un aumento de temperatura de 8°C sobre los límites expuestos anteriormente, representa una reducción de la vida del transformador en un cincuenta por ciento. En este sentido, también tiene gran influencia el régimen de trabajo del transformador, puesto que si está sometido a frecuentes cortos circuitos de cierta duración, los calentamientos pueden rebasar los valores máximos permitidos, lo que provoca una disminución de la vida del transformador.

Respetando las características de placas del transformador se puede tomar como ejemplo el criterio que tiene EMPRESAS PUBLICAS DE MEDELLIN para el límite de temperatura que dan alarma y disparo, considerando que el criterio es un poco conservador, teniendo los siguientes valores:

- 50°C arranque de los ventiladores de refrigeración
- 65°C alarma por temperatura del aceite
- 80°C disparo sobre temperatura del aceite
- 75°C alarma por sobretemperatura en devanados
- 90°C disparo por sobretemperatura en devanados

Podemos clasificar los sistemas de refrigeración según las normas alemanas (DIN) en los siguientes tipos:

- Auto-refrigeración, o sea, por radiación y convección natural.
- Ventilación independiente, es decir, circulación de aire por medio de ventiladores.
- Circulación forzada del aceite, por medio de bombas, que pueden estar asociadas con:
 - Auto-refrigeración
 - Ventilación independiente
 - Refrigeración por agua

Auto-refrigeración de Transformadores o Refrigeración natural:

Es el sistema más sencillo y consiste en emplear las paredes de la cuba del transformador para evacuar al medio ambiente el calor producido por las pérdidas de energía.

Para transformadores hasta 30 KVA es suficiente una cuba de paredes lisas. Figura 12

Para potencias mayores, y hasta unos 2 MVA, se aumenta la superficie de refrigeración recurriendo al empleo de cubas onduladas. Figura (13)

Para potencias mayores a 2 MVA, debe recurrirse al empleo de refrigeradores especiales; se prefiere el empleo de radiadores. Figura (14) Estos radiadores se acoplan a los lados de la cuba, con lo que puede aumentarse la superficie de radiación sin necesidad de sobredimensionar la cuba del transformador.

Para transformadores hasta 2 MVA, también es usual emplear una cuba con haz de tubos. Figura 15. Los tubos están soldados por los extremos a la parte inferior y superior de las paredes de la cuba, en una, dos, tres o cuatro hileras, y por el interior de dichos tubos circula el aceite por variación de la densidad provocada por el aumento de temperatura del transformador, evacuando el calor por la superficie de refrigeración que representa las paredes de los tubos (Fig. 15).

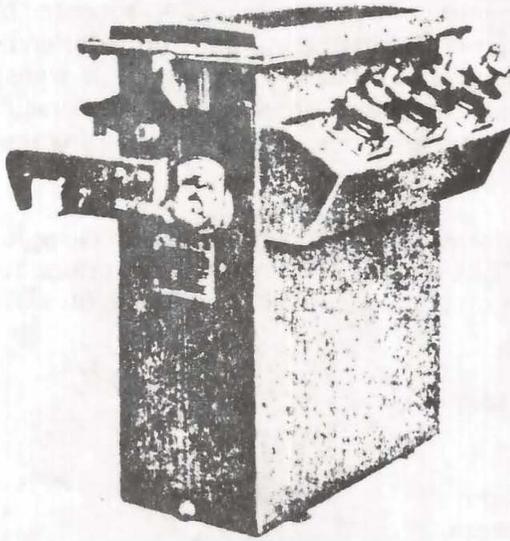


FIG. 12 – Transformador trifásico General Electric Company, de 30 KVA con autorrefrigeración por cuba de chapa lisa.

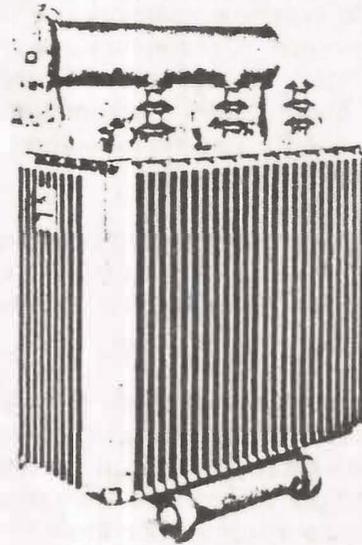


FIG. 13– Transformador trifásico ACEC, de mediana potencia, con autorrefrigeración por cuba de chapa ondulada.

Refrigeración de los Transformadores por Ventilación Independiente o Forzada

Para potencias superiores a unos 20 MVA, ya no es fácil montar en el contorno de la cuba, los suficientes radiadores para disipar de forma natural, el calor producido por las pérdidas de energía. En estos casos es de empleo general el soplado mediante los ventiladores, que envían el aire refrigerante a través de dichos radiadores. Figuras 16 - 17. De esta forma se consigue una disminución de las dimensiones exteriores del transformador con respecto a los auto-refrigeradores. (Figuras 16 - 17).

Se distinguen dos tipos de transformadores refrigerados con ventilación independientes:

- Transformadores con ventilación independiente propiamente dicha, los cuales se proyectan de forma que estén auto-refrigerados hasta el 60o/o de su potencia nominal, recurriéndose al empleo de ventiladores para cargas más elevadas.
- Transformadores con auto-refrigeración hasta plena potencia nominal, que puede incrementarse hasta el 25o/o mediante una ventilación independiente suplementaria.

Para este sistema de refrigeración los ventiladores se pueden instalar vertical (Fig. 16) y horizontalmente (Fig. 17). Actualmente se emplea con más frecuencia la posición horizontal ya que en el soplado horizontal el número de ventiladores es menor y además, la marcha de éstos ventiladores es mucho más silenciosa.

En cualquiera de las disposiciones que hemos reseñado, las maniobras de conexión y desconexión de los ventiladores puede realizarse a mano o automáticamente. La operación manual esta afectada por los descuidos o fallas de personal por lo que se acostumbra con mayor frecuencia la operación automática.

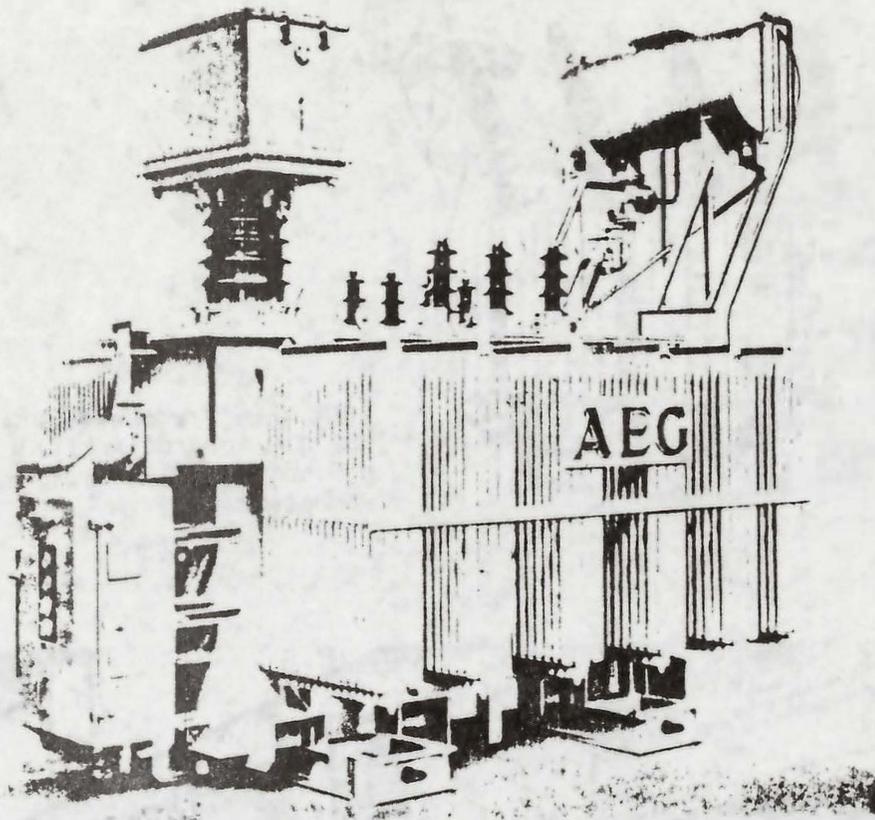


FIG. 14 — Transformador trifásico AEG, de 3.150 KVA, $25 \pm 16\%$ / 10.5 KV con autorrefrigeración por cuba de chapa lisa y radiadores adosados por soldadura.

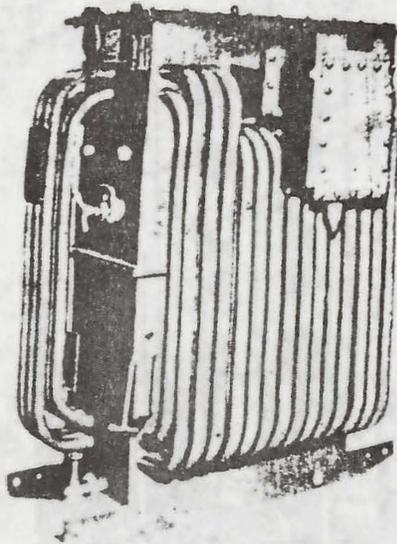


FIG. 15 — Transformador trifásico General Electric Company, de 500 KVA, con autorrefrigeración por haz de tubos.

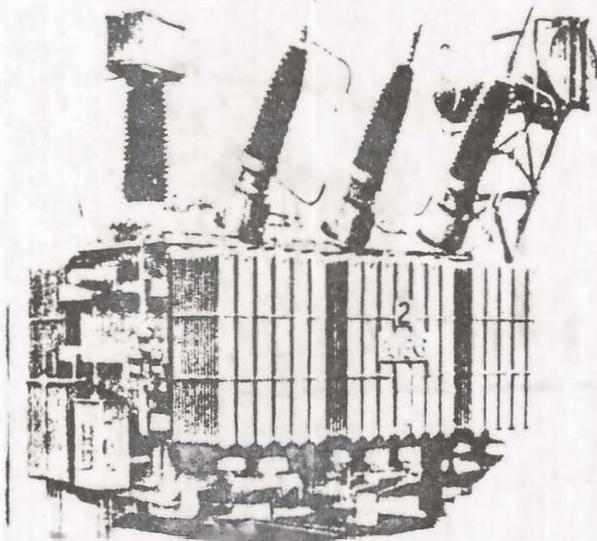


FIG. 16 — Transformador trifásico AEG, de 30 MVA, $160 \pm 7\%$ / 11 KV con refrigeración por ventilación independiente, soplado vertical.

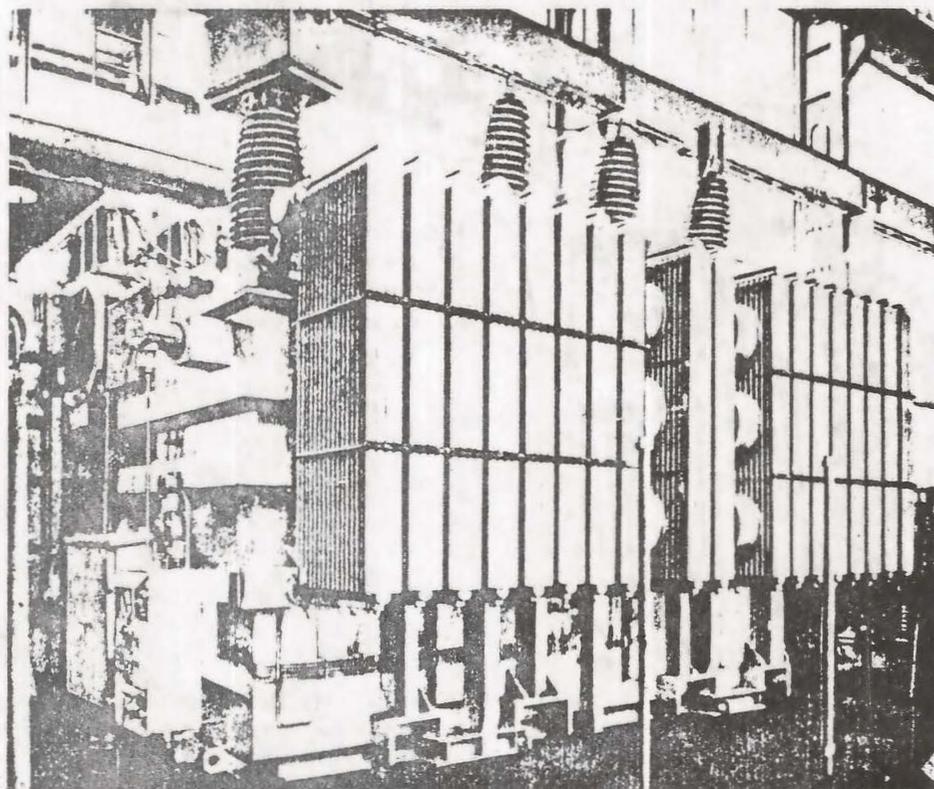


FIG. 17 — Transformador trifásico AEG, de 60 MVA, $110 \pm 14,85\%$ / 10,8 KV con refrigeración por ventilación independiente, soplado horizontal.

El mando automático de los ventiladores puede realizarse en función de la temperatura, es decir, controlando la temperatura del (termostato) aceite de la cuba mediante un termómetro de contactos en combinación con los circuitos de mando de los contactores de los motores de los ventiladores, o, en otro caso, en función de la corriente de carga, para lo que se sustituye el termómetro por un relé de sobre-intensidad alimentado por el secundario de un transformador de intensidad y en combinación con los circuitos de mando de los contactores de los motores que accionan los ventiladores.

Refrigeración de los Transformadores por Circulación Forzada de Aceite

Se utiliza principalmente en transformadores de gran potencia donde las pérdidas de energía disipadas en calor tienen un valor absoluto bastante considerable. En los transformadores refrigerados por circulación forzada de aceite, se aspira el aceite caliente por medio de una bomba situada en la parte superior de la cuba, y luego es impulsado hacia los refrigeradores, donde se refrigera por convección natural del aire, por la acción de aire soplado o por circulación de agua. El aceite refrigerado se impulsa después a la parte inferior del transformador para iniciar nuevamente el ciclo de recirculación. (Fig. 18).

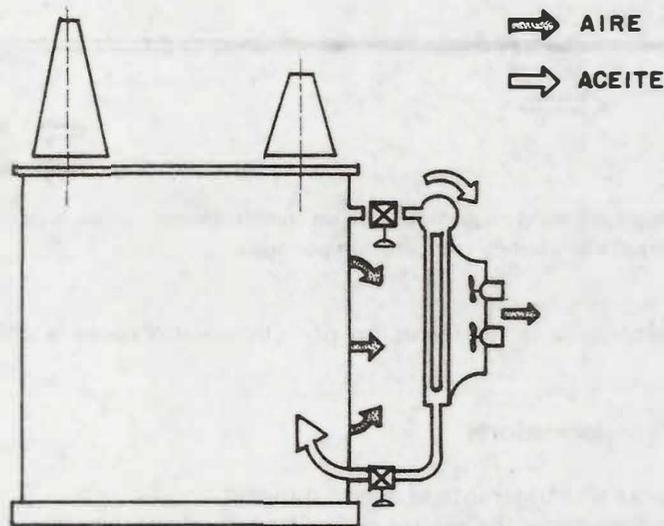


FIG. 18 — Representación esquemática de un transformador de circulación forzada de aceite y refrigeración por ventilación independiente.

En este caso, los equipos refrigerados están constituidos por haces de tubos sobre los que soplan los ventiladores tal como se muestra en la figura 18. Por el interior de los tubos circula el aceite que se refrigera por la acción de los ventiladores, la capacidad de refrigeración es de 75 a 100 KVA del transformador por ventilador; por lo tanto, el número de elementos a instalar es función de las pérdidas y de la potencia del transformador.

La circulación forzada de aceite con refrigeración por agua es muy empleada en instalaciones que se disponga de buena cantidad de agua, como suele ser en casi todas las centrales. Fig. 19

La refrigeración de los transformadores por circulación forzada de aceite se puede presentar en transformadores con refrigeración natural o en transformadores con refrigeración independiente, presentando en este último caso mayor rendimiento de aceite.

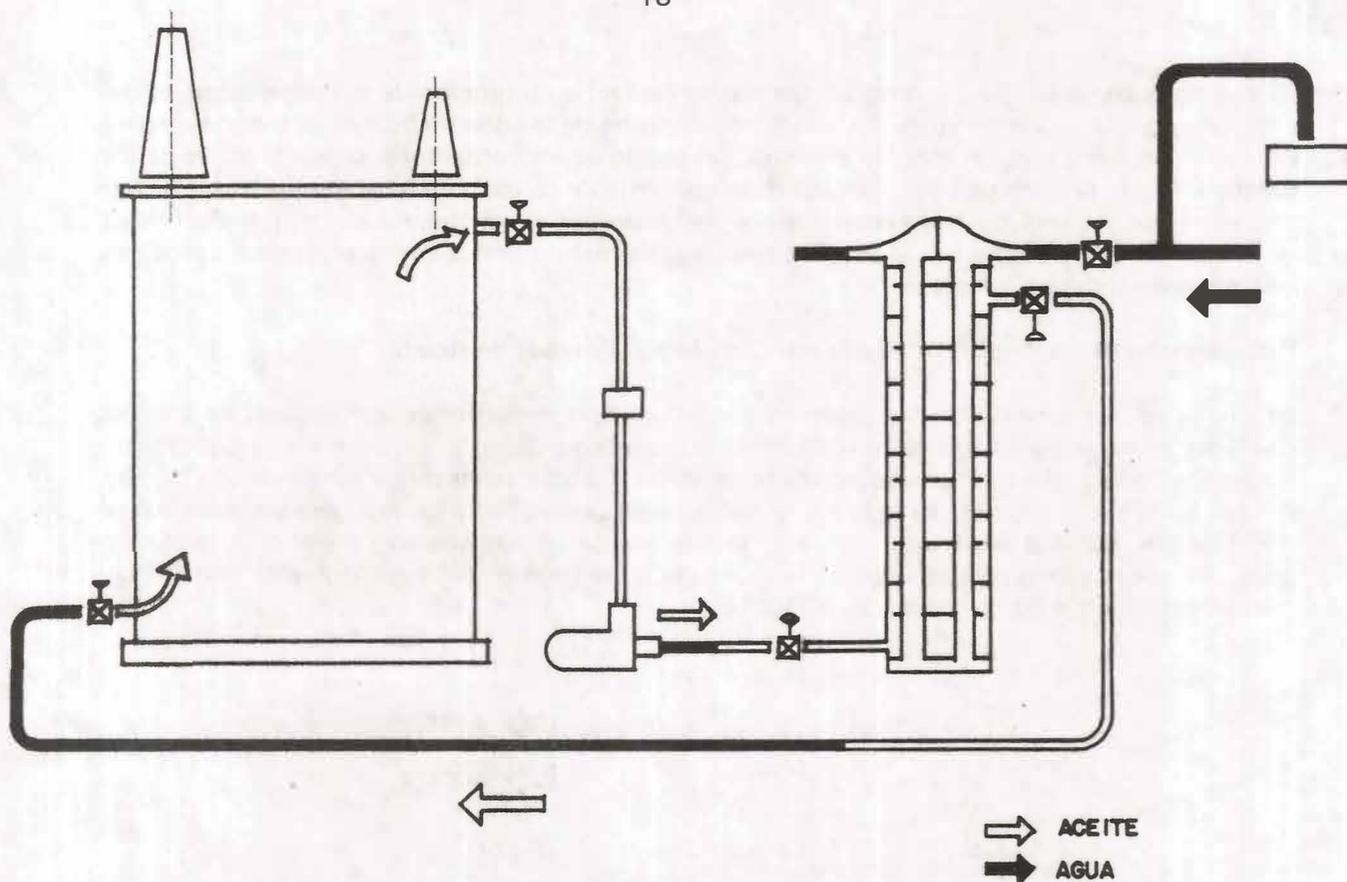


FIG. 19— Representación esquemática de un transformador con circulación forzada de aceite y refrigeración por agua.

Por tal motivo es más empleada la refrigeración por circulación forzada con ventilación independiente.

L. Aceites Aislantes para Transformadores:

Se usa como medio aislante y refrigerante el aceite mineral.

Las características que deben tener los aceites de los transformadores son las siguientes :

- Baja viscosidad para tener una buena transferencia de calor.
- Alta rigidez dieléctrica.
- Ausencia de ácidos inorgánicos, alcalis y azufre corrosivo, para prevenir un deterioro en los aislamientos y conductores.
- Resistencia a la oxidación y a la formación de todos.
- Resistencia a emulsiones con carga.
- Bajo punto de congelación.

El aceite nuevo, previsto para transformadores convencionales de distribución y potencia y para transformadores auto-protegidos, debe cumplir con ciertas exigencias como:

- Grado de pureza: Claro, libre de sólidos dispersos.
- Densidad a 20°C, máximo 0.895 g/ml.
- Viscosidad a 100°F, máximo 60
- Rigidez dieléctrica: aproximadamente 200 KV/cm
- Valor de neutralización; máximo 0.3 mg KOH/g aceite.

El aceite debe ser químicamente estable para evitar efectos corona en transformadores de alto voltaje o aparatos similares.

Antes de ser introducido al tanque, el aceite se somete a un proceso de filtrado y secado para asegurar su correcta operación. Pruebas diarias de rigidez dieléctrica garantizan el valor para operación de un transformador nuevo (200KV/cm). El llenado se hace en vacío para evitar la contaminación y posibles burbujas en el interior que serían perjudiciales para el buen funcionamiento del transformador.

La utilización de aceites en equipos eléctricos no es solamente por su rigidez dieléctrica (como aislante), sino que en la mayoría de los casos el aceite tiene la función de disipar el calor quemado por las bobinas, en el caso de los transformadores por convención material o forzada con bomba de aceite a través de intercambiadores de calor. La viscosidad, la conductividad térmica del aceite, son factores importantes en su eficacia refrigerante.

Los aceites aislantes deben mantener sus características en condiciones de servicio prolongado, permitiendo su empleo simultáneo con otros aislantes sólidos, utilizados en la construcción de transformadores; permitiendo así un medio no conductor entre los embobinados o entre éstos y partes adyacentes.

En los interruptores es utilizado como aislante y especialmente como extensión del arco voltáico formado entre los conductores.

Las características que deben reunir los aceites aislantes, suelen ser casi iguales en todo el mundo. Las pequeñas variaciones en las especificaciones se deben a que no todos los lugares disponen de aceites básicos iguales y por lo tanto existen diferentes normas en su fabricación como las normas INCONTEC, la COVENIN, y otras.

En términos generales miremos algunas de las especificaciones de los aceites aislantes, los cuales se clasifican en físicos, químicos y eléctricos.

Físicas:

Entre las características físicas están las siguientes: Punto de anilina, calor, punto de inflamación, punto de fluidez, densidad, tensión interfacial, viscosidad cinemática.

Químicas:

Entre las especificaciones químicas están: el azufre corrosivo combinado, acidez estabilidad a la oxidación acelerada, contenido de agua, aditivos.

Electricas:

Son la rigidez dieléctrica y factor de potencia.

Características de los Aceites Aislantes:

1. Físicas:

a. Punto de Anilina

Esta prueba no es muy esencial, por lo cual no es muy mencionada. Se define como temperatura mínima a la cual un volumen dado de anilina es disuelta por un volumen igual de aceite. Esto nos muestra el poder solvente que tiene el aceite debido a la cantidad de hidrocarburos aromáticos que contiene, a mayor punto de anilina menor es la cantidad de aromáticos contenidos en él, o sea a menor cantidad de aromáticos habrá que elevar la temperatura para que la anilina se disuelva en el aceite.

Por ejemplo un punto de anilina de 84°C, significa una proporción de 9.5 de aromáticos.

Los aromáticos por ser más solventes ayudan a disolver los lodos que se forman en el proceso de oxidación del aceite, se da cierta resistencia a la oxidación y disminuye su viscosidad, mejorando así su capacidad de disipar calor. Los aromáticos presentan el inconveniente de aumentar su inflamabilidad evitando así su uso en altas temperaturas.

En resumen: El punto de anilina expresado en grados centígrados es la propiedad que tiene el aceite, debido a los hidrocarburos aromáticos que contiene, de disolver ciertos lodos producidos por la oxidación.

b. Color:

Es otra característica poco importante. La coloración es un aceite nuevo, es indicación del grado de refinación del mismo y una medida aproximada de su deterioro por su uso. El color está estandarizado en una escala de colores que va de 0.5 a 8. Un aumento de color indica contaminación por lo que se desea un color claro.

Un color oscuro puede ser sospecha de que algo está funcionando mal.

c. Punto de Inflamación:

Es la temperatura a la cual un aceite debe ser calentado para que se produzca una mezcla gaseosa inflamable con el aire. Esto depende de la clase de aceite y del método de refinación.

Un punto de inflamación bajo, presenta el riesgo de incendios o explosiones debido a la presencia de fracciones livianas combustibles o volátiles.

Un punto de inflamación aceptado es de 140°C a 145°C.

d. Tensión Interfacial:

Indica la presencia de moléculas polares capaces de facilitar la solución o emulsión de agua en el aceite. También refleja la calidad y grado de refina del aceite nuevo así como la contaminación por oxidación de los aceites usados. Bajos valores de tensión interfacial indican la presencia de compuestos solares indeseables como también el comienzo de precipitación de lodos.

e. Punto de Fluidéz:

Temperatura a la cual el aceite se solidifica y deja de fluir.

Un punto de fluidez alto indica que en la composición del aceite hay alta proporción de hidrocarburos parafínicos que son los más adecuados para lubricación (aceites gruesos).

Pero los menos adecuados como aislantes son éstos hidrocarburos parafinicos porque tienen alto indice de viscosidad.

En nuestro caso esta característica no interesa ya que no se presentan temperaturas bajas que lo hagan solidificar, pero si interesa porque indirectamente indica la composición del aceite.

f. Viscosidad:

Es una propiedad de los líquidos y es la resistencia que oponen a fluir en forma continua y uniforme. Esta propiedad es muy importante en cuanto al uso del aceite como disipador del calor o sea como refrigerante, siendo perjudicial cuando aumenta su viscosidad.

2. Químicas.

a. Azufre Corrosivo

Normalmente el petróleo natural contiene azufre que es retirado en el proceso de refinación. En el aceite aislante pueden quedar algunas porciones de azufre que causan daño al cobre, ya que el azufre es corrosivo respecto al cobre y la plata; por lo tanto se debe especificar que el aceite no contenga azufre.

b. Acidez (o número de neutralización)

La presencia de acidos en el aceite aislante supone una mayor polarización del mismo y la posibilidad de que sea corrosivo.

c. Oxidación

La oxidación es la principal falla en los aceites aislantes, ya que se acelera a medida que aumenta la temperatura, por lo tanto un aceite aislante nunca deberá operar por arriba de los 80°C, o su duración en servicio será muy limitada.

d. Contenido de Agua:

Los aceites minerales son hidrocarburos o sea que absorben y disuelven agua. El agua en el aceite aislante es otro inconveniente serio, haciéndolo insensible ya que cambia radicalmente la tensión de ruptura.

e. Aditivos.

Son normalmente polímeros acrílicos que contienen el aceite, los cuales con pequeñas proporciones bajan el punto de fluidez, y en los aceites aislantes por ser aditivos polares desmejoran el factor de potencia y la tensión interfacial.

3. Eléctricas

a. Rigidez Dieléctrica

Es la medida del esfuerzo eléctrico al cual un aceite aislante puede ser sometido sin fallas. Es un indicador de la presencia de contaminantes como humedad y naturales conductores tales como filtros.

b. Factor de Potencia

Es la relación entre la potencia en voltios disipada por el aceite y el producto de la tensión y la corriente de voltios-amperios, cuando es probado (ensayado) bajo un campo sinusoidal (A-C) de condiciones dadas.

M. Placa de Características

La placa de características de un transformador es uno de los accesorios más importantes debido a la información que suministran.

Dentro de los datos más suministrados por la placa podemos resaltar:

- Firma o casa fabricante ("ASEA", "BROWN BOVERI", etc.)
- Frecuencia de la red, por lo general está dada en hertz, y en nuestro medio es de 60 hz.
- Numero de fases, da la información si el transformador es monofásico o trifásico.
- Tipo o tipos de refrigeración (natural, por ventilación independiente, por circulación de aceite, etc).
- Potencia nominal en KVA. Es de anotar que esta potencia varía con el tipo de refrigeración
- Tensión primaria en KV. Si el transformador tiene cambiador de tomas, la tensión primaria sera: Tensión primaria nominal \pm (rango de variación) x No. de variaciones
También se la relación entre el número de espiras.
- Tensión secundaria en voltios, en potencia nominal, y con indicación del factor de potencia
- Corriente secundaria en amperios o potencia nominal.
- Corriente primaria en amperios o potencia nominal.
- Aumento de la temperatura permitido tanto en el aceite como en los devanados.
- Peso en Kilogramos, (núcleo, arrollamiento, tanque y accesorios).
- Para los transformadores trifásicos se indicará la clase de acoplamiento (grupo de conexión) de los bobinados.
Es decir se dará la forma de enlazar entre sí, los arrollamientos de las distintas fases. Para esto hay una nomenclatura convencional. Ej: Ddo., Yyo., Dy5, etc.
- Cantidad de aceite tanto en la cuba del transformador como en los radiadores.
- Número y año de fabricación.
- Corriente primaria o potencial nominal.
- Nivel de aislamiento con respecto a tierra.
- Relación de transformación.

- Impedancia en tanto por ciento entre cada par de devanados (si hay terciario)
- Conexiones del cambiador y tensiones resultantes para cada conexión.
- Diagrama de conexiones de los tomas en el cambiador de derivaciones.
- Relación de los transformadores de corriente para la medida de la temperatura en los arrollamientos.

II. OTROS TRANSFORMADORES

A. Transformadores Secos:

Son aquellos que envían directamente a la atmósfera el calor producido por las pérdidas de energía eléctrica.

Debido al escaso efecto refrigerante del aire, la superficie de evacuación del calor ha de ser grande y por lo tanto pequeña la densidad de corriente. Esto hace que estos transformadores sean más costosos.

Como protección contra la humedad, todos los arrollamientos están recubiertos de barniz protector.

Estos transformadores se construyen para potencias hasta 2 MVA y tensiones en el lado de alta hasta 20 KV.

B. Transformadores con Nitrógeno:

Es un tipo de transformador de tanque sellado, en el cual se deja en la parte superior un espacio vacío, pero conectado a un depósito de nitrógeno inerte a una presión constante, esto hace que las variaciones del volumen en la cuba del transformador sean controladas por el nitrógeno

R E S U M E N

Las pérdidas se manifiestan en calor y son proporcionales a la corriente de carga, haciendo que el transformador disminuya su rendimiento.

Para mejorar este rendimiento se debe evacuar el calor desarrollado en los elementos del transformador a causa de la corriente de carga. Mientras mejor sea el sistema de refrigeración del transformador mejor es su rendimiento.. En algunos casos (refrigeración por ventilación, independiente) es aconsejable sacrificar el aspecto económico (adicionar ventiladores, etc.) en el montaje con miras a mejorar su rendimiento y por ende aumentando la potencia suministrada por el transformador.

También es importante dar a conocer unas normas generales que debe conocer el operador.

- El operador debe revisar (observar) periódicamente el nivel del aceite, la temperatura del aceite y los devanados, posición del cambiador de derivaciones, estado y funcionamiento de los motores de los ventiladores y/o protecciones de estos motores, etc.
- Revisar que no existan fugas de aceite.
- Revisar que no se escuchen ruidos anormales en el transformador.
- Informar y/o consignar cuando aparezcan las alarmas pertinentes al transformador y/o regulador de tensiones.
- Observar el estado de los bujes.

, B I B L I O G R A F I A

- Estaciones de Transformación, Distribución, Protección de Sistemas Eléctricos. Enciclopedia CE AC de Electricidad. José Ramírez, 1a. ed.; Barcelona, octubre 1972; 1200 pgs.
- Manual Práctico de Electricidad para Ingenieros. Tomos (I, II, III) Dinak G. Fink, H. Wayne Beaty John M. Cemoll; 1a. Ed. Editorial Reverté S.A. Barcelona.
- Estaciones Transformadores y Distribución. Gaudencio Zappetti Judez, 4a. ed.; Editorial Gustavo Gili. Barcelona.
- Transformadores de Potencia y Distribución. Siemens 82/83; 30 páginas.
- Transformadores de gran Potencia. Ateliers de Construcción Oerlikon Zurich 50, 15 páginas.
- Transformadores de Poder. Mitsubishi Electric Corporation; 19 páginas.

