



POSGRADOS

MAESTRÍA EN

ELECTRICIDAD

RPC- SO - 30 - No. 508 - 20 19

OPCIÓN DE
TITULACIÓN:

ARTÍCULO PROFESIONAL DE ALTO NIVEL

TEMA:

VALORACIÓN DE LA PROYECCIÓN DEL TIEMPO DE
VIDA ÚTIL EN TRANSFORMADORES DE POTENCIA
MEDIANTE PRUEBAS DE CROMATOGRFÍA,
IMPLEMENTANDO UN ALGORITMO EN MATLAB

AUTOR:

DANNY ARTURO VARGAS PONGUILLO

DIRECTOR:

CARLOS FERNANDO CHÁVEZ CÓRDOVA

GUAYAQUIL - ECUADOR

2023

COHORTE
2020 - 2021

Autor:



Danny Arturo Vargas Ponguillo

Ingeniero Eléctrico

Candidato a Magíster en Electricidad, mención Sistemas Eléctricos de Potencia por la Universidad Politécnica Salesiana - Sede Guayaquil.

dvargas@est.ups.edu.ec

Dirigido por:



Carlos Fernando Chávez Córdova

Ingeniero en Electricidad, mención Sistemas Eléctricos de Potencia y Diseño de Maquinaria

Master en Electricidad, mención Sistemas Eléctricos de Potencia

cchavez@ups.edu.ec

Todos los derechos reservados.

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la Ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

DERECHOS RESERVADOS

©2023 Universidad Politécnica Salesiana.

GUAYAQUIL – ECUADOR – SUDAMÉRICA

DANNY ARTURO VARGAS PONGUILLO

“VALORACIÓN DE LA PROYECCIÓN DEL TIEMPO DE VIDA ÚTIL EN TRANSFORMADORES DE POTENCIA MEDIANTE PRUEBAS DE CROMATOGRFÍA, IMPLEMENTANDO UN ALGORITMO EN MATLAB”

“VALORACIÓN DE LA PROYECCIÓN DEL TIEMPO DE VIDA ÚTIL EN TRANSFORMADORES DE POTENCIA MEDIANTE PRUEBAS DE CROMATOGRAFÍA, IMPLEMENTANDO UN ALGORITMO EN MATLAB”

Assessment of the projection of the useful lifetime in Power Transformers through Chromatography Tests, Implementing an Algorithm in Matlab

Vargas Ponguillo Danny Arturo¹, Carlos Chavez²

¹Estudiante del programa de Maestría en Electricidad MEL de la Universidad Politécnica Salesiana; email: dvargasp@est.ups.edu.ec

²Docente de la Universidad Politécnica Salesiana; email: cchavez@ups.edu.ec

Abstract— This article focuses on evaluating the projection of the useful lifetime in power transformers through chromatography tests, implementing an Algorithm in Matlab. The study was applied to the Power Transformer S/E Tecnova XA Series 2048A001.

Therefore, it is necessary to apply a valuation that allows to appreciate the utility time of the power transformer and to know the remaining period. The article is of an evaluative type because the Matlab Software will be taken into account for its evaluation, the appropriate one for carrying out chromatographic tests, on the measurement of impermeable oil. The entire study is executed under current regulations.

The study of these power transformers is highly ambitious for manufacturers, electrical distribution companies and research sites since it constitutes not only a predominant element to manage reliability risks but also enhance the quality of service of electrical distribution networks.

Keywords: *Transformer, Matlab, used oils, gas chromatographic analysis.*

Resumen— Este artículo se enfoca en evaluar la proyección del tiempo de vida útil en transformadores de potencia mediante pruebas de cromatografía, implementando un Algoritmo en Matlab. El estudio se aplicó al Transformador de Potencia S/E Tecnova Serie XA 2048A001.

Por lo tanto, se necesita aplicar una valoración que permita apreciar el tiempo de utilidad del transformador de potencia y saber el periodo restante. El artículo es de tipo evaluativo porque se tomará en cuenta para su evaluación al Software Matlab, el apropiado para la realización de pruebas cromatográficas, sobre la medición del aceite aislante. Todo el estudio está ejecutado bajo las normas vigentes.

El estudio de estos transformadores de potencia ambiciona mucho los fabricantes, empresas de distribución eléctrica y lugares de investigación puesto que constituye no sólo un elemento predominante para gerenciar los riesgos a la confiabilidad sino también potenciar la calidad del servicio de las redes de distribución eléctricas.

Palabras clave: transformador, Matlab, aceite aislante, análisis cromatográficos de gases.

I. INTRODUCCIÓN

En la red de potencia los transformadores de poder son parte fundamental en el desempeño del trabajo del sistema eléctrico, son equipos complicados de reemplazar debido a sus tiempos de importación, costo y puesta en marcha. Las fallas en estos elementos se han vuelto más comunes debido a su falta de mantenimiento y una inadecuada selectividad de las pruebas eléctricas para determinar daños.

A través del análisis de gases disueltos (DGA) se establece un estudio que nos permite diagnosticar fallas en los transformadores de potencia en función al grado de concentración de los gases internos y la relación que existe entre ellos, son generados en el interior del transformador específicamente en el aceite por las diferentes tensiones eléctricas y térmicas que se generan en el transcurso del tiempo, pero la técnica del DGA no logra identificar la gravedad de las diferentes fallas que existen, por esta razón es que se sugieren dos escenarios con diferentes técnicas de transformación de datos [2].

En Ecuador van en aumento las fallas eléctricas en los transformadores de potencia y de distribución, debido a los pocos mantenimientos preventivos y correctivos que se ejecutan durante su vida útil, también las fallas son generadas por sobrecargas en el sistema de distribución, por humedad en el equipo primario o descargas atmosféricas [3].

Se dan a conocer que establecer una planificación de mantenimientos que no se encuentre bien dimensionada o que no se haya realizado con argumentos confiables ocasiona que haya pérdidas monetarias por los costos de los mantenimientos y también ocasiona que no se optimicen los recursos que brinda la empresa que contrata los mantenimientos a sus equipos primarios [4].

El análisis de gas de hidrógeno disuelto (DHGA) es primordial para definir el estado operativo en el que se encuentra un transformador de potencia, ellos proponen implementar matrices de sensores de gas mediante Sistemas Micro Electromecánicos (MEMS) con un sistema diseñado que tiene un circuito con puente de Wheatstone y los resultados obtenidos son prometedores para un monitoreo a largo plazo del estado operativo del transformador de potencia [5].

Existen varios ensayos sobre el transformador de potencia y como la prueba eléctrica AFQ (Análisis Físicoquímicos) nos permite determinar el estado en el que se encuentra nuestro equipo, también se conoce la prueba eléctrica denominada cromatografía de aceite dieléctrico que consiste en analizar los gases que se producen en el aceite dieléctrico con el fin de encontrar restos de metales que determinan si el transformador de potencia ha sufrido alguna falla interna.

Muestra que toda prueba eléctrica deberá ser validada mediante una regulación o un estándar técnico, como por ejemplo las diferentes normas que existe como son; ASTM, ANSI NETA, IEEE e IEC [6].

Ellos implementaban técnicas mediante la clasificación de fallas que encontraban en sus pruebas eléctricas, estas técnicas tiene una alta capacidad de generalización de datos para lograr obtener un resultado final de predicción fiable [1].

Se menciona que todo tipo de dato histórico se deriva de una medición eléctrica con equipos de buena gama, ellos lograron obtener buenos resultados entre los años 2012-2014 en el sur de China, para así establecer una predicción del suministro de energía en las redes eléctricas [7].

La investigación se realiza con el fin de verificar el comportamiento del envejecimiento del transformador de potencia en el tiempo que el fabricante le asignó de uso, adquiriendo los datos de las pruebas cromatográficas, estudiando y realizando las tendencias que arroja cada parámetro de las pruebas eléctricas y así validando con las normas y estándares técnicos, para de esa manera lograr de forma objetiva la búsqueda de soluciones de los inconvenientes de salidas de operación de los transformadores mediante un sistema predictivo.

Existe la necesidad de que se implementen estudios de nuevos equipos para la detección de fallas y supervisión del transformador de poder, en la actualidad hay pocas empresas dedicadas a esta línea, una de las más importantes es QUALITROL que hace el estudio mediante la toma de muestras de aceites para encontrar residuos de metales que son analizados por un software.

Se da a conocer que implementaron un software de alto nivel para lograr obtener el diseño dieléctrico de un transformador, mediante el alcance de datos del aislamiento dieléctrico en ambos devanados del transformador monofásico, y los resultados que obtuvieron fueron analizados y comparados con los resultados físicos que fueron adquiridos en el laboratorio de alta tensión de la UPS (Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil) [8].

Por lo tanto, este estudio ayudará a entender lo importante de llevar un control total de funcionamiento y envejecimiento de nuestros transformadores de potencia.

Es necesario destacar que a veces algunos procedimientos o ensayos no son suficientes para determinar efectivamente el estado real del transformador de potencia.

II. Estado del Arte

Un trabajo donde establecen normas y un procedimiento para el personal autorizado, jefes o directivos del establecimiento a manejar los equipos primarios de una subestación eléctrica, a actuaren el caso de algún daño, accidente u otro desperfecto que ocurra en algún equipo primario de la subestación eléctrica [8].

También dan a conocer que los diferentes tipos de mantenimientos deben efectuarse de acuerdo con la necesidad de los diferentes equipos eléctricos, así como también sus niveles de productividad y eficiencia [9].

Es importante documentar los resultados de las evaluaciones eléctricas que se efectúan en procesos preventivos a los que son sometidos los transformadores de potencia para analizar minuciosamente y lograr obtener una tendencia que estime el envejecimiento para así dar paso a uno de los mantenimientos; correctivo o preventivo

La valoración del comportamiento del envejecimiento de los transformadores de potencia se obtendrá a través de tendencias de los parámetros de la prueba eléctrica cromatografía, implementando un algoritmo y así compararlos con los diversos estándares y normativas técnicas que existen.

III. Marco Teórico

Transformador de Potencia

Dentro de los sistemas eléctricos de potencias (SEP), los transformadores de potencia tienen un papel primordial al ser indispensables para la transmisión de energía eléctrica a través de largas distancias, permitiendo que la energía generada en los centros de producción llegue a los consumidores. Por lo tanto, los transformadores de potencia son considerados como elementos clave dentro del equipamiento primario del SEP. La calidad y continuidad del servicio eléctrico depende en gran medida del buen estado de estos equipos [10].

| DATOS DEL TRANSFORMADOR **INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE** | | | |
|----------------------------------------------------------------------|---------------------------|-------------------------|-------------------------------|
| Equipo: | Transformador de Potencia | Año de Fabricación: | - |
| Ubicación: | S/E Tecnova | Fabricante: | Weg |
| Tensión: | 69000/13800 V | Serie: | XA 2048A001 |
| Potencia: | 7 MVA | Vol. Aceite: | - |
| Equipo con carga: | - % | Temp. Aceite en equipo: | - °C |
| | | Observaciones: | Tamb: - °C H _R : - |
| CONDICIONES AMBIENTALES | | Presión Atm.: | 736.0 hPa |
| | | Presión Atm.: | 552.0 mmHg |
| | | Temperatura: | 22 °C |
| | | Humedad: | 57% |

Gráfico N° 1 Datos del Transformador en estudio

Las características principales que se requieren especificar para adquirir un transformador y aplicarlo adecuadamente a la red eléctrica, son las siguientes: Capacidad, Frecuencia, Tensión del devanado primario, Tensión del devanado secundario, Cambiador de derivaciones, Número de fases, Conexión del primario y del secundario, Porcentaje de impedancia, Pérdidas en vacío y con carga, Tipo de enfriamiento. Estos datos se muestran en el gráfico 1:

TIPOS DE FALLAS DEL TRANSFORMADOR

Cuando el transformador entra en funcionamiento, el núcleo de las bobinas es sometidas a distintos tipos de trabajos forzados, tales como: el caldeo de las bobinas debido a excesos de carga, fallas ocasionadas por el flujo de corrientes, deterioro de la ventilación adecuada, oscilaciones, entre otros. Todos estos factores pueden afectar la eficiencia y la vida útil del transformador.

Por lo general, estas fallas en los transformadores de potencia se dan ya sea de manera interna y externa, dependiendo la zona de protección, es decir, que la zona se definirá por el área de los transformadores de potencia y los datos de decisión al regulador. Es importante asegurar que esta zona esté adecuadamente aislada con la menor cantidad de desconexiones de interruptores posibles. Como se muestra en la Gráfico 1.

Fallas internas

Todas estas fallas internas por lo general se ocasionan internamente en la zona de defensa del transformador de potencia.

Se pueden clasificar en dos grupos; las fallas incipientes, las cuales se desarrollan lentamente pero que pueden convertirse en fallas irreversibles, y las fallas activas, que son causadas por la avería en el aislamiento u otros componentes del transformador [7] como se muestra en la Gráfico 2.



Gráfico N° 2 Falla Interna del Transformador

Fundamentos Teóricos del Software Matlab

Matriz Laboratory como originalmente se lo conoce al programa MATLAB el cual proporciona de manera general el uso de conocimientos en las áreas de la ingeniería y la ciencia con un desenvolvimiento en cálculos técnicos para los que fueron creados.

IV. Materiales y Métodos

La investigación se basará en diferentes metodologías que emplean el personal o las fábricas autorizadas para la adquisición de información sobre las pruebas cromatográficas de gases en los transformadores de potencia, esta prueba es esencial para conocer los niveles de los gases que se encuentran en el aislamiento, esta información adquirida se la denominará adquisición de datos.

En la Gráfico 3, se puede observar los parámetros de la prueba de cromatografía de gases, fueron digitalizados en un software de conveniencia Microsoft Excel, luego se procedió a filtrar los datos en válidos y datos no válidos, y se verificaron de acuerdo con la normativa a verificar si se encuentran en los rangos estipulados.

| |
|---------------------------|
| Hydrogen (H_2) |
| Oxygen (O_2) |
| Methane (CH_4) |
| Carbon Monoxide (CO) |
| Carbon Dioxide (CO_2) |
| Ethylene (C_2H_4) |
| Ethane (C_2H_6) |
| Acetylene (C_2H_2) |
| Nitrogen (N_2) |

Gráfico N° 3 Parámetros Cromatográficos empleando un TM8

Una vez filtrados los datos se procesarán en MATLAB y se aplicarán varios métodos de regresión para visualizar las tendencias o la proyección que arrojan los datos de los parámetros de la prueba de cromatografía, a través de curvas y gráficas.

Este equipo TM8 mide todos los gases que son emitidos al interior del transformador de potencia cuando existe una falla, empleando un solo sistema de medición de cromatografía de gases (CG) tal como se indica en la Gráfico 4, esta medición es aceptada para los DGA y están específicas con sus respectivas normas como son; IEEE, ASTM, CIGRE e IEC [9].

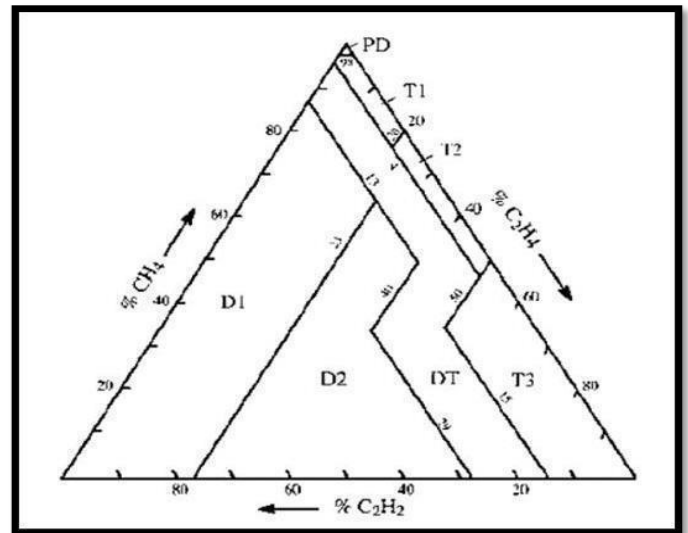


Gráfico N° 4 Triángulo de Duval

El método del triángulo de Duval es un diagnóstico que se emplea para el diagnóstico para aceite aislado en equipos de alta tensión, se emplea principalmente en los transformadores de potencia [11], la ubicación del punto de falla se realiza por el porcentaje relativo de los 3 gases en cada lado del triángulo de 0 a 100% tal como se indica en la Gráfico 4 [10].

Da a conocer que mediante la obtención de datos de una subestación eléctrica se puede aplicar el método de varianzas o más conocido como método ANOVA que sirve para el levantamiento de datos en un modelo lineal y este logra obtener una tendencia de una prueba en específica con una variación de dos tercios en las referencias, en este caso se basaron de las pruebas de termografías para así ver una tendencia de la corriente en una línea de transmisión, pero el modelo aplicado no es suficiente para planificar un mantenimiento [11].

En el 2016 el equipo de estudio de Hao realizó una revisión bibliográfica donde aplicaron Ecuaciones Diferenciales Estocásticas (SDE) donde se obtuvieron efectos sobre la estabilidad de un sistema eléctrico con los resultados de sus análisis y predicciones. El método empleado es a través de cromatografía de gases, realizados continuamente con equipos especializados, dependiendo la cantidad de gases que se comparen es un método muy seguro empleado con bajo porcentaje de error [12].

La cromatografía de gases consiste en comparar gases como el hidrogeno, metano, monóxido de carbono, dióxido de carbono, etileno, etano y acetileno.

Modelos de tendencias

Los modelos numéricos, descriptivos o estadísticos lo que buscan es valorar la conducta de los datos futuros y los del pasado para desde esos resultados encontrar el análisis adecuado, para ellos se utilizaron diferentes tipos de modelos de tendencias como el modelo de Retracción Lineal, el cual es un proceso implica la construcción lineal que se acople a los datos y que se emplea para pronosticar los valores del primer foco de investigación [13].

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_p x_p + \varepsilon \quad (1)$$

Regresión Logarítmica: Es de gran utilidad cuando los cambios de datos tienen una tendencia de movimientos aleatorios y luego se estabiliza, por lo tanto, esta tendencia suele ser negativa o positiva de acuerdo a los resultados.

$$y_t = b + a \ln x + \varepsilon \quad (2)$$

Con estos modelos se plantea estudiar y describir un modelo que permita establecer el envejecimiento del aceite dieléctrico del transformador de potencia.

Algoritmo Matlab

MATLAB es un software integrado lleno de una amplia variedad de herramientas numéricas, simbólicas y gráficas para la solución de problemas matemáticos. Estas funciones vienen ya incluidas en el programa, lo que lo hace muy útil para resolver diferentes tipos de problemas en poco tiempo. El lenguaje que utiliza MATLAB es propio del software de programación y está basado en otros lenguajes, como C o FORTRAN. A través de este programa informático se pueden llevar a cabo diversas tareas.

Los sistemas de ecuación - Modelo Matemático

Para la elaboración de este documento se ha utilizado la herramienta Matlab, la cual consiste en un sistema con un modelo matemático que brinda un ambiente desarrollado integrado de lenguaje de sistematización único.

Este software incluye diversas herramientas para la programación, el diseño de interfaces de usuario y la comunicación con otros dispositivos.

Este software cuenta con su propio lenguaje de programación visual, que ayuda a diseñar algoritmos y modelos. Además, brinda muchas opciones para la exploración de datos y la visualización de gráficas, así como la combinación de diferentes hardware y otro tipo de lenguajes donde se presenta un resumen de las principales características y funcionalidades del software. [14]

Simulink es una plataforma toolbox de programación visual que sirve como simulación en los comportamientos dentro de los sistemas dinámicos, Simulink coopera en el entorno de sistematización Matlab. Esta herramienta permite simular sistemas y modelos de acuerdo con los niveles de abstracción de las anomalías físicas que intervienen. La construcción de los sistemas está basada en el énfasis que se coloquen en la evaluación de los eventos.

Es posible generar, diseñar y mantener un diagrama detallado de bloques del sistema mediante la utilización de un amplio conjunto de bloques que ya se encuentran predefinidos.

Simulink consta de múltiples funciones que se utilizan en el modelaje de un sistema. Estas incluyen:

| | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| Bloques dinámicos continuos y discretos, como el de integración y el de retardo de la unidad | Bloques de algoritmos, como el de suma, el de producto y el de tabla de búsqueda | Bloques estructurales, como MUX, interruptor y selector de bus |
| Pueden personalizarse los bloques integrados o crear nuevos bloques directamente en Simulink e introducirlos en las bibliotecas propias | | |
| Definición de control de señales y parámetros. | | |

Tabla 1 Modelaje de Sistema

Simulink es un instrumento que se utilizar para realizar modelados, análisis y simulaciones mediante los diagramas de bloque como modelos de multidominios, dando apertura a la creación de librerías de bloque de diversos tipos. Esta herramienta ayuda a evaluar y diagnosticar a tiempo los problemas existentes en este caso dentro del transformador de potencia y a su vez hacer la comprobación de las condiciones de este.

Esta herramienta cuenta con un comportamiento dinámico el cual permite ver los análisis y resultados en tiempo real [10].

Simulink cuenta con tres interfaces que permiten la primera; realizar el análisis matemático, la segunda ejecutar ecuaciones según los parámetros ingresados y la tercera el modelo gráfico. Estos análisis pueden variar en función de la configuración de los transformadores que se vayan a analizar y del tipo de conexión que se establezca entre ellos.

Al momento de ejecutar el programa aparecerá la primera interfaz, la cual será la de exposición de datos informativos, además poseerá dos "Push Button" uno que permite la entrada de datos mediante un archivo de Excel, y el otro que permite guardar los datos de manera manual.

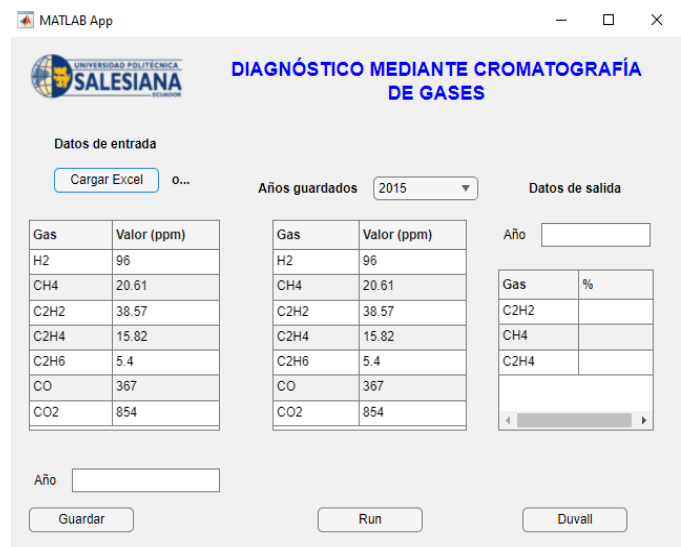


Gráfico N° 5 Ventana para el ingreso de parámetros

Si se escoge el ingreso manual, se deben llenar los datos como se muestra en el gráfico 6, para posteriormente presionar el “push button” guardar.

Gráfico N° 6 Ingreso de Parámetros

Al momento de ingresar los datos, se puede verificar en la tabla de la parte derecha qué años han sido guardados para el análisis.

Luego se procede a presionar el botón “Run”, el cual abre 3 nuevas ventanas, las cuáles son:

- Curva de aproximación para C_2H_2
- Curva de aproximación para CH_4
- Curva de aproximación para C_2H_4

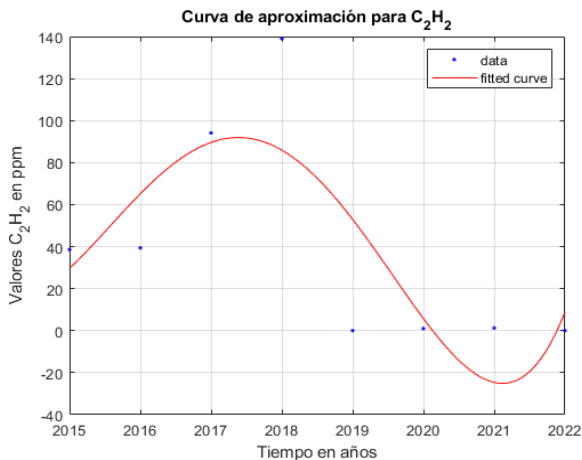


Gráfico N° 7 Curva de aproximación para C2H2

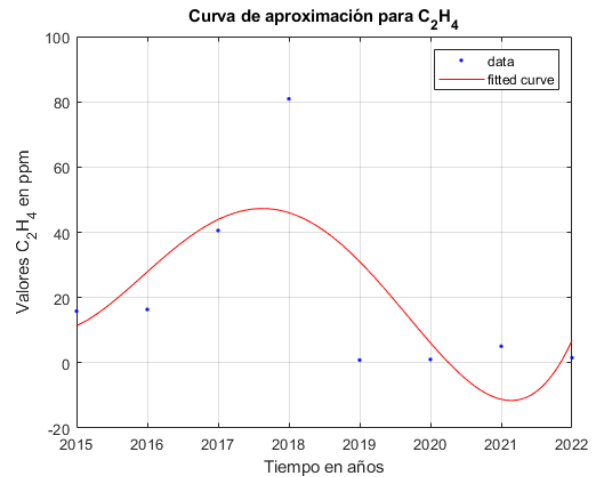


Gráfico N° 8 Curva de aproximación para CH4

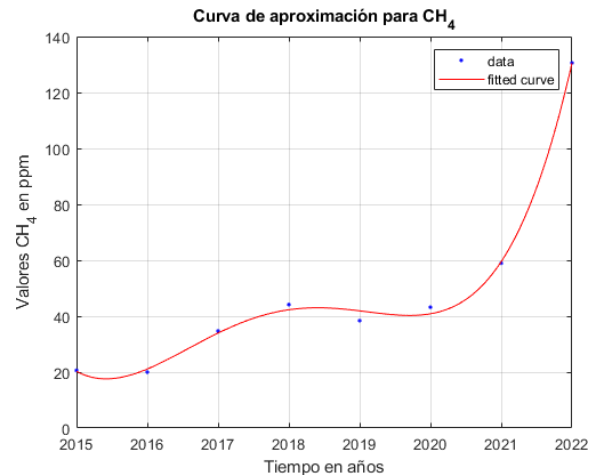


Gráfico N° 9 Curva de aproximación para CH4

En la imagen, se puede apreciar tanto la curva de aproximación de cada uno de los gases de importancia para el triángulo de Duvall (fitted curve), así como también los valores ingresados de manera manual (data).

Volviendo a la pestaña inicial, se puede obtener tanto los valores en porcentaje de los gases utilizados en el triángulo de Duvall como lo muestra la gráfica 10, así como también la ubicación de estos en el triángulo de Duvall como lo muestra la gráfica 11.

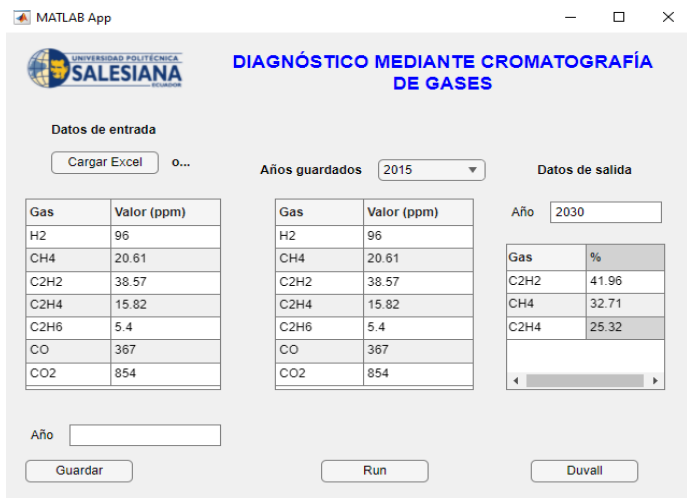


Gráfico N° 10 Datos de salida: año 2030

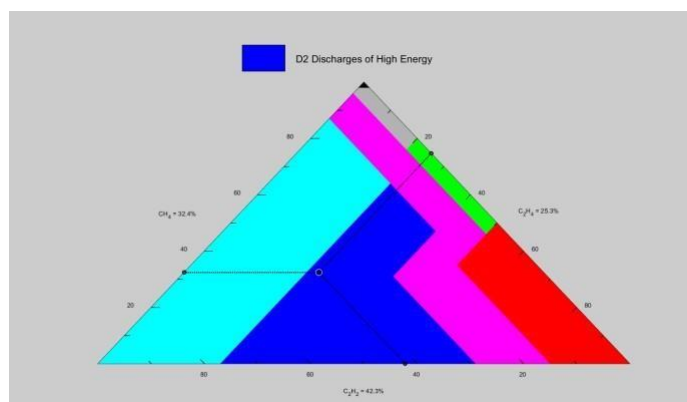


Gráfico N° 11 Diagnóstico utilizando el Triángulo de Duvall, para el año 2030

Utilizando esta interfaz, se puede obtener una predicción del transformador para un determinado año. Mediante este algoritmo Matlab se hará la valoración del Transformador de Potencia S/E Tecnova Serie XA 2048A001.

V. Resultados y Discusión

Luego de ver el funcionamiento del algoritmo Matlab se realizó la valoración de la proyección del Tiempo de vida útil mediante la prueba de cromatografía en el transformador de potencia S/E Tecnova Serie XA2048A001 el cual dicha valoración se hizo en el laboratorio SertinLab mismo que cuenta con una certificación mediante Servicio de Certificación Ecuatoriano, con Registro N° OAE LEC C 10- 014.

A continuación, se interpretan los valores arrojados desde el laboratorio de acuerdo con los parámetros de análisis en la Tabla 2.

| | | | |
|--------------------------------------|----------|------------------------|----------------------------------|
| Vol. Muestra de Aceite | 30cm3 | Presencia de eBurbuja: | NO |
| Porcentaje de Gases Disueltos | 9,4% | Método ASTM | ASTM 03612- MétodoC (modificado) |
| Gases No Combustibles | 93987ppm | Método Interno: | PEE/SERT/10 |
| Gas Combustibles (GC) | 191ppm | | |

Tabla 2 Parámetros de Análisis

De acuerdo con estos parámetros de análisis se realizó la respectiva valoración del transformador de potencia de S/E Tecnova Serie XA 2048A001 utilizando el Método ASTM D2612 – Método C (Modificado) el cual especifica el uso de muestreo automatizado del espacio de cabeza del aceite del transformador, lo que permite un mayor rendimiento en comparación con otros métodos de muestreo para los análisis DGA, como la extracción por vacío o el uso de una columna separadora.

De acuerdo con el método IEEE C57.104-2008 y por los niveles de seguridad otorgados por Schaffer Morgan, la producción de gases de acuerdo con los años de operación del transformador se encuentra dentro de los parámetros estándar es decir normales, por lo tanto, lo recomendable es hacer esta evaluación cromatográfica año a año con el fin de prevenir daños mucho más fuertes. A continuación, se muestran los porcentajes de gases combustibles arrojados en la prueba cromatográfica de acuerdo con los años de vida útil según su fabricante.

Como se observa en la Tabla 3, los resultados de las pruebas de Aceite Dieléctrico para Transformadores de gases disueltos. Esta evaluación permite descubrir todas las fallas internas del transformador de potencia. Estas fallas son producidas por este tipo de gases que generan daños de magnitud en los transformadores de potencia.

VI. Conclusiones

En el marco del estudio y de las fuentes de información consultadas, los principales obstáculos que afectan el rendimiento de los transformadores de potencia se deben al entorno de las cargas que producen sobretensiones momentáneas que alteran el funcionamiento interno del transformador y los productos químicos, que básicamente son: las reactivas, térmicas y eléctricas, incluyendo elementos externos como bushings, descargas atmosféricas. Afecta directamente a la vida útil del sistema de aislamiento.

Los componentes que suelen alterar a un sistema de aislamiento dentro de un transformador de potencia suelen ser varias de acuerdo los estándares o normas según las normativas vigentes eléctricas como: IEEE, ASTM, IEC y otros, normas que detallan sus resultados, estadísticas y pruebas que hacen mención principalmente al sistema de aislamiento (sólido y líquido), es por ello que cuando se menciona la vida útil del transformador no sólo se habla del transformador como tal sino también la relación del sistema de aislamiento y la del transformador, condiciones que aún no se logran solventar; ya que imposibilita sólo hacer el estudio únicamente del transformador de potencia.

Es recomendable de acuerdo a los estudios y pruebas realizadas en el laboratorio y debido al contenido de información que se proporcionó sobre las pruebas de cromatografía de aceites, que se realicen constantemente pruebas experimentales que comprueben el estado del transformador de potencia mediante las pruebas fisicoquímicas y pruebas dieléctricas, pero si se quiere evaluar la vida útil del aislamiento es recomendable que se realicen pruebas de análisis de furanos y gases disueltos, con el fin de tener un análisis preventivo.

RESULTADOS

| ITEM | PRUEBAS REALIZADAS | UNIDADES | MÉTODO | PARAMETROS REFERENCIALES (**) | RESULTADOS | INCERTIDUMBRE |
|------|----------------------|-----------------------------|--------------------------|----------------------------------------|-----------------|---------------|
| 1 | Color | Color ASTM | PEE/SERT/11 Ref.: D-1500 | - | < 1.5 | Cualitativa |
| 2 | Examen Visual | - | PEE/SERT/12 Ref.: D-1524 | - | Claro Brillante | Cualitativa |
| 3 | Gravedad Específica | adimensional | PEE/SERT/03 Ref.: D-1298 | - | 0.8822 | ± 0.0022 |
| 4 | Contenido de Agua | µg H ₂ O/g (ppm) | PEE/SERT/01 Ref.: D-1533 | Máximo: 35 | 22.17 | ± 2.04 |
| 5 | Rigidez Dieléctrica | kV | PEE/SERT/06 Ref.: D-877 | - | - | - |
| | | | ASTM D-1816 2 mm | Mínimo: 40 a 2 mm Mínimo: 23 a 1 mm | 34.8 | ± 5.2 |
| 6 | Punto de inflamación | °C | PEE/SERT/05 Ref.: D-92 | - | - | - |
| 7 | Viscosidad a 40 °C | mm ² /s (cSt) | PEE/SERT/08 Ref.: D-445 | - | - | - |
| 8 | Número de Acidez | mg KOH/g | PEE/SERT/04 Ref.: D-974 | Máximo: 0.200 | 0.01 | ± 0.0004 |
| 9 | Tensión Interfacial | mN/m (dinas/cm) | PEE/SERT/02 Ref.: D-971 | Mínimo: 25 | 36.02 | ± 0.61 |

Límites establecidos en la Norma IEEE C57.106-2015 para aceites minerales aislantes para uso continuo en equipos ≤69kV.

Los ensayos marcados con * NO están incluidos en el alcance de la acreditación SAE.

Observaciones y sugerencias técnicas informativas:

Por el índice de calidad: 3602 en este sentido el aceite esta Bueno, por lo que se sugiere realizar un seguimiento del contenido de agua en contraste con la rigidez dieléctrica y el posible aumento del número de acidez, por tanto, se requiere el dato de la temperatura del aceite a muestrear, para calcular el porcentaje de saturación del aceite. Es necesario también realizar un análisis físico- químico de control luego de un año.

Evaluar el rendimiento en cuanto a años de los transformadores de potencia en la actualidad sigue siendo un proceso complejo que requiere de muchas suposiciones, esto se debe a que debido a que se encuentran presentes factores que inciden al deterioro de diversas propiedades eléctricas y mecánicas de dichos transformadores, ya sea ésta de forma directa o indirecta. Sin embargo, se acepta que el estudio de la vida útil de los aisladores puede brindar información sobre las tendencias en la vida útil esperada de los compuestos de furano y los transformadores.

Este estudio ayuda al fortalecimiento de la tecnología porque mediante las pruebas de rutina realizadas a los transformadores de potencia se evalúan todos sus componentes mediante las pruebas fisicoquímicas y pruebas dieléctricas y furanos y de esa manera comprobar que dichos transformadores de potencia fueron creados con estándares y normas que verifican su vida útil tal cual como lo mencionan sus fabricantes.

Referencias Bibliográficas

- [1] S. U. Jan, Y. D. Lee, J. Shin y I. Koo, «Sensor Fault Classification Based on Support,» IEEE Access, pp. 8682-8690, 2017.
- [2] I. Taha B.M., S. S. Dessouky y S. Ghoneim S.M., «ScienceDirect,» 23 Octubre 2020.
- [3] R. D. Castillo Narváez y R. J. Sinchiguano Chiluisa, «BIBDIGITAL,» 09 Diciembre 2013.
- [4] K. J. Negrete Durazno y B. K. Morocho Ochoa, «Repositorio Institucional Universidad Poitécnica Salesiana,» 10 Diciembre 2019.
- [5] V. V. Kondalkar, J. Park y K. Lee, «Science Direct,» 30 Septiembre 2020.
- [6] S. Zhang, Y. Wang, M. Liu y Z. Bao, «Data-Based Line Trip Fault Prediction in Power Systems Using LSTM Networks and SVM,» IEEE Access, pp.7675-7686, 2017.
- [7] S. G. Alarcón Loza y E. A. Jiménez Pazmiño, «Repositorio Digital Universidad Politécnica Salesiana,» 25 Septiembre 2018.
- [8] L. R. Jaramillo Carrión y L. B. Miño Santander, «Universidad de Cuenca Repositorio Institucional,» 1 Octubre 2018.
- [9] O.-L. SERVERON TM8, «Protect Transformer Assets,» SERVERON A QUALITROL Company, pp. 1-6,2021.
- [10] S. A. TransEquipos, «Slideshare a Scribd Company,» 18 Octubre 2018.
- [11] A. Carrera Gómez, «El Instituto Politécnico Nacional Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura Unidad Zacatenco,» N.N. Marzo 2013.Ingeniería y Arquitectura Unidad Zacatenco,» N.N. Marzo 2013.
- [12] P. Westerlund, P. Hilber y T. Lindquist, «Prediction of current in a substation in order to schedule thermography,» IEEE, pp. 1-7, 2016.
- [13] J. Hao, L. Hui, W. Linlin y X. Haixiang, «Literature Review of Power System Stochastic Stability,» IEEE, pp. 1-4, 2016.

