

Este documento está sometido a posibles cambios.
Póngase en contacto con ARTECHE para la
confirmación de las características y disponibilidades
aquí descritas.

Jaime Berrostequieta
© ARTECHE



Moving together

ÍNDICE

1. Introducción | 4
2. Descripción técnica | 5
 - 2.1. Aislamiento externo | 5
 - 2.2. Aislamiento interno en papel-aceite | 6
 - 2.3. Aislamiento interno en SF6 | 10
3. Control de calidad y ensayos | 11
4. Inspección y control en campo | 13
 - 4.1. En la puesta en servicio | 13
 - 4.2. Control en campo | 13
5. Conclusiones | 14

RESUMEN

Se describen en primer lugar la tecnología utilizada actualmente en la construcción del aislamiento de los transformadores de medida de alta tensión. Los nuevos materiales se comentan como alternativa de diseño y posible tendencia futura.

Finalmente se describen diversos métodos para asegurar la calidad en la fabricación y el estado de los transformadores en servicio.

1. INTRODUCCIÓN

Aunque el objetivo principal de un transformador de medida (TM) es transformar con precisión las magnitudes de tensión o intensidad a valores normalizados, tanto en régimen transitorio como establecido, si está conectado a una línea de alta tensión su función de aislamiento eléctrico adquiere gran importancia.

Tanto por su utilización como por el aislamiento empleado cabe diferenciar claramente la media tensión (3,6 a 72,5 kV) de la alta tensión (72,5 a 800 kV), siendo esta última el tema principal de este artículo.

Existen tres tipos de TM:

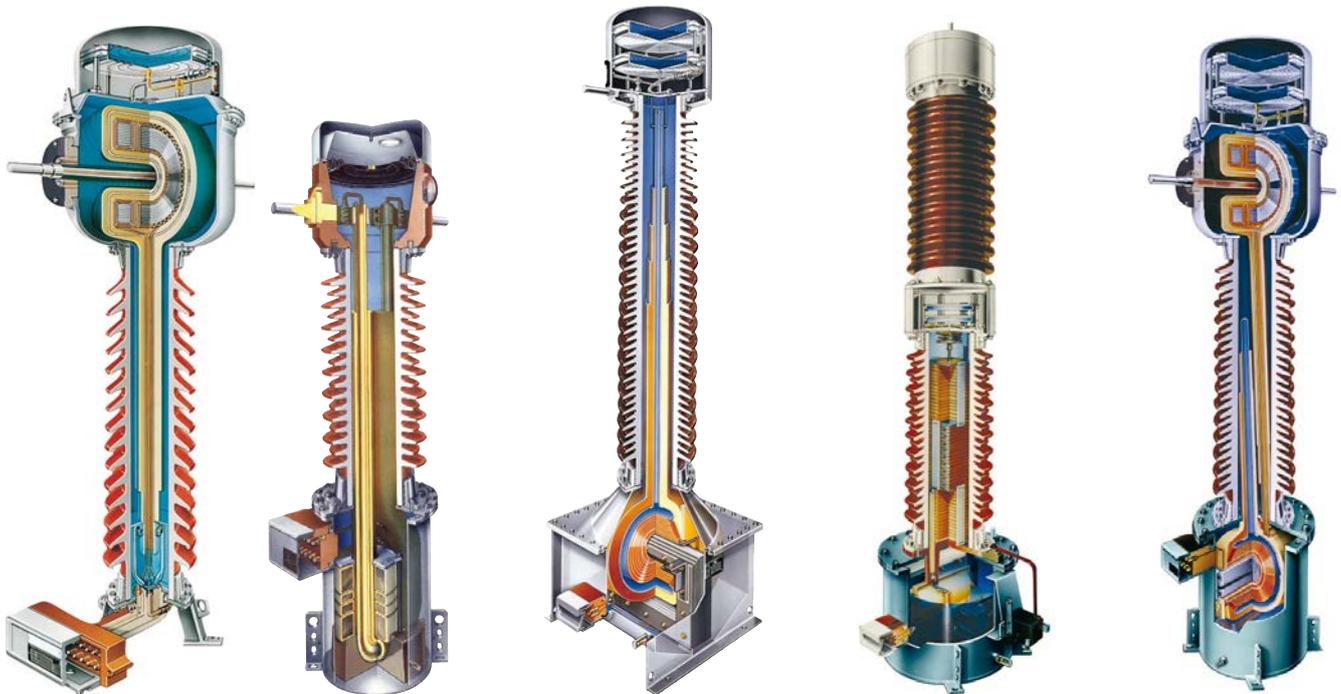
1. Transformadores de intensidad (TI) destinados a transformar la intensidad de la línea en la que están conectados en serie (fig. 1).

2. Transformadores de tensión, tanto inductivos (TTM) como capacitivos (TTC), destinados a transformar la tensión entre la línea y tierra (fig. 2 y 3).

3. Transformadores Combinados (TMC) formados por un TI y un TTM (fig. 4). El aislamiento de los TI, TTM y TTC difiere substancialmente entre sí, por lo que se analizará separadamente.

Aunque el TM es una máquina estática que, en principio no necesita mantenimiento durante su larga vida, p.e. 25 años, resulta difícil conocer su estado y si falla, ocurre de forma inesperada y a veces violenta.

Por ello recientemente se está trabajando intensamente en los posibles métodos para conocer la situación de su aislamiento principal.



› Fig. 1. Transformador de intensidad

› Fig. 2. Transformador de tensión inductivo

› Fig. 3. Transformador de tensión capacitivo

› Fig. 4. Transformador combinado

2. DESCRIPCIÓN TÉCNICA

La aparición de resinas sintéticas de tipo epoxi permitió utilizar el mismo aislante para el aislamiento interno y externo en los TM de media tensión y servicio interior (figs. 5).

Posteriormente con resinas de tipo cicloalifático o materiales como el butilo con mejores características ante los arcos eléctricos superficiales y rayos ultravioleta, se ha podido utilizar la misma técnica para el diseño de TM de servicio exterior (fig. 6).

No obstante en estos casos la línea de fuga debe ser superior a la utilizada en los aisladores de porcelana debido a su carácter orgánico y consiguiente menor resistencia a los citados arcos eléctricos.

Es posible combinar las ventajas de fabricación del aislamiento sólido con una elevada resistencia externa, mediante un diseño como el de la figura 7, donde se combinan la resina epoxi con la porcelana en un TM de media tensión.

En este caso debe garantizarse la estanqueidad de la cámara entre ambos elementos para evitar que se humedezca y como consecuencia de ello se produzca un arco entre alta y baja tensión a través de dicha cámara.

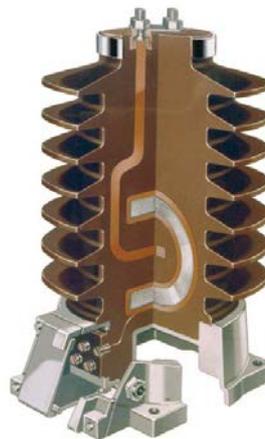
A pesar de diversas experiencias en la utilización de estos materiales en alta tensión, se ha comprobado que no son aconsejables para tensiones superiores a 72 kV por lo que se sigue empleando el papel-aceite como aislamiento interno, aunque es un procedimiento más laborioso, y porcelana para el exterior.



› Fig. 5a. Transformador de intensidad; servicio interior



› Fig. 5b. Transformador de tensión; servicio interior



› Fig. 6. Transformador de intensidad; servicio exterior; tipo seco



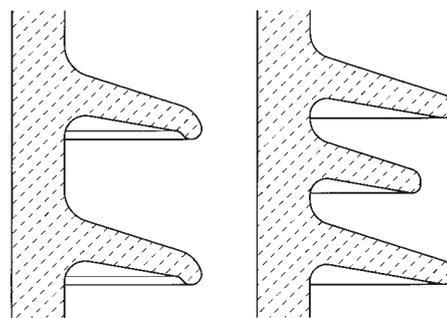
› Fig. 7. Transformador de intensidad; servicio exterior; resina + porcelana

2.1. AISLAMIENTO EXTERNO

La porcelana es el material mas habitualmente utilizado como aislamiento externo en AT. En menor medida se usan aisladores polimericos, con cuerpo de fibra de vidrio y aletas de silicona.

Las aletas suelen ser todas iguales o alternadas (fig. 8) con líneas de fuga de 20 mm/kV para contaminación media y 31 mm/kV para muy fuerte. La norma IEC 60815 desarrolla en profundidad este tema.

En los nuevos diseños se ha reducido el diámetro de la porcelana, consiguiendo aumentar la tensión de contorno especialmente en el caso de fuerte polución. Al reducir el volumen de aceite se consigue también reducir los efectos de una posible explosión y posterior incendio.



› Fig. 8. Aletas de porcelana

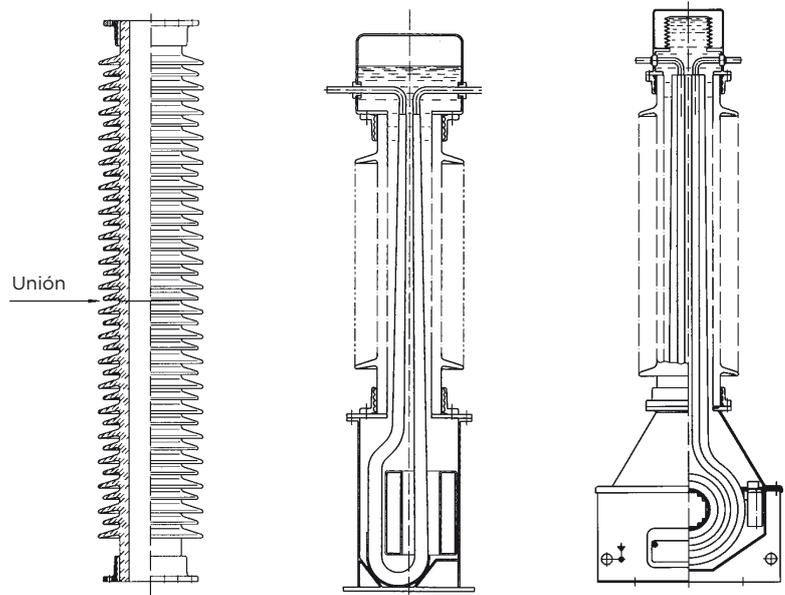
2. DESCRIPCIÓN TÉCNICA

Mediante las bridas cementadas, que permiten coeficientes de trabajo en la porcelana muy superiores al caso de mordazas, se obtienen excelentes características mecánicas a pesar de su reducido diámetro.

Si la porcelana es de gran altura, puede ser necesario fabricar piezas por separado y unir las finalmente, mediante el llamado pegado cerámico (se cuecen de nuevo) o mediante pegamento de epoxi. (fig. 9).

Cuando los TM se instalan en zonas muy altas, p.e. superior a 1.000 m sobre el nivel del mar, es necesario tener en cuenta que la menor densidad del aire disminuye su rigidez, y como consecuencia hay que aumentar la altura de la porcelana para que soporte las mismas tensiones. Como el aislamiento interno no se ve afectado por este fenómeno, no es preciso sobredimensionarlo, pero en el caso de querer verificar el aislamiento externo en un laboratorio situado a una altura normal hay que construir un prototipo reforzado para poder aplicar tensiones superiores correspondientes.

Como esta solución es cara, otra alternativa es ensayar la tensión de contorneo del aislador, ya que su comportamiento en este aspecto no se ve afectado sensiblemente al colocar los elementos internos.



› Fig. 9. Porcelana pegada

› Fig. 10. T. I. tipo horquilla

› Fig. 11. T. I. tipo aguja

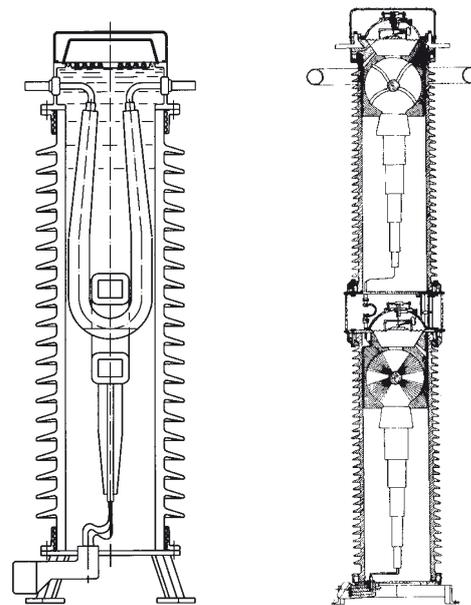
2.2 AISLAMIENTO INTERNO EN PAPEL-ACEITE

A. ELEMENTO AISLANTE PRINCIPAL

Está formado por el conjunto aislante papel-aceite situado entre los electrodos o pantallas de alta y baja tensión.

En los TI este aislamiento puede situarse sobre el primario, sobre el secundario o parcialmente en cada uno de ellos. En el primer caso, a su vez, puede tratarse del tipo horquilla (fig. 10) donde el primario tiene aspecto de cable aislado, y tipo aguja (fig. 11). Es usual denominar a estos modelos, tipo "cuba a tierra" a diferencia de los que tienen el aislamiento sobre el secundario (fig. 1) llamados tipo "cuba activa". Los modelos con aislamiento repartido entre el primario y secundario son poco utilizados (fig. 12).

Los transformadores tipo cascada en TI (fig. 13) constituyen un caso especial. En base a uno de los tipos citados se colocan en serie dos TI, soportando cada uno la mitad de la tensión.



› Fig. 12. T. I. tipo intermedio

› Fig. 13. T. I. tipo cascada

2. DESCRIPCIÓN TÉCNICA

Este reparto de tensiones es función de las capacidades de los transformadores (500 a 1000 pF) y puede variar debido a las capacidades parásitas o corrientes de fuga en caso de fuerte polución.

El material utilizado es papel tipo cable, Kraft crepado y/o condensador, colocado de forma solapada para evitar la formación de caminos fáciles para el arco eléctrico. También hay que evitar la formación de huecos ya que, tras la impregnación, en ellos solamente hay aceite, con una constante dieléctrica mitad a la del papel-aceite lo que produce un fuerte incremento del gradiente en una zona ya eléctricamente débil.

Los TT pueden estar formados por una sola bobina (fig.2), o por varias colocadas sobre un solo núcleo (fig. 14) o sobre varios (fig. 15). En este caso, el reparto de tensiones se garantiza de forma inductiva, mediante arrollamiento auxiliares dentro de cada núcleo y entre núcleos.

En la figura 16 se aprecia la construcción de una bobina de un TT donde láminas de papel tipo condensador 0,04 mm se intercalan entre las espiras de fino hilo de cobre de tal manera que el reparto de tensiones capacitivo e inductivo se mantiene a diferentes frecuencias.

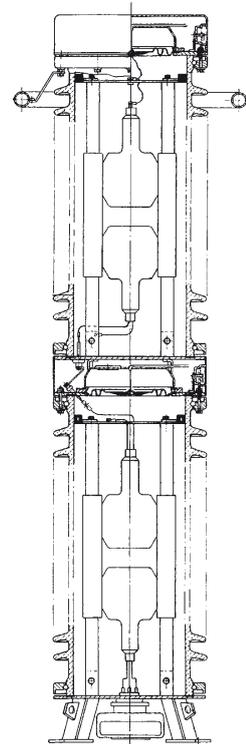
Además, como la distancia entre capas de hilo es reducida, los gradientes de trabajo del aislante son muy superiores a los utilizados en los TI, llegando incluso a la mitad los utilizados en los TTC.

En los TTC el aislamiento está formado por unidades condensadoras planas (galletas) conectadas en serie colocadas dentro de la porcelana. Cada galleta se fabrica arrollando sobre un mandril cilíndrico dos láminas de aluminio y diversas láminas de papel que posteriormente se impregnan con aceite mineral (fig. 17). También se utiliza polipropileno, con una lámina de papel para mejorar la impregnación del conjunto. Con el polipropileno el valor de la $\text{tg } \delta$ del condensador se reduce notablemente.

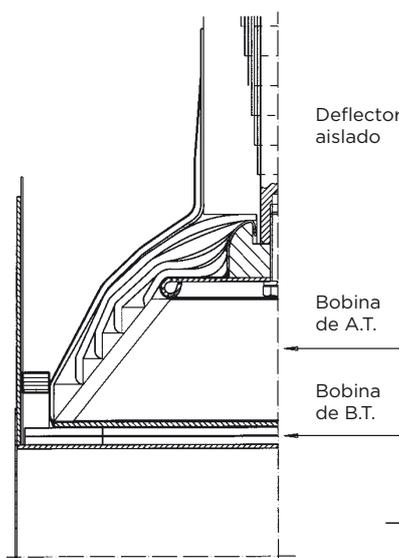
No obstante, teniendo en cuenta que el envejecimiento de los TM se produce por efecto de las descargas parciales y no por efecto térmico, el valor de $\text{tg } \delta$ tiene un significado relativo, y solamente comparable cuando se utilizan los mismos materiales.



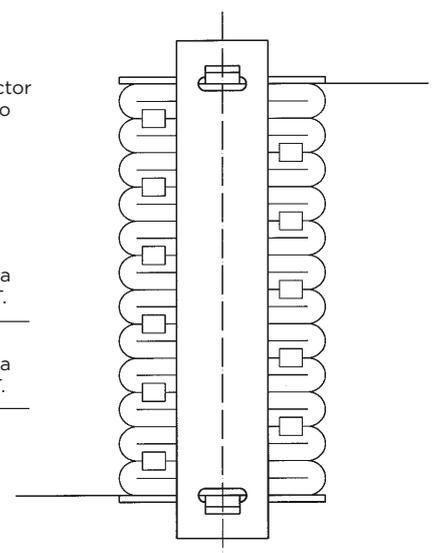
➤ Fig. 14. T. T. cascada



➤ Fig. 15. T. T. cascada



➤ Fig. 16. Bobina de T. T.



➤ Fig. 17. Paquete condensador

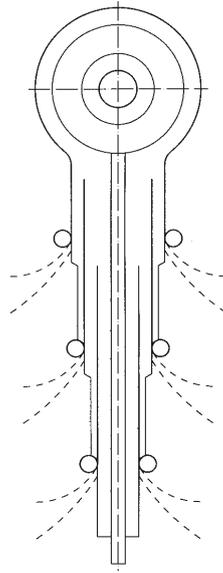
2. DESCRIPCIÓN TÉCNICA

B. ZONA TRANSICIÓN

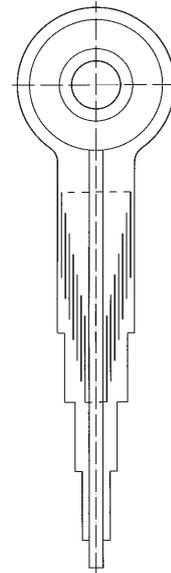
Es la zona de separación entre los electrodos de alta y baja tensión, a lo largo de la superficie del aislante principal en contacto con el aceite. El diseño correcto de esta zona, permite elevar la tensión de contorno tanto en la zona interna del TM como en el aire. Normalmente se utilizan electrodos deflectores (fig. 18) o pantallas condensadoras (fig. 19).

En el primer caso, se utilizan menos pantallas, pero deben acabar de forma redondeada para reducir el gradiente axial.

En el caso de pantallas condensadoras, similares a las utilizadas en los pasamuros, conviene utilizar muchas pantallas para evitar el efecto del borde. En ciertos casos, es necesario intercalar pantallas de longitud reducida que aunque no influyen en el reparto capacitivo de tensiones, reducen el gradiente de los extremos de las pantalla principales.



› Fig. 18. Deflectores



› Fig. 19. Pantallas condensadoras

C. COMPENSADOR DE ACEITE

Aunque es un elemento auxiliar en el TM, influye de manera decisiva en el comportamiento en servicio del sistema aislante.

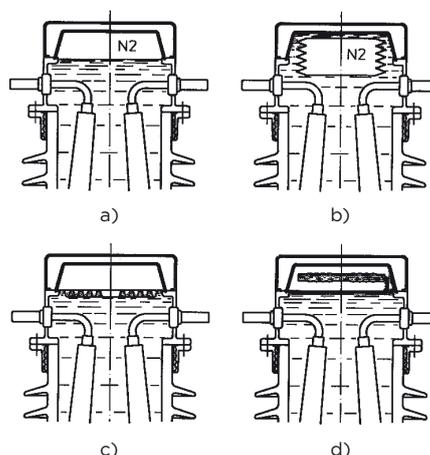
Antiguamente, los TM, como otros aparatos eléctricos, tenían el aceite en contacto con la atmósfera por lo que estaban saturados de gas y agua. En ciertos casos se utilizaba un filtro de secado con silicagel, pero al estar situado en la zona de alta tensión, en la práctica no se cambiaban y al cabo de poco tiempo este dispositivo no era efectivo..

Este diseño es válido hasta cierta tensión siempre que se dimensione suficientemente el aislamiento, pero en el caso de muy alta tensión, p.e. 420 kV, el valor elevado de la $tg \delta$ de este aislamiento produce un calentamiento importante, que en un TI con gran espesor de aislamiento y difícil refrigeración provoca el envejecimiento prematuro del transformador.

Actualmente todos los TM, se construyen con un compensador del volumen de aceite de manera que éste no está en contacto con el aire.

Así se mantienen las elevadas características dieléctricas del conjunto papel-aceite obtenidas en una cuidadosa fabricación mediante secado con vacío superiores a 0,02 Torr, durante un período de 5 a 15 días. En los ensayos eléctricos finales, estos TM resultan exentos de descargas parciales (DP) y con valores de $tg \delta$ inferiores a 0,5%.

Aunque existen muchas variantes en el diseño del compensador, se pueden resumir en 4 indicadas en la fig. 20.



› Fig. 20. Compensadores

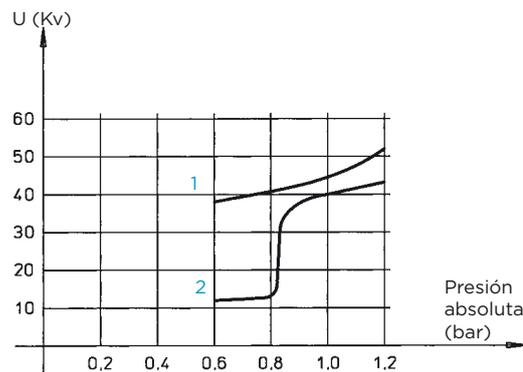
- a. Colchón de nitrógeno
- b. Balón de gas
- c. Membrana de goma
- d. Fuelle metálico

2. DESCRIPCIÓN TÉCNICA

1. Colchón de nitrógeno

El aceite está saturado de gas, siendo la cantidad que contiene función de la presión y temperatura. Por ello, a bajas temperaturas la disminución de la presión provoca la formación de burbujas en el seno del aceite, que van ascendiendo hacia la cámara superior. La consecuencia eléctrica de este fenómeno es la aparición de DP. Se ha comprobado experimentalmente que en aceite saturado de gas, a presiones inferiores a 0,8 bares absolutos, la tensión de aparición de DP disminuye drásticamente (fig. 21).

Para evitar este fenómeno, es usual que el transformador se construya con una ligera sobrepresión a temperatura ambiente (20°C) pero hay que garantizar la calidad de las juntas para evitar que la sobrepresión en el caso de máximo calentamiento produzca fuga de gas. Otro peligro de este diseño, es la posible entrada del agua alojada en la superficie del transformador en contacto con la zona de juntas, cuando éstas no funcionan correctamente, ya que a bajas temperaturas se producirá una subpresión.



1. Sin N2 en contacto con aceite (casos b, c y d).
2. Con cámara de N2 (caso a).

► Fig. 21. Tensión de aparición de descargas parciales

2. Balón de gas

Constituye una variante mejorada del caso anterior, ya que el gas no está en contacto con el aceite y por lo tanto éste no está saturado. La presión del aceite varía también con la temperatura, con el consiguiente peligro en caso de fallo de juntas de estanqueidad.

3. Membrana de goma

En este caso la presión del aceite es constante, debido a la gran elasticidad de la membrana. Utilizando el material adecuado, se puede reducir la permeabilidad del compensador, manteniendo así el aceite en buenas condiciones a los largo de los años.

4. Fuelle metálico

Es una solución similar a la anterior, utilizando metal (p.e. acero inoxidable) como elemento elástico. Si el compensador está formado por platos soldados, el conjunto resulta muy elástico y no se produce presión en el aceite al variar de volumen. La soldadura es muy delicada debido al reducido espesor del acero y debe controlarse cuidadosamente. En el caso de fuelles fabricados mediante conformado, (sin soldaduras en el cuerpo principal) es necesario aplicar presión para que cambien de volumen, por lo que el aceite no trabaja a presión constante. Por otro lado, este tipo de compensador puede deteriorarse si se producen cambios bruscos de volumen a baja temperatura.

2. DESCRIPCIÓN TÉCNICA

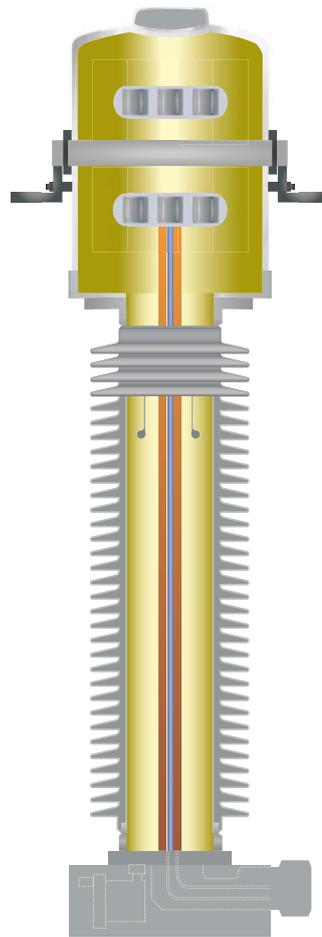
2.3. AISLAMIENTO INTERNO EN SF6

Existen diseños de TI fabricados con gas SF6 como aislante principal desde hace muchos años.

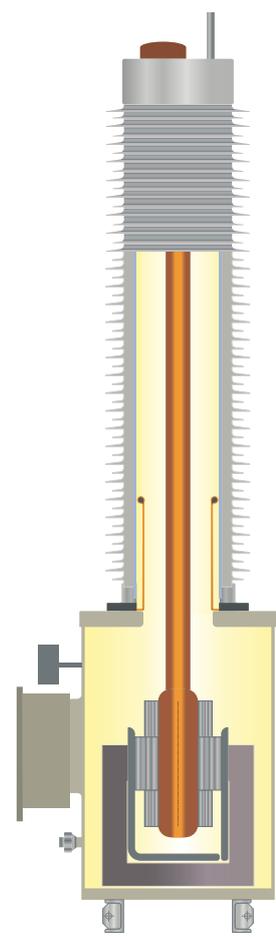
En las figuras 22 se aprecia este tipo de construcción, donde el aislamiento papel-aceite, y el aceite complementario han sido sustituidos por SF6, resultando un conjunto muy simple. Se utiliza una pantalla intermedia para optimizar el reparto de campo a lo largo del aislador.

Este aislante es muy conocido por su utilización en subestaciones blindadas. La presión de trabajo suele ser de 3,5 a 4,5 bares absolutos, ya que sus características dieléctricas mejoran notablemente con la presión, pero cuidando que no se produzca condensación a baja temperatura. Este aspecto es importante en los TM ya que se instalan al exterior con temperaturas de -25°C o inferiores.

Los TT de las subestaciones blindadas se fabrican, generalmente aislados también con SF6. El aislamiento entre capas puede ser papel pero es necesario asegurar su correcto secado, ya que la presencia de humedad en atmósfera de SF6 y arcos eléctricos produce compuestos corrosivos. Por esta razón es habitual utilizar polipropileno como aislante, ya que no es higroscópico.



› Fig. 22a. T. I. aislado con gas SF6



› Fig. 22b. T.T. aislado con gas SF6

› Subestación de transformadores de tensión para GIS.



3. CONTROL DE CALIDAD Y ENSAYOS

Existen normas sobre transformadores de medida (IEC 61869, IEEE C57-13, etc.) en las que se indican diversos ensayos de tipo y de rutina, en base a los cuáles puede establecerse en cierto modo la calidad de los aparatos.

Sin embargo es necesario completar estos medios de control con otros que garanticen de la mejor manera posible la calidad total de la fabricación. La certificación ISO 9001 sobre Sistemas de Calidad establece, en función del nivel elegido, los procesos o aspectos a controlar en la fabricación, como son: Diseño, Documentos, Proveedores, Inspección en Proceso, Registros, etc.

A continuación comentaremos algunos ensayos finales cuyas características están en estudio, así como algunas condiciones exigidas a los TM, pero no incluidas en normas.

A. ENSAYOS DIELECTRICOS DE RUTINA

Debido al esfuerzo que supone para el transformador, el ensayo de rigidez a frecuencia industrial, la tendencia es reducir su valor pero midiendo las DP a continuación, sin bajar a cero la tensión.

En los TTC se está estudiando un ensayo de DP aplicando ondas de maniobra superpuestas a la frecuencia industrial.

B. ENSAYOS DE VIDA

Como se ha indicado anteriormente en los TM no es normal que se produzca un envejecimiento térmico. No obstante si se estima conveniente puede aplicarse un ensayo de estabilidad térmica. La medición de $tg \delta$ después de un ensayo de calentamiento no es suficiente para conocer este fenómeno.

El envejecimiento eléctrico se produce por las DP, y por ello, el ensayo acelerado debe basarse en las curvas tensión- tiempo, de igual probabilidad a DP. Estas curvas son de la forma

$$U = C t^{-\gamma}$$

donde C y γ son constantes.

C. TRANSITORIOS DE ALTA FRECUENCIA

Durante las maniobras de interruptores o seccionadores, se producen oscilaciones de alta frecuencia (0,1 a 10 M Hz) con tensiones hasta 3 veces la nominal. Este tipo de ondas produce corrientes de corta duración en las pantallas de los TM de hasta 500 A provocando, a veces, el fallo del transformador.

Para analizar el comportamiento de los TM ante este fenómeno, la norma IEC expone un método, que consiste en aplicar al menos 100 impulsos cortados en la cresta y analizar la evolución de los gases disueltos.

Los incrementos de gases disueltos en el aceite están en discusión en los grupos de trabajo IEC.

D. DESCARGA DE LÍNEAS

Cuando se produce la apertura de una línea en vacío, la tensión es máxima y si no se descarga puede producirse una sobretensión en el reenganche.

Los TT son aparatos adecuados para descargar las líneas, ya que su impedancia se reduce rápidamente al saturarse el núcleo con la corriente transitoria. No obstante, esta elevada corriente produce esfuerzos térmicos y dinámicos en el bobinado, llegando incluso a destruir el transformador si no está preparado para soportarlas.

Un caso similar se produce en los TT destinados a descargar bancos de condensadores.

E. FERRORESONANCIA

Aunque este fenómeno no se produce con mucha frecuencia, resulta muy peligroso ya que, generalmente, el TT se destruye por calentamiento.

De acuerdo con las características del circuito, la ferorresonancia puede ser serie o paralelo, pero esta última sólo aparece en líneas con neutro aislado, por lo que no es propia de la alta tensión.

En cuanto a la ferorresonancia serie, además del conocido caso de los TTC, puede encontrarse en TT conectados a una línea en tensión a través de los condensadores de reparto de un interruptor o a través de la capacidad entre líneas cuando una está en tensión y la otra no.

Existen métodos para suprimir este fenómeno como la utilización de un secundario auxiliar, conectado en triángulo abierto sobre una resistencia.

3. CONTROL DE CALIDAD Y ENSAYOS

F. TRANSPORTE Y ENSAYOS SÍSMICOS

El número de roturas que se producen en el transporte o en la carga y descarga es importante. Además, puede producirse una avería no detectada que produce el fallo del transformador al poner en servicio. Se ha comprobado, que el transporte en camión o ferrocarril es más severo que en barco, y se han alcanzado valores incluso superiores a 10 g.

Por todo ello, se ve la necesidad de establecer valores máximos de manera que por un lado se diseñen los embalajes de forma que soporten estos valores y por otro se garantice que el transporte no supera dichas aceleraciones.

Existen dispositivos indicadores, que podrían incorporarse en los embalajes para verificar este dato.

Otro fenómeno que puede destruir mecánicamente un TM es el terremoto. Los TM son aparatos esbeltos y frágiles, y deben calcularse adecuadamente si el lugar de instalación es propenso a sismos.

Las especificaciones de diversas Compañías, establecen adecuadamente los criterios de diseño, así como los ensayos de verificación, y la experiencia ha demostrado que TM fabricados de esta manera se han comportado correctamente durante importantes terremotos.

En algunos casos, especialmente en muy alta tensión, puede ser necesario utilizar amortiguadores.



4. INSPECCIÓN Y CONTROL EN CAMPO

4.1 EN LA PUESTA EN SERVICIO

En primer lugar hay que verificar cuidadosamente el estado del embalaje y de los transformadores al llegar a su destino. Puede suceder, que a pesar de estar el embalaje en buen estado, haya sufrido golpes o vibraciones peligrosas para el transformador.

En los aparatos con indicador de nivel de aceite, hay que verificar su posición y comprobar que coincide con la de otros transformadores del mismo lote. También hay que inspeccionar con todo detalle la zona

de juntas tratando de encontrar muestras de aceite, especialmente en los casos de período largo de almacenaje. En el caso de fugas, de TI tumbados, el aislamiento principal queda sin aceite y no debe ponerse en servicio.

Como chequeo eléctrico es conveniente medir el aislamiento entre secundarios y entre éstos y tierra. Finalmente, al aplicar tensión, cualquier ruido extraño puede ser un indicativo del mal funcionamiento del transformador.

4.2 CONTROL EN CAMPO

A. INSPECCIÓN VISUAL

Es aconsejable un control visual de los transformadores de forma periódica, p.e. trimestralmente, inspeccionando los indicadores de nivel, etc., así como posibles fugas de aceite. También como en el caso anterior, conviene verificar si hay algún ruido extraño.

B. ANÁLISIS DEL ACEITE

Al cabo de varios años en servicio, p.e. de 5 a 10 años, conviene tomar muestras de aceite del transformador, para evaluar su estado, a través de ensayos de gases disueltos, $tg \delta$ y humedad.

Mediante el análisis de gases disueltos en el aceite se puede conocer el estado del transformador y las causas del deterioro. Normalmente se mide H_2 , CH_4 , C_2H_4 y C_2H_2 , pero en los TM los más interesantes son el H_2 que indica presencia de descargas parciales de pequeña energía y el C_2H_2 que indica descargas eléctricas más importantes.

Este método se ha utilizado mucho en transformadores de potencia, pero en TM se ha comprobado que no pueden utilizarse los mismos criterios, ya que los resultados dependen mucho del tipo de construcción.

Actualmente se está investigando este tema y es de esperar que en pocos años se conozca mejor el fenómeno. A título orientativo, se indican los valores límite de gases disueltos en TM en la Norma IEC 60599. Se están realizando experiencias para facilitar este ensayo colocando detectores en los TM, e incluso se estudia la posibilidad de un control en continuo.

La razón es que en un TM de muchos años en servicio, puede producirse un envejecimiento muy rápido si aparecen DP. El valor $tg \delta$ a $90^\circ C$ del aceite es un indicativo de su contaminación pero resulta difícil relacionarlo con el estado del

aislamiento principal. Con valores superiores al 6% aproximadamente puede estimarse que el aceite no está en buen estado.

La medida del contenido de agua en el aceite es importante, ya que el agua pasa del aceite al papel deteriorando el aislamiento principal. De esta manera, aunque no ensayemos a $tg \delta$ todo el transformador, podemos estimar si se ha humedecido gracias al análisis del aceite. La medida de furfuraldehído en el aceite para detectar el envejecimiento debido a fenómenos que no producen arcos, aunque es uno de los parámetros utilizados en transformadores de potencia, no es significativa en TM.

C. ENSAYOS ELÉCTRICOS

Los ensayos de $tg \delta$ y DP del transformador, son un complemento adecuado para conocer el estado del aislamiento, pero en general, solamente puede realizarse en un laboratorio.

Hay equipos portátiles para medir $tg \delta$ a 10 kV, pero es un ensayo complicado porque hay que desconectar el TM de la línea y limpiar el aislador ya que esta medida varía mucho si no se realiza con cuidado. Para este ensayo en TI, es conveniente que exista una toma aislada.

D. OTROS MÉTODOS

Mediante equipos de termovisión pueden detectarse defectos en conexiones primarias de TI, calentamiento excesivo en TTC, etc. Es un método sencillo y muy sensible y las experiencias recomiendan su utilización. Para detectar fallos de galletas en TTC se puede utilizar la tensión en triángulo abierto, ya que el fallo del condensador se produce normalmente de forma gradual.

Se han realizado también experiencias con métodos ultrasónicos, para detectar descargas internas, pero de momento no se ha logrado suficiente sensibilidad.

5. CONCLUSIONES

El aislamiento clásico papel-aceite sigue siendo el normalmente utilizado en los TM. Mejoras en la calidad de los materiales y en los diseños, han permitido elevar notablemente sus características dieléctricas.

Se están utilizando otros materiales, especialmente gas SF6 en los TM para subestaciones blindadas y por extensión en los normales.

Los ensayos citados en las normas, se estiman insuficientes y se precisa complementarlos para garantizar el correcto funcionamiento del transformador en servicio.

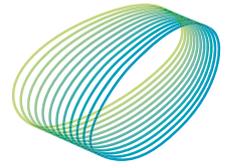
Aunque existen diversos métodos para conocer el estado de aislamiento en TM con muchos años en servicio, de momento no se ha obtenido uno suficientemente fiable y sencillo.

► Transformadores de intensidad y tensión 145 kV. Argentina.



› Transformadores de
intensidad 525 kV.
KEGOC (Kazajistán).





arteche
Moving together