PROPIEDADES AISLANTES DE LOS ACEITES DIELÉCTRICOS

Análisis de Gases Disueltos.

En el funcionamiento normal de un transformador, el aceite dieléctrico se degrada paulatinamente a medida que se combina el oxígeno del aire.
Esta degradación es lenta y sigue un proceso de varias etapas cuyo resultado es la generación de compuestos ácidos, los que incrementan a su concentración a través de los años, como evidencia de este proceso oxidativo. Sin embargo durante el funcionamiento anómalo del transformador, ocurren situaciones que llevan al aceite a condiciones extremas provocando cambios tan radicales como es transformarlo en una sustancia gaseosa en fracciones de segundo.

Ejemplos de problemas típicos y funcionamiento anómalo:

1- Las corrientes eléctricas inducidas sobre partes del transformador debido a los campos magnéticos variables sobre ellas, (no todo el campo magnético se limita a variar dentro de la bobina secundaria) provocan temperaturas de 700ºC a 1000ºC

2- Pérdidas dieléctricas anormales en la aislamiento de papel impregnado de aceite, generan incrementos de temperatura fuera de control dado que el aceite no fluye y no hay posibilidad de evaluación de calor por convección. En estas circunstancias se alcanzan temperaturas entre 200ºC y 300ºC.

3- Arcos eléctricos desde la bobina de alto voltaje eléctrico muy alejadas de ella, causan temperaturas de hasta 600ºC.

4- Descargas eléctricas de menor energía como chispas, entre partes a menor diferencia de potencial, producen altas temperaturas aunque sea baja la energía involucrada.

Estas condiciones extremas generan cambios rápidos en el aceite, que básicamente consisten en romper las moléculas de aceite, en fragmentos pequeños. Debito al menor tamaño de estas nuevas especies químicas, ellas son sustancias gaseosas. Las moléculas de aceite pueden romperse de varias maneras generando distintos gases. Cada tipo de ruptura molecular requiere de cierta energía para producirse, y es así como algunos gases sólo pueden formarse a partir de un arco eléctrico (alta energía) y otros pueden crearse a partir de las fallas de baja energía como las descargas parciales. Ello permite relacionar el tipo y cantidad de gases disueltos en el aceite con las fallas que sufre el transformador.

a- El acetileno esta mayormente asociado a la ocurrencia de arcos eclécticos,
b- El etileno se forma a temperaturas menores, relacionándose con puntos calientes entre 300ºC y 800ºC
c- El hidrogeno se relaciones con descargas de baja energía en fase gaseosa
d- El vapor de agua y/o el monóxido de carbono pueden provenir de la degradación de aislamiento sólida sometida a altas temperaturas.

No obstante, la presencia de gases no se limita a fallas en el funcionamiento, sino que pueden haber burbujas de aires por una mala impregnación del aislamiento sólida con el aceite, o por una sobresaturación de aire en aceite debida a bruscos cambios de temperatura y/o presión.
No todas las sustancias formados por estas fallas gaseosas. Si hubiesen burbujas de vapores de aceite entre densas capas de aislante sólido sometidas a campo eléctrico, esos vapores se polimerizarías formando compuestos sólidos de alto peso molecular. Estos tienen consistencia de ceras y poseen instauraciones que absorben la luz ultravioleta; en consecuencia se caracterizan por su espectro ultravioleta. De ocurrir un arco eléctrico también se observa la formación de partículas de carbón junto con los gases característicos de esta falla.
La tendencia del aceite a la formación de carbón esta fundamentalmente determinada por el contenido de hidrocarburos aromáticos, más que por la naturaleza naftécnica o parafínica del aceite. La degradación térmica de la aislación sólida de celulosa genera compuestos como el 2- furanal y otros relacionados, por lo que la presencia de este compuesto en el aceite se utiliza para controlar el estado de esa aislamiento. Entonces, el análisis de los gases presentes en el aceite dieléctrico puede indicar fallas en el funcionamiento del transformador.
Sin embargo, interpretar adecuadamente la información es una tarea muy compleja. No es sencillo establecer límites máximos a la concentración de cada gas como método para controlar el estado de un transformador.
Estos límites dependen del tipo retransformador (los de medida son más críticos que los de potencia) y de la etapa de su vida útil en la que se encuentre (los primeros y los últimos años son los que tiene una mayor probabilidad de falla). Por supuesto, los límites de cada gas cambian si están acompañados por cierta concentración de otro gas.

Distintos criterios establecen concentraciones límites de gas en los aceites aislantes, que consideran valores máximos (ppm) de hidrogeno. Metano, etano, acetileno, monóxido de carbono y dióxido de carbono, preferentemente.

Además de la complejidad dada por la consideración de estos factores, se adiciona la posibilidad de que en el transformador ocurra más de una falla a la vez, lo que complica la interpretación de los resultados.

El análisis de gases se realiza siempre sobre transformadores suficientemente importantes como para requerir de un plan de mantenimiento preventivo. Esto prácticamente indujo a diversos autores y usuarios a interpretar las relaciones de concentraciones de distintos gases disueltos, así como su correlato con el mal funcionamiento de los transformadores, y originó diagnósticos predictivos de falla de los equipos en operación.

Según se mencionó, interpretar esos resultados requiero de un profundo conocimiento y experiencia en el tema, y hasta ahora los intentos por esquematizar la toma de decisiones dentro de un algoritmo lógico, ha sido útil como marco de referencia para el experto, aunque no lo a podido suplantar. Las decisiones mas difíciles de tomar no se refieren tanto a si una determinada falla ocurre o no. Muchas veces la falla es clara, pero lo difícil es decidir el momento de intervenir al transformador muy temprana puede resultar difícil ubicar la falla, mientras que si se demora la intervención, el transformador puede fallar en forma catastrófica.

Ciertos métodos de ensayo miden la cantidad de gas formado de un aceite dieléctrico, cuando éste es sometido a temperatura y se le aplica un campo eléctrico. Los resultados de estos ensayos clasifican a los aceites como aceites "absorbentes de gas" (mantiene disuelto o recombinado químicamente el gas formado) o aceites "liberados de gas" (liberan el gas formado que se separa como burbujas o integra el volumen gaseoso sobre la superficie del líquido).

La extensión con que estos ensayos predicen el verdadero comportamiento en servicio es materia de controversia. Esta se debe a que la formación de gas tal cual ocurre dentro del transformador en el servicio, sólo que se produce en un laboratorio de manera parcial.
Como ya se dijo, los gases se forman por causas muy diversas, en consecuencia su naturaleza química será variada y según ésta, también lo serán los procesos físico-químicos con que interactúen el gas y el aceite. Por esta parte compleja interrelación se observó en ensayos de laboratorio que variando de medición, un aceite que se mostraba como "absorbente de gas" pasó a exhibir el comportamiento de un aceite "liberador de gases".

Ruptura por impulsos.
Es peculiar variante del ensayo de rigidez dieléctrica. En él los electrodos son asimétricos (aguja y una bola), mientras que la diferencia de potencial no es una función creciente en el tiempo, sino que se aplica como un pulso negativo sobre el electrodo aguja.
En este caso la composición del aceite es clave dado que el aceite recibe del electrodo aguja un "chorro" de electrones, en vez de un stress eléctrico generalizado.
Según las especies químicas que lo conforman sean capaces o no de recombinarse con estos electrones o éstos sólo lo atravesarán hacia el electrodo bola, provocando la ruptura dieléctrica.