

Diagnosis of the State of Distribution Transformers Through the Frequency Response Analysis Test

Diagnóstico del Estado de Transformadores de Distribución Mediante el Ensayo de Análisis de Respuesta en Frecuencia

 S. Peñafiel¹

 P. Otero¹

 F. Perez¹

¹Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador

E-mail: selene.penafiel@epn.edu.ec; patricia.otero@epn.edu.ec; fabian.perez@epn.edu.ec

Abstract

In this document which made an analysis of the SFRA theoretical framework explain the methodology of the test, it uses technical documents about the execution and interpretation of SFRA. Subsequently, three distribution transformers will be diagnosed with the frequency sweep method. An operator, who implement this test, must use measuring equipment with international certifications and should utilize the IEEE C57.149 standard as a guide because SFRA is a relatively new test in the country. Essays like the SFRA, guarantee the detection of minimal damage in the equipment, ensuring a correct diagnostic of the transformer and thus generating scheduled maintenances of times and lower cost.

Index terms— transformer, diagnostic test, SFRA, IEEE C57.149.

Resumen

En este documento se realizará un análisis del marco teórico que rige SFRA y se ilustrará su metodología, a través de documentos técnicos relacionados exclusivamente con la ejecución e interpretación del ensayo. Posteriormente, a través de equipos de medición con certificaciones internacionales y que aseguran el cumplimiento de parámetros detallados en normas IEC e IEEE, se ejecutara el ensayo de diagnóstico en 3 transformadores de distribución, para luego dar paso al diagnóstico de estos equipos, tomando como guía la norma IEEE C57.149. Ensayos como el Análisis de Respuesta en Frecuencia (SFRA), garantizan la detección de mínimos daños en la estructura del equipo, asegurando un correcto diagnóstico del transformador y por ende generando a su vez mantenimientos programados de tiempos y costos menores.

Palabras clave— transformador, ensayo de diagnóstico, SFRA, IEEE C57.149.

Recibido: 24-04-2023, Aprobado tras revisión: 14-06-2023

Forma sugerida de citación: Peñafiel, S.; Otero, P.; Pérez, F. (2023). “Diagnóstico del Estado de Transformadores de Distribución Mediante el Ensayo de Análisis de Respuesta en Frecuencia”. Revista Técnica “energía”. No. 20, Issue I, Pp. 26-32

ISSN On-line: 2602-8492 - ISSN Impreso: 1390-5074

Doi: <https://doi.org/10.37116/revistaenergia.v20.n1.2023.581>

© 2023 Operador Nacional de Electricidad, CENACE



1. INTRODUCCIÓN

SFRA es una prueba no intrusiva y no destructiva que permite determinar la condición mecánica del transformador, haciendo uso de señales de amplio espectro de frecuencia y baja energía [1]; entre los principales factores que pueden alterar la condición del transformador están: golpes o deformaciones que ocurren durante el transporte, fenómenos externos, reubicación, condiciones de operación, entre otros. Este ensayo tiene una alta sensibilidad, capaz de detectar hasta los cambios más sutiles en la estructura del transformador, previniendo así grandes fallas que a largo plazo terminen por comprometer la eficiencia o vida útil del equipo.

La aceptación de SFRA ha crecido en el sector eléctrico en los últimos años gracias a la introducción de diversas normas y folletos técnicos que permiten implementar este ensayo en la industria de forma óptima, y a su vez han sido herramientas que hacen posible una correcta interpretación de los resultados obtenidos en dichas pruebas.

En el año 2004 la República Popular China promulgo la primera norma enfocada en el SFRA, DLT 911-2004 estableció criterios normalizados para la ejecución del ensayo y además presento un algoritmo de análisis de resultados. La norma IEEE C57.149-2012 fue publicada por el comité de transformadores de la Power and Energy Society de IEEE como una guía para la aplicación e interpretación de SFRA en equipos sumergidos en aceite. Otra de las herramientas más empleadas a la hora de realizar ensayos SFRA, es el folleto técnico 342 publicado en el 2008 por el Consejo Internacional de Grandes Sistemas Eléctricos (CIGRE), en el cual se señalan varios casos prácticos y problemas reales con sus respectivas interpretaciones, este folleto sirvió como base de partida para la publicación de normas IEC e IEEE.

2. FUNDAMENTO TEÓRICO

En señales de baja frecuencia los transformadores son representados con elementos resistivos e inductivos (Ver Fig. 1); una vez se incrementa la frecuencia los efectos capacitivos entre devanados, espiras y cuba se magnificarán, añadiendo al modelo elementos capacitivos; mientras más elementos se consideren dentro del modelo RLC este será más preciso (Ver Fig. 2) [2].

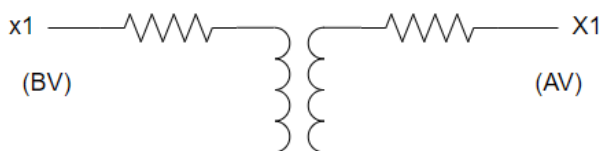


Figura 1: Modelo de Baja Frecuencia de un Transformador Monofásico [2]

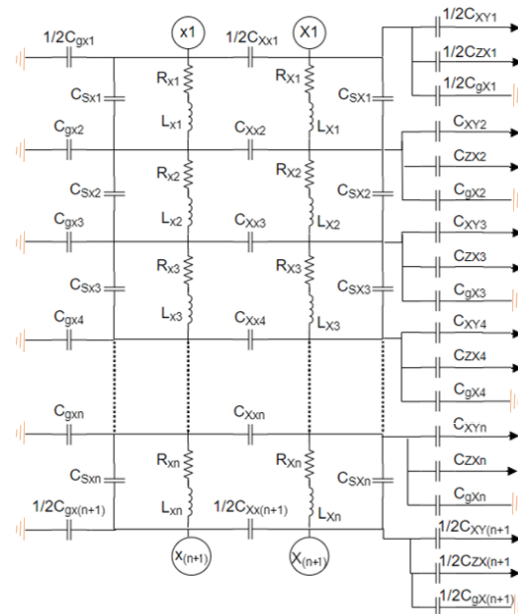


Figura 2: Modelo de Alta Frecuencia de un Transformador Monofásico [2]

Donde los elementos distribuidos del modelo de alta frecuencia son:

- C_{gxn} : Capacitancia entre el devanado de baja y tierra.
- C_{Sxn} : Capacitancia entre vueltas sucesivas del devanado.
- C_{Xxn} : Capacitancia entre el devanado de alto y bajo voltaje.
- C_{XYn}, C_{XZn} : Capacitancia entre el devanado de alto voltaje y las demás fases.
- C_{gXn} : Capacitancia entre el devanado de alto voltaje y la cuba del transformador.
- R_{xn} : Resistencia de cada sección del conductor.
- L_{xn} : Inductancia de cada sección del conductor.

Al someter al transformador al ensayo SFRA para analizar los cambios que pueda sufrir en su condición mecánica, el modelo equivalente se representará como una impedancia diferente para cada una de las frecuencias, de modo que ante cualquier deformación en la geometría del sistema cambiara el circuito RLC, junto con su respuesta en frecuencia.

Debido a la complejidad del nuevo modelo del transformador ante altas frecuencias, resulta imposible resolver el sistema anterior haciendo uso de métodos convencionales; por esta razón, para efectuar un análisis en frecuencia se considera al transformador como un circuito de dos puertos y se procede a aplicar la teoría de cuadripolos bajo las siguientes consideraciones [2]:

- Considerar al transformador como un cuadripolo e identificar sus puertos de entrada y salida (Ver Fig. 3).

- Pasividad: Conformado exclusivamente por componentes pasivos (resistencias, inductancias y capacitancias), sin fuentes o componentes invariantes en el tiempo.
- Bilateralidad: Se obtendrán los mismos resultados sin importar el puerto en el que se aplique la excitación.

Bajo la anterior premisa para llevar a cabo el ensayo SFRA, en el terminal de entrada se aplica un voltaje sinusoidal de amplitud baja y fija, con una frecuencia variable que va generalmente en el rango de 20 Hz a 2 MHz; obteniendo así una función de transferencia T bajo la relación del voltaje medido en el terminal de salida con el inyectado en el puerto de entrada [3].

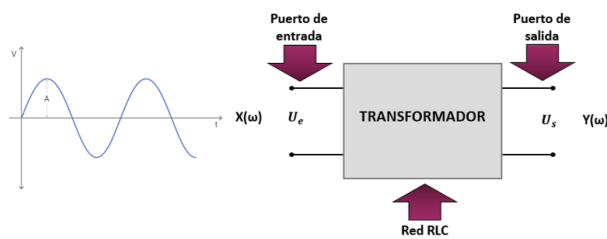


Figura 3: Modelo de Cuadripolo del Transformador Bajo Ensayo SFRA [2]

Función de Transferencia:

$$T = \frac{U_e}{U_s} \quad (1)$$

Al ser T un número complejo por tener voltajes sinusoidales interactuando, este podrá ser representado gráficamente mediante un diagrama de Bode. El ensayo SFRA permite obtener gráficas de magnitud y fase, estas gráficas obedecen a las ecuaciones (3) y (5):

Módulo de la función de transferencia:

$$|T(\omega)| = \left| \frac{U_{e(\omega)}}{U_{s(\omega)}} \right| \quad (2)$$

$$|T(\omega)| = 20 \log_{10} \left| \frac{U_{e(\omega)}}{U_{s(\omega)}} \right| = -20 \log_{10} \left| \frac{U_{s(\omega)}}{U_{e(\omega)}} \right| \quad (3)$$

El cambio de escala que se aplica al módulo a una escala logarítmica de base 10, se realizará con el objetivo de tener una mejor resolución en el eje de las abscisas.

Fase de la función de transferencia:

$$\varphi T(\omega) = \frac{\varphi U_{e(\omega)}}{\varphi U_{s(\omega)}} \quad (4)$$

$$\varphi T(\omega) = \arctg \frac{U_{e(\omega)}}{U_{s(\omega)}} \quad (5)$$

A. Configuraciones de SFRA

Existen diversas configuraciones de SFRA, mismas que permiten obtener resultados en las diferentes bandas de frecuencia, entregando una respuesta más detallada del estado exacto de los equipos de interés. Teniendo en cuenta que el Análisis de Respuesta en Frecuencia brinda información sobre los más mínimos cambios en la estructura del transformador y ha demostrado ser un ensayo que disminuye tiempos de desconexión durante mantenimientos, es necesario tomar tiempo adicional y realizar las cuatro configuraciones descritas a continuación.

1) *Admitancia de Circuito Abierto - Yo*: La configuración de Yo se ejecuta desde el extremo de un devanado a otro extremo, con todos los otros terminales flotando. Este tipo de medición es aplicable tanto a transformadores monofásicos como transformadores trifásicos y se puede clasificar en las siguientes categorías: devanados de bajo voltaje, devanados de alto voltaje, devanados terciarios, devanados serie y devanados comunes (las dos últimas categorías aplican para autotransformadores). La respuesta en baja frecuencia está caracterizada por la impedancia de magnetización del transformador; en consecuencia, el objetivo de esta prueba es determinar los modos de falla que afectan el circuito magnético del transformador.

2) *Admitancia de Cortocircuito - Ycc*: La ejecución de la configuración Ycc se da en dos de los extremos de alto voltaje, en uno de ellos se conecta la fuente de voltaje y el otro extremo sirve de salida, al mismo tiempo el devanado de bajo voltaje del transformador está en cortocircuito. Esta prueba permite recopilar información sobre la impedancia de dispersión a bajas frecuencias, eliminando la influencia del núcleo y por ende la incertidumbre que el magnetismo residual genera en la configuración Yo, gracias a que la influencia de este por debajo de 10 – 20 kHz es imperceptible.

3) *Interdevanado Capacitivo - IC*: La medición de la configuración IC se realiza entre dos devanados eléctricamente aislados, la señal de voltaje se aplica en el extremo de un devanado y su respuesta se mide en el devanado opuesto de la misma fase, con todos los otros terminales flotando. Esta configuración no es aplicable para autotransformadores, IC presenta altas impedancias a bajas frecuencias (< 100 Hz) y una disminución considerable de las mismas (valor absoluto de la impedancia) a medida que aumenta la frecuencia. El aislamiento interdevanado es el factor que más influye a la hora de la toma de mediciones en esta configuración, la señal de salida en IC es generada principalmente por el acoplamiento capacitivo de las capas de los interdevanados.

4) *Interdevanado Inductivo - II*: La configuración II se realiza entre dos devanados de la misma fase; en uno de los terminales del bobinado de alto voltaje se conectará la fuente de frecuencia variable, mientras que su otro extremo se conecta a tierra, así mismo en el bobinado de bajo voltaje uno de sus terminales será usado para medir la señal de salida y el otro extremo deberá estar conectado a tierra; el resto de terminales de los otros bobinados que no sean usados deben permanecer flotando.

B. Relación de SFRA con otras Pruebas

Existen varias pruebas eléctricas a frecuencia industrial capaces de detallar distintos problemas en el transformador; cada una de las configuraciones de SFRA es comparable a una prueba en particular.

Tabla 1: Configuraciones del Ensayo SFRA en su Correspondencia con Distintas Pruebas Eléctricas a Frecuencia Industrial

Ensayo SFRA		Estructura Diagnosticada	Ensayo Semejante
Configuración	Admitancia de Circuito Abierto - Yo	Núcleo y devanados	Corriente de excitación
	Admitancia de Cortocircuito - Ycc	Devanados (Reactancia Xcc)	Reactancia de dispersión
	Interdevanado Capacitivo - IC	Aislamiento interdevanado (Capacitancia)	Capacitancia y tg δ
	Interdevanado Inductivo - II	Relación de espiras (Inductancia)	Relación de transformación

El ensayo SFRA entregara un diagnóstico de transformadores mediante respuestas gráficas, por ello si se requiere, se pueden ejecutar las pruebas equivalentes con el objetivo de recopilar información en valores numéricos sobre las anomalías que el equipo presente.

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En esta sección se presentan los resultados del ensayo para cada uno de los transformadores previamente seleccionados [1][4]. La interpretación de las trazas obtenidas en las diferentes mediciones del ensayo y el diagnóstico de los transformadores, son actividades que se desarrollará tomando como guía la guía de fallos de la norma IEEE C57.149 [3][5].

A. Transformador 1

El primer transformador de distribución que fue sometido al ensayo SFRA es un equipo de la marca TPL S.A.

Tabla 2: Datos de Placa del Transformador TPL S.A.

Marca:	TPL S.A.	Año de Fabricación:	1982
Tipo:	Convencional	Nº Fases:	3



Potencia:	75 kVA	Grupo de Conexión:	Dyn5
Voltaje Primario:	13,2 x 22,8 kV	Voltaje Secundario:	210/121 V
Impedancia:	2,88 %	BIL:	150/30 kV
Frecuencia:	60 Hz	Nº Taps:	5
Refrigeración:	ONAN	Peso Total:	658 kg
Aceite:	Mineral	Volumen del Aceite:	219 l

Dados los resultados obtenidos en las configuraciones Yo y Ycc, las variaciones de las respuestas de SFRA para IC e II no resultan tan relevantes para dar con el diagnóstico del transformador. Los ensayos iniciales muestran fallas solidas en la estructura del equipo, por lo que las variaciones de las curvas en interdevanado capacitivo e inductivo solo confirman dichas fallas

Al observar la Fig. 4 se aprecia claramente, que la fase H2 en la banda de baja frecuencia tiende a tomar un comportamiento propio de la configuración Ycc, esta variación de las respuestas de Yo puede ser atribuida a la eliminación del efecto de la reluctancia del núcleo. Los dos posibles modos de fallo que afectarían las curvas SFRA bajo el criterio antes mencionado son, un posible defecto del núcleo o un cortocircuito entre espiras.

Aparentemente el equipo pudo estar expuesto a una sobrecorriente que genero cortocircuitos entre las láminas de la estructura del núcleo y cortocircuitos entre espiras.

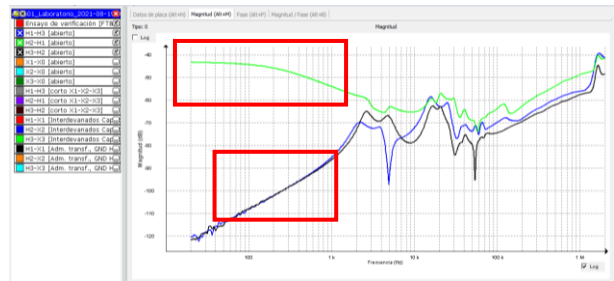


Figura 4: Curvas Magnitud vs Frecuencia de SFRA, Configuración Yo, Conexiones en AV (H1, H2 y H3) – Comportamientos Atípicos de las Trazas

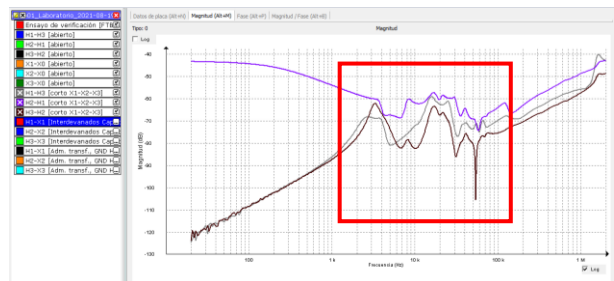


Figura 5: Curvas Magnitud vs Frecuencia de SFRA, Configuración Ycc para H1, H2 y H3 – Comportamientos Atípicos de las Trazas

Otro modo de fallo que podría haber afectado al equipo, es el de devanado en circuito abierto, al observar la Fig. 5 se aprecia como la traza de H3 presenta nuevos puntos de inflexión en las bandas de media y alta frecuencia; así mismo, en la Fig.4 la eliminación de las resonancias de baja frecuencia en las trazas de Y_o comprueban la existencia de dicha falla en el transformador.

B. Transformador 2

El segundo transformador de distribución que fue sometido al ensayo SFRA es un equipo de la marca RVR.

Tabla 3: Datos de Placa del Transformador RVR

Marca:	RVR	Año de Fabricación:	2021
Tipo:	Convencional	Nº Fases:	3
Potencia:	75kVA	Grupo de Conexión:	Dyn5
Voltaje Primario:	22,86 kV	Voltaje Secundario:	220 V
Impedancia:	3,30 % a 85°C	BIL:	125/30 kV
Frecuencia:	60 Hz	Nº Taps:	5
Refrigeración:	ONAN	Peso Total:	460 kg
Aceite:	Mineral	Volumen del Aceite:	155 l

Bajo un análisis basado en el diseño del transformador, las variaciones encontradas en las respuestas de Ycc dejan ver claramente la presencia de una falla en la estructura del equipo (Fig. 6). El desplazamiento de las resonancias en la banda de media frecuencia (pasando posiblemente hasta por desapercibidas al ser tan mínimos) y los puntos de inflexión nuevos en altas frecuencias en la curva de H1, apuntan a la resistencia de contacto como el modo de fallo causante de dichas alteraciones.

La presencia de este tipo de falla en transformadores puede ser atribuido a conexiones flojas, corrosión o acoplamientos de metal que conecten los bujes a los devanados.



Figuras 6: Curvas Magnitud vs Frecuencia de SFRA, Configuración Ycc para H1, H2 y H3 – Comportamientos Atípicos de las Trazas

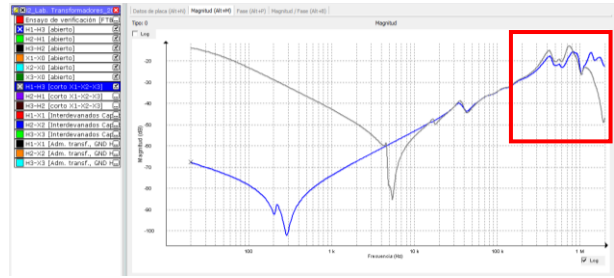


Figura 7: Curvas Magnitud vs Frecuencia de SFRA, Medida de la Fase H1 en Ycc Superpuesta a la Medida de H1 en Yo – Comportamientos Atípicos de las Trazas

C. Transformador 3

El tercer transformador de distribución que fue sometido al ensayo SFRA es un equipo de la marca ECUATRAN.

Tabla 4: Datos de Placa del Transformador ECUATRAN

Marca:	ECUATRAN	Año de Fabricación:	2018
Tipo:	Convencional	Nº Fases:	3
Potencia:	75 kV	Grupo de Conexión:	Dyn5
Voltaje Primario:	22,86 kV	Voltaje Secundario:	220/127 V
Impedancia:	2,9 %	BIL:	150/30 kV
Frecuencia:	60 Hz	Nº Taps:	5
Refrigeración:	ONAN	Peso Total:	528 kg
Aceite:	Mineral	Volumen del Aceite:	180 l

Tres de las cuatro configuraciones de SFRA presentaron alteraciones en su respuesta durante la ejecución del ensayo en este transformador. Al analizar las variaciones existentes entre trazas de cada configuración, se concluyó que, el desplazamiento entre fases en la configuración Ycc, acompañado de los nuevos puntos de inflexión producidos en la banda de media frecuencia, específicamente en la fase H2 (Fig. 8), indicarían un desplazamiento en este devanado.

Es importante mencionar que, al hacer referencia a un desplazamiento del bobinado, se habla de un movimiento general de este o parte de él, sin la presencia de deformaciones en la estructura del núcleo. Este modo de fallo se atribuye a movimientos fuertes durante el transporte o a fuerzas producidas por altas corrientes.



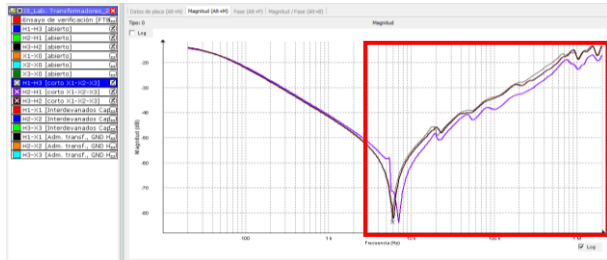


Figura 8: Curvas Magnitud vs Frecuencia de SFRA, Configuración Ycc para H1, H2 y H3 – Comportamientos Atípicos de las Trazas

Si bien la configuración de II no muestra alteraciones en las trazas, un comportamiento lineal en la banda de media frecuencia de H2 en la configuración IC, ratifica la sospecha de la presencia de daños en la estructura del equipo.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Para que el transformador pueda ser sometido al ensayo SFRA; es decir, que se inyecte a uno de sus terminales voltajes sinusoidales en un amplio rango de frecuencias, el transformador deberá ser analizado desde el punto de vista de la teoría de cuadripolos. La aplicación de frecuencias variables, específicamente altas frecuencias, obligan al dejar de lado la concepción de diagramas circuitales simples y modelos matemáticos que empleaban exclusivamente elementos pasivos tipo R y L; ahora bajo la inyección de altas frecuencias es necesario ver al transformador como un circuito complejo constituido por varios elementos R, L y C. Que SFRA sea capaz de detectar cambios mecánicos en la estructura del transformador, es posible gracias a que el ensayo descubre alteraciones geométricas en los circuitos RLC, específicamente variaciones en la componente L y C de estos.

La interpretación de resultados de SFRA consiste en la comparación de trazas obtenidas para un mismo equipo o equipos con características similares; los tres métodos empleados en el análisis de resultados van desde, mediciones basadas en la línea de tiempo, en el tipo constructivo y en el diseño. La mayor parte de documentos técnicos relacionados a SFRA hacen alusión a que la mejor metodología de interpretación de resultados es la basada en mediciones en la línea de tiempo, pero mediante la toma de diversas medidas en los tres equipos diagnosticados en este documento, se pudo concluir que las tres metodologías brindan la misma confiabilidad al usuario en cuando al diagnóstico de los equipos. Los verdaderos escenarios que influyen en la interpretación de las trazas serán, la influencia de factores mecánicos, entre otros [6]; y las condiciones de entorno y de los equipos de prueba y medición; antes, durante y después de la ejecución de las pruebas.

La ejecución del ensayo en los transformadores de distribución previamente seleccionados, ratifican la característica de alta sensibilidad de SFRA. Las múltiples mediciones sugeridas por norma para los

transformadores trifásicos, con el grupo vector específico de los mismos, permitieron detectar sutiles o marcadas variaciones en la estructura mecánica de los equipos; muchas veces las pruebas convencionales de diagnóstico a frecuencias industriales no son capaces de detectar pequeñas alteraciones en la estructura del transformador, provocando que las mismas generen fallas e incluso en ocasiones obliguen a retirar a los equipos de la red. Si se determinan pequeñas fallas en el transformador, los eventos programados de mantenimiento pueden servir para corregir dichas anomalías y así asegurar que el transformador funcione de forma óptima durante toda su vida útil.

Al enfocarnos en el año de fabricación de los transformadores, se observa claramente que el rango de tiempo en el que estos equipos de distribución fueron fabricados es amplio, el transformador 1 es un equipo que debió haber salido de la red hace varios años, por lo que no es de sorprender que existan fallas en su condición mecánica. Los transformadores 2 y 3 son equipos con años de fabricación recientes, por ello al encontrar fallas en la estructura de estos transformadores se realiza un gran aporte al sector eléctrico; la detección de fallas en etapas tempranas a la par de mantenimientos programados permitirá prolongar su tiempo de operación en la red.

Generalmente la mayor parte de pruebas de diagnóstico disponibles en el sector eléctrico, se enfocan en medir parámetros que señalen el estado de una o en ocasiones hasta dos estructuras del transformador; el ensayo SFRA brinda la ventaja de analizar todas las estructuras del equipo, permitiendo que los tiempos empleados en tareas de mantenimiento, disminuyan de forma considerable y por ende también se dé una disminución de costos. Aunque en la actualidad no existen guías exclusivas para el análisis de SFRA en transformadores de distribución, en este trabajo de titulación se corrobora el criterio, de que la interpretación de resultados de equipos de distribución puede tomar como guía las normas existentes, considerando que los límites de las respuestas típicas se pueden desplazar como un efecto de las potencias de los transformadores; criterio mantenido para el desarrollo de todos los manuales y normas enfocados en el análisis o desarrollo de SFRA.

Antes de poder iniciar con la ejecución del ensayo SFRA en transformadores de cualquier potencia o nivel de voltaje, es necesario una correcta preparación por parte del operador del equipo de medición. Son varios los factores que el operador debe considerar antes, durante y después de la ejecución de SFRA para obtener respuestas confiables y asegurar el estado del equipo; al mismo tiempo, si el operador a cargo no está familiarizado con las guías de interpretación del ensayo, probablemente el diagnóstico emitido al transformador de interés, no será 100% preciso y se verá la necesidad de respaldar este a través de pruebas de rutina, aumentando los tiempos y costos de mantenimientos.



Factores como el nivel de aceite, la magnetización residual del núcleo, posición del tap del transformador; además de, puntos como una buena puesta tierra, la correcta tensión suministrada a las trenzas del equipo de medición, el calibre y material del cable usado en los cortos, entre otros; son aspectos que deben ser considerados para poder someter al equipo a mediciones en línea base y mediciones de diagnóstico. La comparación de trazas de SFRA se podría ver afectada incluso por una mala identificación del equipo relacionada a los datos de placa del transformador, por ello es importante que el operador identifique de forma correcta al transformador previo a la ejecución del ensayo y además documente todos los datos de relevancia para futuras mediciones al mismo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CIGRÉ WG A2.26, Folleto Técnico 342: Evaluación de la Condición Mecánica de los Devanados del Transformador utilizando Análisis de Respuesta en Frecuencia, CIGRÉ, 2008, pp. 10-67.
- [2] Megger, Análisis de la Condición Mecánica de Transformadores de Potencia Mitos y Verdades del Ensayo de SFRA. [Performance]. 2016.
- [3] IEEE Standards Association, IEEE Std C57.149: Guía para la Aplicación e Interpretación del Análisis de Respuesta en Frecuencia para Transformadores Sumergidos en Aceite, Nueva York, 2013, pp. 1-59.
- [4] CIGRÉ WG A2.26, Folleto Técnico 342: Evaluación de la Condición Mecánica de los Devanados del Transformador utilizando Análisis de Respuesta en Frecuencia, CIGRÉ, 2008, pp. 10-67.
- [5] DL - The Electric Power Industry Standard of People's Republic of China, DL/T 911-2004: Análisis de Respuesta en Frecuencia en la Deformación de Devanados en Transformadores de Potencia, 2004.
- [6] IEEE Standards Association, IEEE Std C57.150: Guía IEEE para el Transporte de Transformadores y Reactores con una clasificación de 10 MVA o superiores, Nueva York, 2013.



Selene Peñañiel.- Nació en Quito, Ecuador. Obtuvo su título en Ingeniería Eléctrica con mención en potencia, en la Escuela Politécnica Nacional, Ecuador. Ha desempeñado cargos como Especialista en Diseño de Subestaciones para la contratista internacional Changjiang Institute of Survey Planning Design and Research – CISPDR. En la actualidad desempeña el cargo de Especialista de Diseño de Subestaciones y Especialista en Coordinación de Proyectos en la constructora ecuatoriana SEDEMI S.C.C.



Patricia Otero-Valladares.- Es Ingeniera en Electrónica y Control de la Escuela Politécnica Nacional, tiene una maestría en Ingeniería Eléctrica y una en Administración de Empresas, de la misma institución. Ha desempeñado cargos como: Gerente del Proyecto de Electrificación Rural para Zonas Aisladas del Ecuador, jefe de Transacciones Comerciales de Energía para la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento, Asesora en Energía Renovable y Eficiencia Energética para la Empresa Eléctrica Quito. Actualmente es profesora del Departamento de Energía Eléctrica de la Escuela Politécnica Nacional.



Fabián Pérez.- Nació en Ambato, Ecuador, se graduó como Ingeniero Eléctrico, en la Escuela Politécnica Nacional, Quito Ecuador en el 2004. En el 2012, obtuvo el título de doctor en la Universidad San Juan, Argentina, mediante una beca que obtuvo de la German Academic Exchange Service (DAAD). En la actualidad es profesor de la Escuela Politécnica Nacional. Su mayor interés son las protecciones de sistemas eléctricos de potencia y el procesamiento de señales.