



Asistencia, Servicios y Suministros Eléctricos, S.A. de C.V.

Calle D No 10, Col. San Marcos, C.P. 02020 Del. Azcapotzalco, México, D.F.

Teléfonos: (55) 5394-8078, 5239-3130, 5220-2491, Fax: 5239-3131

e-mail: info@servelec.com.mx

MANTENIMIENTO DE ACEITE AISLANTE

GENERALIDADES

Desde hace más de 100 años, los aceites minerales refinados parafínicos o nafténicos en combinación con el papel encintado, constituyen un sistema económico y eficaz para el aislamiento de transformadores. El aceite dieléctrico mantiene sus propiedades por más de 15 años de servicio en términos generales, salvo en algunos casos en donde se presentan fallas antes de 5 años y que son atribuibles a una mala aplicación de tecnología en el proceso de refinado.

Las características que debe tener un buen aceite dieléctrico y que deben mantenerse en óptimas condiciones durante sus años de servicio son las siguientes:

- ✚ Alto punto de inflamación.
- ✚ Baja viscosidad.
- ✚ Baja densidad.
- ✚ Estabilidad química.
- ✚ Baja capacidad higroscópica.
- ✚ Alta rigidez dieléctrica.
- ✚ Baja tendencia a la formación de gases.
- ✚ Bajo factor de disipación dieléctrica ($\tan\theta$).
- ✚ Alta resistencia eléctrica.

La causa de la degradación y falla de un equipo eléctrico pueden agruparse en térmicas, eléctricas, ambientales y mecánicas. Todas ellas actúan simultáneamente en el aislamiento produciendo un efecto de sinergia negativa cuyo resultado es mucho más perjudicial que la suma de los resultados de cada una de las causas actuando de forma individual.

Los sistemas aislantes de papel y aceite sufren un envejecimiento acelerado por causa de la temperatura. Así, el Dr. Bruce Pahlavanpour de National Grid (UK), en virtud de la ley de Arrhenius, sostiene que un transformador podría soportar más de 400 años de servicio si trabajara a una temperatura inferior a +40°C, mientras que para una temperatura de operación de +95°C la esperanza de vida sería inferior a 20 años, y para +103°C de operación tan sólo sería de 8 años. Obviamente, este análisis corresponde a un



único parámetro o causa de falla, sin considerar el efecto simultáneo de los demás.

La esperanza de vida de un transformador de potencia bien mantenido y para las condiciones normales de servicio puede ser de 30 a 40 años, dependiendo de los factores propios de diseño (Tipo, Potencia, Fabricante, Año de Fabricación, Tipo de Aceite). A partir de esta edad; es decir, en la etapa de envejecimiento, es necesario extremar los análisis predictivos periódicos para establecer un programa de extensión de vida útil determinando en cada momento las acciones regenerativas más recomendables en función de los resultados de los análisis.

En el control de la condición de los dieléctricos, es indispensable comprender que las propiedades deseables de los aceites son poderosamente afectadas por la contaminación, lo cual se puede ilustrar con los siguientes ejemplos:

- ✚ Añadiendo 50 gramos de aceite de motor a una tonelada de aceite de transformador se reduce su característica de emulsibilidad en 100 veces.
- ✚ Añadiendo 1 gramo de aditivo anticorrosivo a una tonelada de aceite de transformador se reduce la tensión interfacial desde 44 mN/m, hasta 30 mN/m.
- ✚ Añadiendo 30 gramos de agua a una tonelada de aceite de transformador se reduce la rigidez dieléctrica de 70 kV hasta 20 kV.



Asistencia, Servicios y Suministros Eléctricos, S.A. de C.V.

Calle D No 10, Col. San Marcos, C.P. 02020 Del. Azcapotzalco, México, D.F.

Teléfonos: (55) 5394-8078, 5239-3130, 5220-2491, Fax: 5239-3131

e-mail: info@servelec.com.mx

MANTENIMIENTO DE ACEITE AISLANTE

El envejecimiento del sistema de aislamiento es un proceso complejo de degradación química y compuestos agresivos (alcoholes, ácidos peróxidos, cetonas, aldehídos, jabones, epóxidos, etc.) que toman la forma de lodo, y que puede explicarse de forma simplificada en función de los efectos combinados de la temperatura y la humedad.

EFFECTO DE LA TEMPERATURA Y LA HUMEDAD

La temperatura tiene un doble efecto en el envejecimiento, como regulador de la migración del agua entre el papel y el aceite, y como activador de reacciones químicas de oxidación del aceite. Cuando la carga del transformador aumenta, la temperatura de operación sube, aumentando la solubilidad del agua en el aceite que absorbe el agua contenida en la celulosa. En tales circunstancias, el aceite pierde su rigidez dieléctrica y sufre procesos químicos de formación de compuestos de degradación (ácidos, peróxidos, oxígeno libre, aldehídos, cetonas, alcoholes, agua, etc.), al mismo tiempo que la celulosa se polimeriza y pierde su resistencia de atracción, hasta hacerse vulnerable mecánicamente (vibración). Si el transformador trabaja a bajas temperaturas, la humedad del aceite pasa a la celulosa y sus moléculas polares se orientan por el intenso campo eléctrico, de tal forma que a partir de 4.5% de agua en el papel y para una temperatura de trabajo de +90°C, la falla del aislamiento por causa del campo eléctrico es inminente.

FORMACIÓN DE ÁCIDOS

La formación de lodos es uno de los procesos más graves dentro del sistema de aislamiento, ya que se sedimentan sobre el papel, destruyen las fibras de la celulosa y evitan el intercambio térmico entre los devanados del transformador y el aceite. Los lodos tienen un carácter ácido, son insolubles, y su formación va acompañada de otros compuestos ácidos orgánicos disueltos en el aceite, cuya presencia es un síntoma inequívoco de envejecimiento. Estudios

realizados por National Grid (UK) mostraron que el 100% de los aceites dieléctricos con número de neutralización (TAN) superior a 0.60 mg KOH/ml presentaban lodos sedimentados en los arrollamientos, mientras que por debajo de 0.10 mg KOH/ml, no se encontró ningún transformador con tales síntomas.

Número de Neutralización (TAN) en mg KOH/gramo de aceite	% de transformadores con sedimentos de lodos.
0.00 a 0.10	0%
0.11 a 0.20	38%
0.21 a 0.60	72%
más de 0.60	100%

Formación de lodos (Fuente National Grid-UK)

La conclusión del anterior análisis del proceso de envejecimiento del sistema de aislamiento es que el control predictivo de todas las propiedades deseables en los aceites puede resumirse en la medida periódica de dos parámetros: humedad y acidez.

MEDIDA DE HUMEDAD

En la medida del contenido del agua en el aceite se debe tener en cuenta tres factores que influyen de forma muy significativa en la interpretación del resultado.

- El equipo de medida debe ofrecer una resolución de 1ppm. Esta característica es lógica si consideramos que los límites recomendados se encuentran en las 30 ppm, mientras que National Grid es mucho más estricto en ésta existencia en función de la tensión nominal del transformador.

Tensión kV	<125 kV	125 a 400kV
Humedad a 20°C	20 ppm	15 ppm

Límites recomendados (Fuente National Grid –UK)

- El equipo de medida de humedad debe ser portátil para poder obtener en el sitio la medida inmediatamente después de la extracción de la muestra. Este aspecto es fundamental para evitar



Asistencia, Servicios y Suministros Eléctricos, S.A. de C.V.

Calle D No 10, Col. San Marcos, C.P. 02020 Del. Azcapotzalco, México, D.F.

Teléfonos: (55) 5394-8078, 5239-3130, 5220-2491, Fax: 5239-3131

e-mail: info@servelec.com.mx

MANTENIMIENTO DE ACEITE AISLANTE

la absorción de agua de la atmósfera, que será mayor cuando mas tiempo haya transcurrido desde la toma de muestra hasta su análisis. Incluso tomando la muestra en el recipiente con 100% de llenado y sin dejar espacio al aire, la manipulación hasta el laboratorio es causa suficiente para que la medida de humedad sea altamente inestable.

La medida de humedad debe corregirse con la temperatura de servicio. Como la capacidad higroscópica del aceite aumenta con la temperatura y esta depende de la carga de trabajo del transformador, es necesario normalizar las medidas a una temperatura de 20°C en virtud de un factor de corrección para cada temperatura de servicio, así una muestra de aceite a +45°C en un equipo de 200kV con 17 ppm de agua podría considerarse fuera de límite de no haber normalizado para una temperatura de 20°C con un coeficiente de corrección de 0.40, lo que resulta un valor de humedad real de la muestra de tan sólo 7 ppm.

MEDIDA DE ACIDEZ

La medida de acidez del aceite se obtiene como número de neutralización (TAN), y su valor va a caracterizar la formación de lodos en los arrollamientos del transformador. El método empleado para la medida de acidez debe satisfacer las siguientes condiciones:

- ✚ Precisión a la hora de dosificación la solución neutralizadora (KOH), para disponer de suficiente resolución de medida de muestras del aceite de muy bajo contenido en ácidos. Para garantizar que no existe formación de lodos, es necesario mantener el número de ácido por debajo de 0.1 miligramos de KOH/gramo. En este sentido, la recomendación admite como límite 0.35, lo que es un valor excesivo para trabajar con fiabilidad, por lo que National Grid propone un valor de 0.05 miligramos como valor límite recomendable.

- ✚ Precisión a la hora de detectar el valor de pH neutro (indicador), para no supeditar el resultado de la valoración a la subjetividad del analista en cuanto al cambio de color de la fenoftaleína, sobre todo en aceites de color más oscuro.

REACONDICIONAMIENTO DEL ACEITE

Por lo anteriormente descrito, SERVELEC brinda asistencia técnica, así como el servicio de filtrado (hasta una micra) y secado del aceite con equipo Spraam, midiendo el contenido de humedad durante el proceso, garantizando una rigidez dieléctrica mayor a 40 kV.



Cuando la humedad no solo del aceite, sino también la del papel (aislamiento sólido) se encuentra en mayor concentración, un proceso de reacondicionamiento no es suficiente, por lo que realizamos el servicio de secado en campo.

Fuente. Revista Predictécnico No 9, Año V – Artículo Mantenimiento Predictivo de Aceites Dieléctricos.