

Ensayos de rutina a transformadores

RESUMEN

El presente artículo hace un recuento del informe final presentado ante la universidad para optar al título de tecnólogo electricista. Dicho informe está basado en el resultado de una pasantía, realizada en una empresa dedicada al mantenimiento de transformadores.

El propósito es plasmar los conocimientos y experiencias adquiridos durante el periodo de práctica para dar a conocer cuáles son los ensayos a transformadores, la importancia que implica cada uno y cuáles son las normas técnicas que la ejecución de los procedimientos.

Este documento se centra en la descripción de los ensayos de rutina. En la primera parte se halla una sección de generalidades, en la que se diferencian las clases de ensayos y cuál es el objetivo de cada uno de ellos. En la segunda parte, instrumentación, se muestran los instrumentos más importantes, para la ejecución de los ensayos. La tercera parte, metodología, describe el proceso para el desarrollo de la práctica. La última parte presenta un manual de procedimientos, en el que se recopilan los diferentes métodos y procedimientos registrados en las normas técnicas colombianas.

DIRECTOR: MANUEL MORENO



PEDRO ALONSO ALARCÓN CABRA

Trabaja actualmente como ensamblador de subestaciones eléctricas capsuladas y es jefe de línea de transformadores en DISICO S.A. (empresa donde desarrolló la práctica). Cursó estudios en Tecnología eléctrica en la Universidad Disrital Francisco José de Caldas. Su área de interés son los transformadores eléctricos.

Palabras clave

Ensayos de rutina, Instrumentos de medida, procedimientos normalizados.

42 **INTRODUCCIÓN**

En el manejo de la energía eléctrica es de gran importancia contar con elementos que brinden un desempeño correcto y confiable; por tal razón los fabricantes de transformadores deben realizar ensayos, para determinar si el equipo reúne los requisitos asignados para operar satisfactoriamente en condiciones normales de servicio y cumple así las normas establecidas. Los ensayos que comúnmente se realizan son: de rutina, tipo y especiales.

Los ensayos mencionados son de gran importancia en el sector eléctrico ya que proporcionan seguridad en que el transformador fue diseñado y fabricado para soportar la carga homologada; además, que soportará condiciones anormales de operación, por ejemplo corrientes de falla y sobretensiones atmosféricas. Los ensayos brindan seguridad ideal, basada en resultados efectuados a materiales aislantes y a cada uno de los elementos de que consta un transformador.

GENERALIDADES

A continuación se definirá y explicará cada uno de los tipos de ensayo que se deben aplicar a un transformador, teniendo en cuenta la clasificación de la norma técnica NTC 380. Estos ensayos son: tipo, especiales y de rutina.

Ensayos tipo

Estas pruebas verifican la calidad de fabricación del transformador; y evalúan el estado en que se encuentra para soportar las condiciones normales o anormales de operación, provocadas por condiciones de falla o de sobretensiones atmosféricas [3] [11].

Ensayos especiales

Estas pruebas determinan la vida útil del transformador ya que ésta depende de la rapidez con que envejezca el aislamiento. Estos ensayos son diferentes de los de rutina, y son acordados entre el fabricante y el comprador. Dichos ensayos son: de tensión, incluidas ondas recortadas, medición de la impedancia de secuencia cero, medición del nivel

de ruido, verificación de la resistencia dinámica, medición de las capacitancias, medición de las descargas parciales (efecto corona); ensayo de los conmutadores con carga y sin ella, medida de ondas armónicas (transformadores sin carga) [3] [11].

Ensayos de rutina

Son los realizados por el fabricante a cada transformador, o a las partes o materiales que lo conforman, con el fin de verificar que el producto cumple con las especificaciones de diseño. Estas pruebas dan a conocer la eficiencia de trabajo del transformador, así como su regulación de tensión. Además, determinan si éste está dentro del porcentaje de impedancia y corriente de excitación establecidos por las normas [3] [11].

- Medición de la resistencia de los devanados. Esta prueba sirve, básicamente, para comprobar que todas las conexiones internas de los devanados y guías fueron sujetadas firmemente, y para obtener información que permita las pérdidas en el cobre ($I^2 \cdot R$) y calcular la temperatura de los devanados en la prueba de temperatura [11].
- Medición de la relación de transformación, verificación de la polaridad y relación de fase. La medición de la relación de transformación sirve para determinar la relación entre el número de vueltas del devanado primario y el secundario, o sea, determinar si la tensión suministrada puede ser transformada a la tensión deseada [11]. La verificación de la polaridad determina el desplazamiento angular, expresado en grados, entre el vector que representa la tensión de línea a neutro de una fase de A.T. y el vector que representa la tensión de línea a neutro en la fase correspondiente en B.T. La polaridad reviste una gran importancia en la conexión de los transformadores, sobre todo si éstos han de ser conectados en paralelo o en bancos [11]. La verificación de relación de fase se debe hacer con el método de diagrama fasorial, siempre y cuando la relación de transformación no exceda de 30:1 [4].
- Medición de las tensiones de cortocircuito. Ésta prueba determina la tensión requerida para hacer circular la corriente nominal a través de uno de los devanados especificados de un transformador, cuando el otro devanado está en cortocircuito con los devanados conectados para operación a tensión nominal [1].

- Medición de las pérdidas con carga. Corresponde a la prueba de cortocircuito, la cual determina que la potencia absorbida se transforma toda en pérdidas, que se reducen casi por completo a la pérdida en el cobre, porque la pérdida en el hierro varía aproximadamente con el cuadrado de la tensión. El valor de V_1 requerido para hacer circular la corriente a plena carga por los arrollamientos, cuando el secundario está en cortocircuito está alrededor de una décima parte de la tensión normal [11].
- Medición de las pérdidas sin carga. Corresponde a las pérdidas en vacío y son la suma de las pérdidas por histéresis más las pérdidas por corrientes inducidas en el núcleo (corrientes de Foucault). Estas pérdidas, consideradas en conjunto, constituyen lo que se denomina pérdidas en el hierro [11].
- Ensayo de tensión aplicada. La prueba de potencial aplicado consiste en verificar que la clase y cantidad de material aislante sean las adecuadas con el objeto de asegurar que el transformador resistirá los esfuerzos eléctricos a los que estará sometido durante su operación [11].
- Ensayo de tensión inducida. Esta prueba consiste en verificar si el aislamiento entre vueltas, capas y secciones de los devanados del transformador tiene la calidad requerida, así como verificar el aislamiento entre bobinas y entre devanados y tierra [10] [11].

Existen otras pruebas que, a pesar de no estar registradas entre las Normas Técnicas, forman parte de los ensayos de rutina exigidos en los protocolos, y son de gran utilidad en el momento de realizar un mantenimiento. Estas pruebas son:

- Medición de rigidez dieléctrica del aceite. Esta prueba al aceite es una de las más frecuentes, ya que es muy valioso conocer la tensión de ruptura que soporta un aceite. Además, esta prueba revela cualitativamente la resistencia momentánea de la muestra del aceite al paso de la corriente y el grado de humedad, suciedad y sólidos conductores en suspensión, así como la tensión de ruptura. [11].
- Medición de la resistencia de aislamiento. Esta prueba sirve, básicamente, para determinar la cantidad de humedad e impurezas que contienen los aislamientos del transformador [11]. La prueba se realiza a transformadores tipo seco o a los sumergidos en aceite.

INSTRUMENTACIÓN

Existen varios tipos, modelos y marcas de instrumentos utilizados para las mediciones durante los ensayos; sin embargo, para este proyecto sólo se describirán los equipos encontrados en la empresa donde se desarrolló la pasantía.

- Megger: se utiliza en la prueba de resistencia de aislamiento. Aplica una tensión de 1000 V a los devanados, hace una relación interna con la corriente y arroja un valor de resistencia en ohmios (figura 1).



Figura 1. Fotografía de Megger.

- TTR: este aparato está diseñado para hacer mediciones de la relación de transformación en transformadores, autotransformadores y reguladores de voltaje (figura 2). El TTR es un instrumento práctico y preciso para analizar las condiciones de los transformadores en los siguientes casos [11]:

- Medición de la relación de transformación en equipos nuevos o reparados.



Figura 2. Fotografía de un TTR.

- Identificación y determinación de terminales, derivaciones (taps) y sus conexiones internas.
 - Determinación y comprobación de polaridad, continuidad y falsos contactos.
 - Identificación de espiras en cortocircuito.
 - Detección de fallas incipientes.
- Chispómetro: consta de un transformador de potencial, un regulador de tensión, un voltímetro indicador, un interruptor y la copa estándar patrón de la prueba. Esta copa patrón es un recipiente de bakelita o vidrio refractario, en que se alojan dos electrodos en forma de disco de 25,4 mm de diámetro, separados a una distancia de 2,54 mm con las caras perfectamente paralelas (figura 3) [11].



Figura 3. Fotografía de un chispómetro.

- Banco de pruebas: es quizás el equipo más importante en el desarrollo de las pruebas de rutina a transformadores, ya que con este aparato se realiza la mayoría de los ensayos (figura 4). Este dispositivo tiene dos partes.

Parte interna

- Un transformador seco de 100 kVA, encargado de llevar una tensión de 220 V a 1000 V.
- Dos vatímetros con una conexión ARON.
- Transformadores de potencial y corriente.
- Voltímetros.
- Amperímetros.
- Contactores que se cierran y abren de acuerdo con el tipo de prueba que se va a ejecutar.
- Generador de 30 kVA, 208 V (se utiliza para la prueba de potencial inducido).

Parte externa

- Variac No.1: se encarga de regular la tensión al transformador seco de 100 kVA.
- Transformador elevador: tiene como función elevar la tensión hasta 53,2 kV.

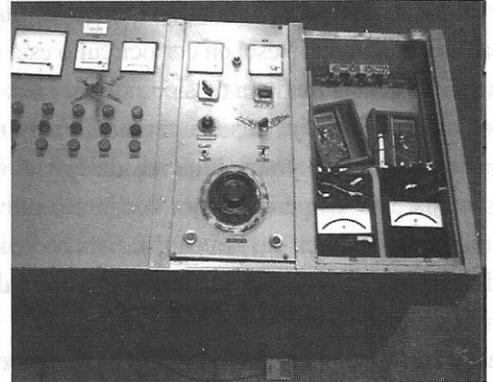


Figura 4. Fotografía del banco de pruebas (se pueden observar los vatímetros, voltímetros, amperímetros, entre otros instrumentos de medida).

METODOLOGÍA DE TRABAJO

Inicialmente se efectuó una visita personal a la empresa seleccionada para el desarrollo de la pasantía, y se presentó una propuesta al gerente industrial. Una vez que la empresa aceptó el desarrollo de la pasantía, y el consejo curricular aprobó la propuesta, se procedió a la práctica de la siguiente manera: se recibió una capacitación sobre el manejo de equipos, procedimientos, métodos, normas de seguridad y normas técnicas aplicables en el proceso de los ensayos; posteriormente se pasó a la ejecución de las pruebas de la siguiente forma: una vez el transformador se encuentra listo para ser probado, ya sea porque fue reparado o se va a realizar algún diagnóstico, se procede a realizar las pruebas de rutina correspondientes, siguiendo los procedimientos adecuados para cada prueba, como se explicará a continuación.

Medición de aislamientos en los devanados

Se hace un puente en los terminales de alta y baja tensión, se conectan las dos puntas del Megger en cada uno de los devanados (figura 5), se oprime el interruptor del Megger para energizar el circuito, y se espera unos minutos hasta que se estabilice la lectura. Luego se efectúan pruebas en diferentes conexiones.

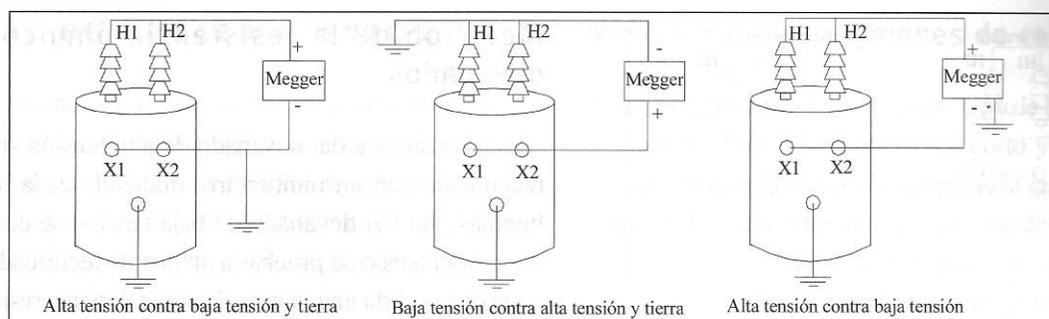


Figura 5. Diagramas de la conexión para la medición de aislamiento en los devanados.

- Alta tensión contra tierra
- Baja tensión contra tierra
- Alta tensión contra baja tensión

Prueba de relación de transformación

Se conectan los terminales del TTR al transformador, como se explica a continuación: X1 y X2 a los terminales de baja tensión; luego H1 y H2 a los terminales de alta tensión (figura 6). Enseguida se mueve la manivela del TTR y se encuentra la relación de transformación por medio de las cuatro perillas de la parte posterior del instrumento. Se va variando cada una de éstas hasta que el dial de la pantalla *NULL DETECTOR* se encuentre en el centro; en ese momento se tiene la relación de transformación. Esta prueba se realiza en cada posición del conmutador, señalada por lo general a un costado del transformador. Si el transformador es trifásico las pruebas a cada una de las bobinas se realizan haciendo las siguientes conexiones:

- U y V
- U y W
- V y W

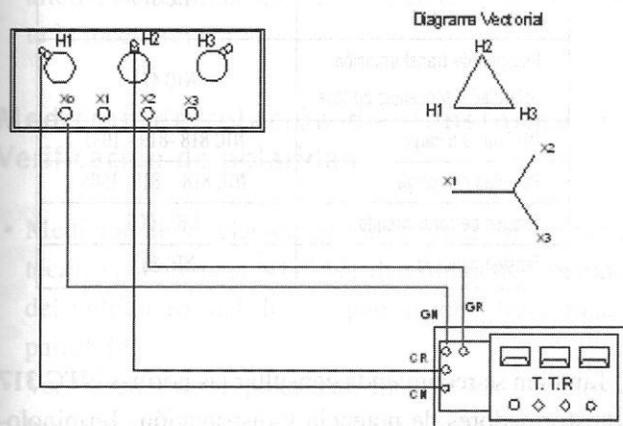


Figura 6. Conexión para la prueba de relación de transformación y polaridad. Delta-Estrella.

Prueba de tensión inducida

Se conectan las tres puntas que salen de la fuente del banco de pruebas a los bornes X, Y, Z (figura 7). Se aplica el 200% de porcentaje nominal del transformador a una frecuencia de 400 Hz durante un intervalo de 18 segundos.

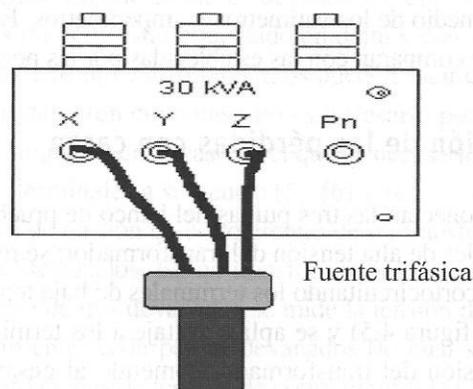


Figura 7. Conexión para el ensayo de circuito abierto (tensión inducida y pérdidas sin carga).

Prueba de potencial aplicado

Para el terminal de alta tensión se hace un puente entre U, V, y W (terminales de alta tensión), y otro puente entre X, Y, y Z (terminales de baja tensión), y se aterriza (figura 8). Se conectan los terminales de alta tensión al transformador de potencial del banco de pruebas y se aplica una tensión de 34 kV para el terminal de alta tensión. Para el terminal de baja tensión, se invierten las conexiones, se aterrizan los terminales de alta tensión y se conectan al transformador de potencial los terminales de baja tensión. Para este caso, el voltaje es 10 kV. En ambos casos la prueba durará 60 segundos.

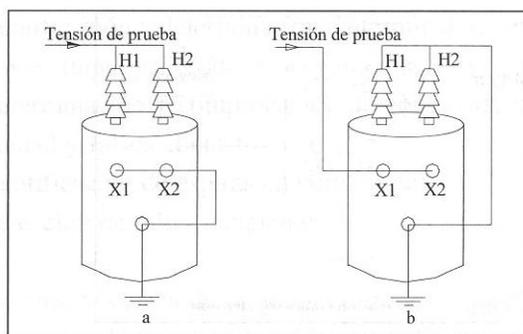


Figura 8. Conexión para la prueba de tensión aplicada. a) Aplicada por alta tensión. b) Aplicada por baja tensión.

Medición de las pérdidas sin carga

Se conectan las tres puntas del banco de pruebas a los terminales de baja tensión del transformador que se probará, se aplica el voltaje nominal del transformador en el lado de baja tensión (figura 7), y se toman los valores de I_0 y de P_0 por medio de los vatímetros y amperímetros. Estas pérdidas se comparan con las establecidas por las normas.

Medición de las pérdidas con carga

Se conectan las tres puntas del banco de pruebas a los terminales de alta tensión del transformador; se realiza un puente cortocircuitando los terminales de baja tensión (X, Y, y Z; figura 4.5) y se aplica voltaje a los terminales de alta tensión del transformador sometido al ensayo hasta que circule la corriente nominal, ajustando la corriente por medio de los amperímetros del banco de pruebas. Por medio de los vatímetros y voltímetros se toman los valores de P_c (potencia de cortocircuito) y U_z (tensión de cortocircuito). La potencia obtenida se compara con las establecidas por las normas.

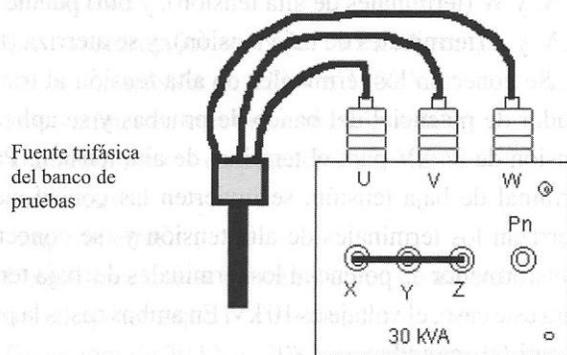


Figura 9. Conexión para la medición de pérdidas con carga.

Medición de la resistencia óhmica de los devanados

La resistencia del devanado de alta tensión se toma directamente con un multímetro, midiendo cada una de las bobinas. Para el devanado de baja tensión se conectan las puntas del banco de pruebas a un puente rectificador, el cual tiene en la salida una platina de cobre con una resistencia de $23\mu W$. Luego se conectan los terminales de baja tensión a la platina, se energiza el circuito y lentamente se gradúa el voltaje hasta tener una tensión aproximada de 1 mV sobre la platina; así se obtiene una corriente que no sobrepase los 50 A (ya que los diodos del rectificador se pueden dañar). En seguida se mide el voltaje sobre las terminales de baja tensión y por, la ley de Ohm, se halla la resistencia.

Prueba de la rigidez dieléctrica del aceite

Se conecta el chispómetro a una fuente de alimentación monofásica y se calibran los electrodos a una distancia de 2,54 mm entre sí. Luego se llena la copa del chispómetro con la muestra de aceite y se deja reposar por 10 minutos, se presiona el interruptor del chispómetro y se va incrementando el voltaje, por medio de la perilla, hasta que se rompa la rigidez dieléctrica. Se registra el voltaje máximo alcanzado antes de producirse el corto. Se efectúan siete lecturas y se promedia. El valor promediado se toma como lectura real.

Tabla 1. Relación de normas aplicables a cada tipo de ensayo de rutina.

Tipo de ensayo	Norma Icontec Aplicable
Resistencia óhmica de los devanados	NTC 375
Relación de transformación, polaridad y secuencia de fase	NTC 471
Pérdidas sin carga	NTC 818 -819 - 1031
Pérdidas con carga	NTC 818 - 819- 1005
Tensión de corto circuito	NTC 1005
Tensión aplicada	NTC 837

También se recomienda consultar las normas NTC 317 (Transformadores de potencia y distribución. Terminología); NTC 380 (Ensayos eléctricos. Generalidades).

MANUAL DE PROCEDIMIENTOS

Para la elaboración del manual, se tuvo como referencia principal de consulta las Normas Técnicas enunciadas en la sección anterior. En la empresa donde se desarrolló la práctica, existe un sistema de procedimientos y métodos establecidos para el desarrollo de ensayos a transformadores; sin embargo, se ha efectuado una consulta de posibles métodos normalizados con el fin de dar a conocer alternativas que puedan ser usadas de acuerdo con las circunstancias, es decir, de acuerdo con los equipos de medida disponibles. A continuación se describirán cada uno de los métodos para la ejecución de los ensayos de rutina a transformadores de distribución.

Medición de la resistencia de los devanados

Para realizar esta prueba, la norma NTC 375 describe dos métodos:

- Método de la caída de tensión. La prueba se realiza haciendo circular una corriente directa a través del devanado, que no exceda del 15% de la corriente nominal, para evitar posibles errores originados por calentamiento del devanado. Las lecturas de tensión y corriente se toman simultáneamente; la resistencia se obtendrá empleando la ley de Ohm [2].
- Método del puente de Wheatstone. Este método es muy sencillo de aplicar, y brinda gran confiabilidad ya que la medición se efectúa con la comparación de resistencias conocidas de gran exactitud. Además, la corriente que maneja es muy pequeña; por tanto, no se alteran las lecturas por efecto de calentamiento durante la medición [2].

Medición de relación de transformación. Verificación de polaridad

- Medición de la relación de transformación. La norma técnica colombiana NTC 471 determina tres métodos: del voltímetro, del divisor patrón y el transformador patrón [4].
- Verificación de la polaridad. Incluye los métodos de transformador patrón, de la descarga inductiva y el diferencial de corriente alterna [4].

Medición de las tensiones de cortocircuito

- Transformadores monofásicos. Uno de los devanados del transformador debe ponerse en corto y se aplica al otro una tensión a frecuencia nominal, la cual se ajusta para que circule corriente nominal por los devanados. En caso de que no se puedan alcanzar los valores nominales de corriente, se puede usar una corriente no menor del 25% de I_n , corrigiendo el valor obtenido. El ensayo debe realizarse sobre la derivación principal [5] [6] [8].
- Ensayo de cortocircuito de un transformador trifásico con tensión trifásica. Los tres terminales del devanado de alta tensión deben unirse rígidamente. Los terminales del otro devanado se aplica a una tensión trifásica balanceada de frecuencia nominal y valor adecuado, con el fin de hacer circular corriente nominal [5] [6] [8].
- Ensayo de cortocircuito de un transformador trifásico con tensión monofásica. El devanado al cual se aplica la tensión debe estar conectado en delta y con extremo abierto. Los otros arrollamientos pueden estar conectados en delta (en cuyo caso no es necesario ponerlo en cortocircuito) o en Y, caso en el que es necesario conectar los terminales a su neutro [5], [6] y [8].
- Ensayo de tensión de cortocircuito de un transformador de tres devanados. En un transformador (monofásico o trifásico) de tres devanados se mide la tensión de cortocircuito entre cada par de devanados (lo cual significa tres mediciones de tensión de cortocircuito) [5] [6] [8].

Medición de las pérdidas sin carga

Determinación de las pérdidas sin carga por el método de voltímetro de valor promedio absoluto, para transformadores monofásicos. La máxima densidad de flujo corresponde al valor promedio absoluto de la tensión (no al valor eficaz) y, por consiguiente, si el valor promedio de tensión se ajusta para que sea igual al valor promedio de la onda sinusoidal de tensión esperada y se mantiene la frecuencia apropiada, las pérdidas por histéresis deben ser las correspondientes a la onda sinusoidal esperada [5] [6] [9].

Ensayo de tensión aplicada

La prueba se efectúa aplicando una tensión a 60 Hz durante un minuto. Se inicia con un valor no mayor de un

cuarto del establecido como voltaje de prueba (tabla 2). Posteriormente se elevará hasta alcanzar el voltaje requerido en un tiempo aproximado de 15 segundos. Para suspender la tensión, se reducirá gradualmente hasta alcanzar, por lo menos, un cuarto de la tensión máxima aplicada en un tiempo no mayor de 5 segundos.

Si la tensión se retira repentinamente por medio de un interruptor, el aislamiento puede ser dañado por una tensión transitoria mayor que la de la prueba. Sólo en caso de falla la tensión podrá ser suspendida repentinamente [7] [11].

Tabla 2. Tensiones establecidas por la IEEE para transformadores sumergidos en aceite, de acuerdo con su nivel de aislamiento.

Voltajes de prueba de acuerdo con el nivel de aislamiento			
Clase de	Tensión de Prueba (valor eficaz)	Clase de aislamiento	Tensión de prueba (valor eficaz)
kV	kV	kV	kV
1.2	10	161	325
2.5	15	196	395
5	19	215	430
8.7	26	230	460
15	34	315	630
18	40	345	690
25	50	375	750
34.5	70	400	800
46	95	430	860
69	140	460	920
92	185	490	980
115	230	520	1040
138	275	545	1090

Ensayo de potencial inducido

Este ensayo se realiza al doble de la tensión nominal. Al aplicar una tensión del 200 %, el flujo aumentará en la misma proporción. Para limitarlo, se tendrá que aumentar en igual forma la frecuencia; el tiempo de duración depende de la frecuencia usada para la prueba (tabla 3) [7] [11].

Tabla 3. Tiempo establecido por las normas ANSI C57 – 72 para la prueba de potencial inducido.

Frecuencia (Hz)	Duración de la prueba (s)
120	60
180	40
240	30
360	20
400	18

Prueba de resistencia de aislamiento

Esta prueba se efectúa con un aparato medidor de resistencia de aislamiento, conocido comúnmente como Megger, a una tensión de 1000 voltios durante 10 minutos. La prueba de resistencia de aislamiento de un transformador debe involucrar las siguientes maniobras de conexión [11]:

- Alta tensión contra baja tensión más tierra
- Baja tensión contra alta tensión más tierra
- Alta tensión contra baja tensión

Prueba de la rigidez dieléctrica de aceite

La prueba se realiza llenando la copa con aceite hasta que los dos electrodos queden cubiertos por completo; después se cierra el interruptor del aparato, conectado previamente a una fuente de 120 voltios; luego con el regulador, se incrementa de modo gradual la tensión en el aparato, aproximadamente a una velocidad de 3 kV por segundo, hasta que el aceite contenido en los electrodos falle. Esta falla consiste en el salto del arco eléctrico entre los electrodos, que se cortocircuitan abriéndose el interruptor de alimentación de la fuente de energía eléctrica [11].

RESULTADOS

Durante el periodo de la práctica, se realizaron todos los tipos de pruebas de rutina a cerca de 30 transformadores de diferentes marcas, modelos, tipos y voltajes, a los cuales se diligenció su respectivo protocolo de aceptación. En ningún caso fue necesario diligenciar el protocolo de no aceptación.

Durante este periodo se contó con la asesoría y la colaboración de las personas encargadas de realizar regularmente este tipo de pruebas en la empresa.

Con el desarrollo de esta práctica, se obtuvieron los siguientes resultados:

- Se ampliaron los conocimientos relacionados con transformadores en cuanto a conexiones, aislamientos, bobinas, entre otros.
- Se conoció y aprendió el manejo y la correcta manipulación de algunos instrumentos de medida empleados en este tipo de ensayos.
- Se aprendió a conocer y distinguir diferentes clases de ensayos practicados a transformadores de distribución.
- Durante este proceso fue necesario aprender e identificar las diversas Normas Técnicas que rigen este tipo de ensayos, y su correcta interpretación o aplicación.
- Se elaboró un documento en el que se destacaron conceptos importantes para la realización de ensayos a transformadores, el cual es de gran utilidad en la empresa donde se efectuó la práctica y en la Universidad, para estudiantes de Tecnología Eléctrica.

CONCLUSIONES

- Existen diversas formas de efectuar ensayos a transformadores. Sin embargo, la gran diversidad de modelos, diseños especiales y funcionalidad de estos aparatos no permite que sean aplicables todos los métodos de prueba a un transformador específico. Dichas pruebas deben ser aplicadas en función de las características propias de cada uno de los equipos.
- En la actualidad se puede garantizar que un transformador tendrá el mismo funcionamiento en cualquier lugar del planeta, sin importar en qué lugar fue fabricado o reparado; lo importante es que en dicho proceso se hayan tenido en cuenta las normas establecidas internacionalmente para el desarrollo de las diferentes pruebas. En cada país existen organismos de control, como el caso de Icontec (en Colombia), que han establecido la normatividad técnica para los diferentes procesos que se deben realizar en la ejecución de pruebas y ensayos.
- Aunque se cuente con toda la normatividad y con el mejor equipo disponible en el mercado, sin lugar a duda el factor humano es el más importante en la aplicación

de pruebas a transformadores, pues de un personal altamente calificado depende que dichas pruebas se apliquen como es debido, con el profesionalismo y la entereza que requiere de este tipo de ensayos.

- En el desarrollo de ensayos se debe tener cuidado en la selección de conectores y conductores empleados en las diferentes conexiones al transformador sometido a prueba, ya que en algunos ensayos se manejan corrientes y tensiones altas y pueden ocasionar lecturas erróneas.
- Para evitar fallas es importante contar con (disrupciones, arcos voltaicos, etc.) y accidentes por condiciones ambientales, un área despejada, preferiblemente cubierta para efectuar los ensayos. Tener un registro del resultado de los ensayos ayuda a conocer el desempeño de funcionamiento de un transformador.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Icontec. 1994. Norma Técnica Colombiana 317. Transformadores de potencia y distribución. Terminología.
- [2] Icontec. Norma Técnica Colombiana 375. Transformadores. Medida de la resistencia de los Devanados CDU: 621.314.2:621.317.73
- [3] Icontec. Norma Técnica Colombiana 380. Transformadores, ensayos eléctricos. Generalidades. CDU: 621.314.2.001.4
- [4] Icontec. Norma Técnica Colombiana 471. Transformadores, relación de transformación, Verificación de polaridad y relación de fase. CDU: 621.314.2:621.317
- [5] Icontec. Norma Técnica Colombiana 818. Transformadores monofásicos autorrefrigerados y sumergidos en líquido. Corriente sin carga, pérdidas, y tensión de cortocircuito. Cuarta revisión.
- [6] Icontec. Norma Técnica Colombiana 819. Transformadores trifásicos autorrefrigerados sumergidos en líquido. Corriente sin carga, pérdidas y tensión de cortocircuito. Cuarta revisión.
- [7] Icontec. Norma Técnica Colombiana 837. Transformadores, ensayo del dieléctrico. CDU: 621.314.001.4
- [8] Icontec. Norma Técnica Colombiana 1005. Transformadores, determinación de la tensión de Cortocircuito CDU: 621.314.1:012
- [9] Icontec. Norma Técnica Colombiana 1031. Transformadores, determinación de pérdidas y corriente sin carga. CDU: 621.314.212.3:017
- [10] Galindo Polanco, Alberto. 1995. *Transformadores eléctricos: ensayos y aplicaciones*. Cali: Universidad del Valle.
- [11] Pérez, Pedro Avelino. 1998. *Transformadores de distribución: teoría, cálculo, construcción y pruebas*. México: Reverte Ediciones.