

MANTENIMIENTO PREDICTIVO A TRANSFORMADORES: UN ENFOQUE AL ANÁLISIS DE GASES DGA

1. RESUMEN.

El análisis de gases disueltos (DGA) es una herramienta que permite detectar fallas eléctricas y mecánicas de transformadores de potencia en una etapa temprana proporcionando soluciones adecuadas para repararlas. Las fallas en transformadores son generalmente causadas por la baja capacidad dieléctrica del aislamiento sólido (papel aislante del núcleo) y líquido (aceite). Por ello, un diagnóstico temprano de estas fallas permitiría reducir considerablemente el costo de reparación del transformador fallado y evitar salidas inesperadas que provocarían la caída del suministro de energía. En este estudio, se propone el empleo del método internacionalmente normado como el Triángulo de Duval (IEC 60599) que, complementariamente con las pruebas eléctricas, permitirán ubicar las fallas de los transformadores de potencia de una manera rápida y efectiva.

2. INTRODUCCIÓN.

El transformador de potencia es uno de los equipos más importantes en el sistema de transmisión y distribución, razón por la cual muchas empresas invierten en el mantenimiento preventivo del transformador para evitar fallas en el mismo, y así mitigar pérdidas de dinero debido a la interrupción de la producción. El mantenimiento preventivo consta de realizar la limpieza de los componentes del transformador, ajustes de conexiones y pruebas eléctricas de rutina. Estos se realizan cada 6 a 12 meses dependiendo de la importancia del transformador. Con las pruebas eléctricas se puede obtener un diagnóstico del transformador pero no se puede detectar las fallas que pueden estar originándose dentro del transformador.

Durante la operación del transformador muchos gases pueden disolverse en el aceite dependiendo de las altas temperaturas originadas por fallas como: arco, corona (descargas parciales), sobrecalentamiento del aceite del transformador o sobrecalentamiento del papel aislante (celulosa). Entre estos gases disueltos, los gases combustibles son los más peligrosos ya que pueden causar la explosión del transformador. Los gases combustibles son H₂ (hidrógeno), C₂H₆ (etano), C₂H₄ (etileno) y C₂H₂ (acetileno).⁴

El análisis de gases disueltos (DGA) permite detectar en una etapa temprana las fallas eléctricas, mecánicas o una combinación de ambas. Por ello, el objetivo del presente estudio es proponer además del análisis cromatográfico convencional realizadas en laboratorio, el empleo del método del Triángulo de Duval (IEC Estándar 60599) complementadas con las pruebas eléctricas, para realizar un diagnóstico profundo del estado actual del transformador de potencia y de esta forma evitar pérdidas de dinero ante fallas que pudieran ocurrir inesperadamente.

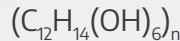
3. DESARROLLO.

3.1. Formación de Gases en el aceite del transformador

El aislamiento dieléctrico del transformador está compuesto por el aceite (aislamiento líquido) y el papel aislante (aislamiento sólido).⁶ El aceite del transformador está compuesto por hidrocarburos saturados llamados parafinas cuya fórmula molecular es:



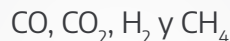
mientras que el papel aislante es una sustancia polimérica cuya fórmula molecular es:



Debido a la ocurrencia de fallas en el transformador, se forman gases disueltos debido a las altas temperaturas que descomponen al aceite y al papel aislante. Estos gases disueltos son:

H ₂ (hidrógeno)	C ₂ H ₆ (etano)
CO (monóxido de carbono)	C ₂ H ₄ (etileno)
CO ₂ (dióxido de carbono)	C ₂ H ₂ (acetileno)
CH ₄ (metano)	

La generación de gases representada en la Figura 1, muestra que el hidrógeno y metano empiezan a formarse a 150°C mientras que acetileno (el gas más peligroso) empieza a producirse a 500°C. Es importante resaltar que la descomposición térmica del papel aislante produce:



Esta descomposición empieza a 100°C o menos, es por eso que es importante que el transformador no deba operar a temperaturas mayores a 90° C.¹

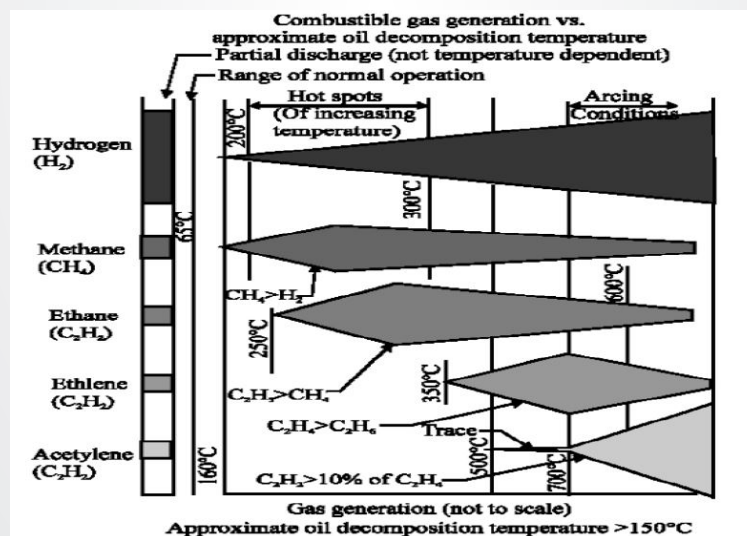


Fig. 1. Gráfica de generación de gases disueltos. La generación de gases es generada a determinadas temperaturas. Figura tomada de: Duval Triangle: A noble Technique for DGA in Power Transformers. Sukhbir Sing and M.N Bandyopadhyay, 2010.

3.2. Triángulo de Duval (IEC 60599)

El diagnóstico de transformadores por el método del Triángulo de Duval está basado en el incremento de los niveles de energía de la formación de tres gases: CH₄, C₂H₆ y C₂H₂.¹ El diagnóstico comienza, utilizando como dato la cantidad de estos gases posteriormente se procede a ubicar la zona de falla utilizando el método del Triángulo de Duval (Figura 2a). Las zonas de fallas mostradas en el Triángulo de Duval (PD, D1, D2, T1, T2, T3) son descritas en la Tabla 1. El método del Triángulo de Duval es aplicado para detectar un incremento anormal de acetileno de 800 ppm/día (Figura 2b) producido por condiciones de arco en el transformador, provocando temperaturas mayores a 500°C.

Observando la Figura 2a, se puede notar los análisis cromatográficos que fueron registrados por el equipo de monitoreo en línea e identificados en el Triángulo de Duval mostrando la evolución de del defecto en el interior del transformador, pasando por las distintas zonas de falla. Mediante el seguimiento de la falla en el Triángulo de Duval se puede identificar el momento exacto en cual el transformador debe salir de servicio para realizar el mantenimiento correctivo y de esta manera evitar sobrecostos en reparaciones o pérdidas monetarias debido a la interrupción sorpresiva del suministro de energía.

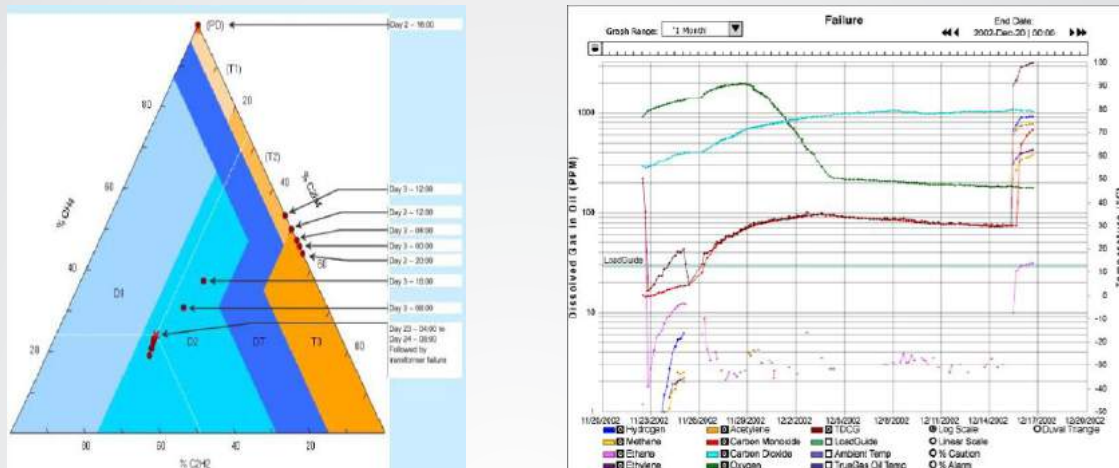


Fig. 2. (a) Triángulo Duval y (b) Gráfica de monitoreo de Gases en línea.
Figura tomada de: Identifying and Analysing Quick Developing Faults with DGA. Michel Duval. 2014.

Tabla 1. Zonas de Falla según la IEC 60599

Símbolo	Falla	Descripción
PD	Descargas Parciales	Descargas corona formando burbujas de gas y posible formación de lodos en el papel aislante.
D1	Descargas de baja energía	Descargas parciales tipo chispas, produciendo agujeros, pinchazos carbonizados en el papel. Arco de baja energía induciendo perforación carbonizada o la formación de partículas de carbón en el aceite. Originadas por malas conexiones, o diferencias de potencial.
D2	Descargas de alta energía	Descargas en el papel o aceite, flashovers que resultan en daño extensivo en el papel o gran formación de partículas de carbón en el aceite. Producidas por Cortocircuitos internos.
DT	Fallas térmicas y eléctricas	Combinación de fallas térmicas y eléctricas
T1	Fallas térmicas $T < 300^{\circ}\text{C}$	Evidenciado por quemado del papel ($>200^{\circ}\text{C}$) o carbonizado ($<300^{\circ}\text{C}$). Debido a sobrecargas del transformador.
T2	Fallas térmicas $300 < T < 700^{\circ}\text{C}$	Carbonización del papel, formando partículas de carbón en el aceite. Debido a contactos defectuosos.
T3	Fallas Térmicas $T > 700^{\circ}\text{C}$	Extensiva formación de partículas de carbón en el aceite, coloración del metal (800°C) o fusión del metal ($>1000^{\circ}\text{C}$). Circulación de corrientes en el tanque y el núcleo.

Tabla tomada y modificada de: Duval Triangle: A noble Technique for DGA in Power Trasnformers. Sukhbir Sing and M.N Bandyopadhyay, 2010 y Different DGA Techniques for Monitoring of Transformers. Rohit Kumar Arora 2013

3.3. Aplicación: DGA y Pruebas Eléctricas

Según lo anteriormente mencionado, el análisis de gases disueltos indica la clase de falla que puede estar ocurriendo en el interior del transformador. Además, brinda un diagnóstico predictivo indicando la etapa en que se encuentra la falla. De esta manera se realizaría un diagnóstico profundo siendo complementada con las pruebas eléctricas. Una aplicación de lo mencionado, se puede observar en la Figura 3a donde se produjo un incremento anormal de gases combustibles tales como hidrógeno y acetileno en un periodo de 2 días. Tomando en cuenta la producción de gases generados, el transformador debería salir de servicio para una reparación en taller. Sin embargo, al realizar la prueba de Respuesta de Frecuencia Dieléctrica (DFR) se detectó que la falla se debía al mal contacto entre la unión de acoplamiento entre el tubo vertical de protección con los tubos horizontales "Y" del bobinado de alta tensión. Así mismo, un mal acoplamiento de conexiones entre el cable que pasa por el interior del tubo vertical de protección y el tubo (Figura 3b).⁵ Por tanto, el transformador pudo ser reparado en sitio y no tuvo que ser trasladado a un taller. De esta manera, se redujo considerablemente el costo del mantenimiento correctivo.

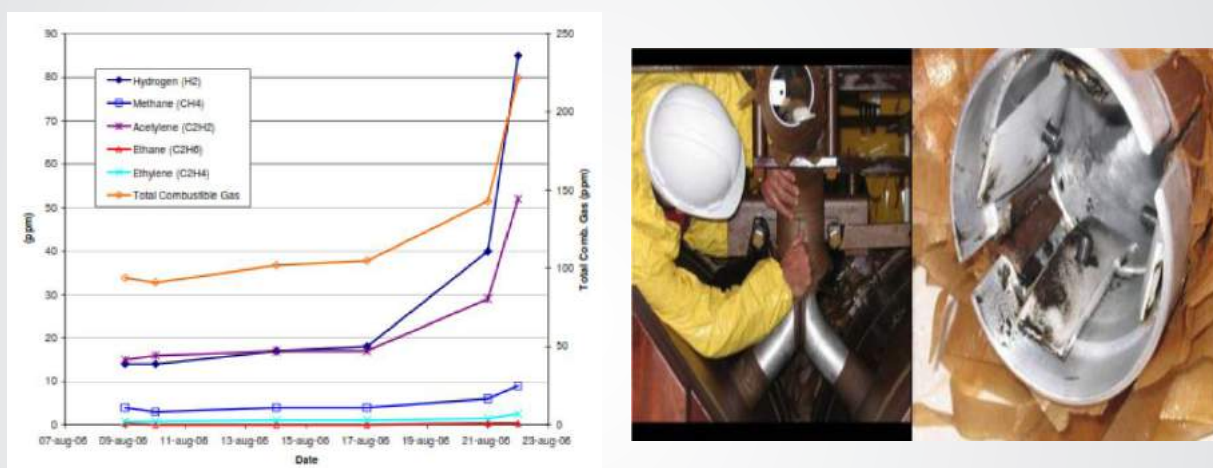


Fig. 3. (a) Diagrama de evolución de los gases y (b) Falla encontrada en el transformador. Figura tomada de: DFR- An Excellent Diagnostic Tool for Power Transformers. Poorvi Patel. 2008

4. CONCLUSIONES.

- DGA es una herramienta reconocida mundialmente que ayuda a detectar fallas que pueden estar produciéndose dentro del transformador en una etapa temprana.
- DGA permite realizar el mantenimiento de acuerdo a la condición real y reducir sobrecostos por reparaciones o pérdidas monetarias debido a la interrupción de suministro de energía.
- Los gases disueltos en el aceite son producidas por las altas temperaturas provocadas por las fallas eléctricas, mecánicas o combinación de ambas.
- La vida útil del transformador depende de la condición del papel aislante, se debe revisar la tendencia de CO, y CO₂ las cuales son producidas cuando se produce fallas en la celulosa.
- El Triángulo de Duval es una herramienta poderosa para poder realizar el diagnóstico del transformador considerando sólo tres gases claves y detectar la evolución de la falla.
- Para un mejor diagnóstico se recomienda que el análisis de gases deba ser complementado con pruebas eléctricas.

5. BIBLIOGRAFÍA.

1. Sukhbir Singh and M.N. Bandyopadhyay. Duval Triangle: A Noble Technique for DGA in Power Transformers. 2010. Department of Electrical Engineering, India 4(3):193-197.
2. Rohit Kumar Arora. Different DGA Techniques for Monitoring of Transformers. 2013. Global R&D Centre, Crompton Greaves. India.
3. Michel Duval. Identifying and Analyzing Quick Developing Faults with DGA. 2014. II Seminario Internacional Gestion de Activos de Transformadores. Colombia.
4. Sherif Gohneim, Kamel A. Shoush. Diagnostic Tool for Transformers Fault Detection Based on Dissolved Gas Analysis. 2014. Suez University. Egypt.
5. Poorvi Patel. DFR- An excellent Diagnostic Tool for Power Transformers. 2008. Weidmann Annual Diagnostic Solutions Technical Conference.
6. Enriquez Harper. El ABC de las Máquinas Eléctricas I. Transformadores. 1997. Limusa Editorial. México.

Autor: Ricardo Astupiña Figueroa

Edición: Bach. Denisse Salazar, Responsable de Medios e Imagen Institucional