

Implementación de la prueba para verificar la capacidad de soporte mecánico de los tanques de transformadores de distribución ante cortocircuito interno

Implementation of a test to verify the mechanical strength capacity of distribution transformer tanks on short-circuit

COLCIENCIAS TIPO 1. ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

RECIBIDO: AGOSTO 20 DE 2012; ACEPTADO: SEPTIEMBRE 13 DE 2012

Héctor Cadavid Ramírez, Ph.D

hector.cadavid@correounivalle.edu.co

Guillermo Aponte Mayor, Ph.D

guillermo.aponte@correounivalle.edu.co

Iván Felipe Orduña Arcos, M Sc(c)

ivan.orduna@correounivalle.edu.co

Andrés Felipe Zúñiga Calvache

anfezuca@gmail.com

Luis Felipe Escobar Mora

lufelesmo@gmail.com

Grupo de Investigación en Alta Tensión

Universidad del Valle

Resumen

En este artículo se presentan las experiencias relacionadas con la realización del ensayo de verificación de la capacidad mecánica de los tanques de los transformadores de distribución tipo poste, para soportar sobrepresiones súbitas producidas por fallas internas de alta corriente, de acuerdo a la Norma IEEE C57.12.20-2005. El llevo a cabo una prueba piloto con el propósito de comprobar la capacidad del Laboratorio de Alta Tensión de la Universidad del Valle, de seguir el procedimiento definido en la norma y cumplir los requerimientos técnicos de la misma.

Palabras Clave

Transformador; tanque; arco eléctrico; sobrepresión súbita; cortocircuito.

Abstract

This article presents the experience obtained with the test for verification mechanical strength capacity of the pole type distribution transformers tanks; to support the sudden pressure caused by high current internal faults; as defined in IEEE Standard C57.12.20-2005. It was carried on a pilot test to verify the ability of the Universidad del Valle High Voltage Laboratory to follow the procedure defined in the standard and to meet the technical requirements of the same.

Keywords

Transformer; tank; electric arc; sudden pressure; short-circuit.

El Grupo de Investigación en Alta Tensión en nombre de la Universidad del Valle, quiere resaltar la colaboración prestada por: Rymel S.A, por el préstamo del transformador y los elementos adicionales de montaje necesarios para la realización de la prueba; Hugo Murillo, Presidente del Comité de Transformadores Eléctricos del ICONTEC, por su apoyo al proyecto

I. INTRODUCCIÓN

Los transformadores son elementos de vital importancia en los sistemas eléctricos ya que permiten conectar los centros de generación y los de consumo; las fallas en estos equipos generan pérdidas económicas por la interrupción del servicio y por los costos de su reparación o reposición. Una falla en el tanque de un transformador representa un doble problema; a las pérdidas económicas se les suma el riesgo de explosión y la consecuente puesta en peligro de las personas que están cerca al equipo. Las averías en el tanque son producto de sobrepresiones súbitas generadas durante fallas internas tipo arco de gran energía; la única forma para simular estas sobrepresiones, y determinar si el tanque está en capacidad de soportarlas, consiste en provocar, de manera intencional, fallas tipo arco en su interior.

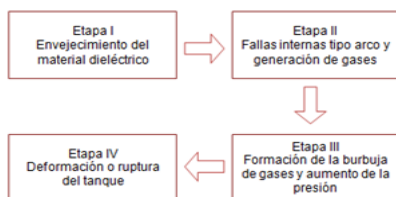
I. FENÓMENO DE SOBREPRESIONES SÚBITAS EN TRANSFORMADORES

El aumento de la presión al interior de un transformador es el resultado de una serie de eventos cuyo origen puede centrarse en el envejecimiento de su material dieléctrico; este deterioro puede evolucionar hasta producir fallas internas tipo arco, alcanzando corrientes de falla que dependen del sitio donde está instalado el transformador (Goodman & Zupon, 1976). El proceso de formación de sobrepresiones se puede dividir en cuatro etapas tal como se muestra en la Figura 1.

El envejecimiento del material dieléctrico del transformador está asociado con reacciones químicas que ocurren en los materiales, las cuales pueden acelerarse debido a la presencia de agua, los esfuerzos térmicos, los esfuerzos eléctricos y oxígeno, entre otros factores (Gallo, 2005).

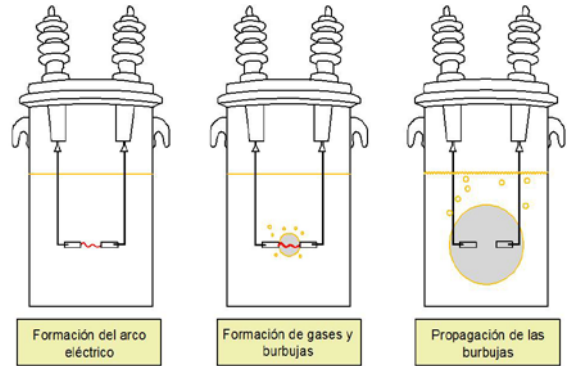
Cuando se desarrollan fallas internas tipo arco, la temperatura al interior del transformador puede alcanzar valores muy altos, vaporizando y descomponiendo el aceite ubicado en inmediaciones de la falla, lo que genera grandes cantidades de hidrógeno y acetileno.

Figura 1. Proceso de formación de sobrepresiones en los transformadores



Los gases producidos por las fallas internas forman una burbuja alrededor del arco eléctrico, que se expande y se desplaza desde su punto de generación hasta el espacio de aire en la parte superior del transformador (Figura 2). La propagación de la burbuja produce un aumento en la presión interna del transformador (Mahieu, 1975).

Figura 2. Proceso de formación de burbujas debido a fallas internas en los transformadores



Las sobrepresiones súbitas producidas por un arco de alta corriente pueden ocasionar deformaciones en las paredes del tanque, grietas en los cordones de soldadura e incluso violentas explosiones (Hamel, Dastous, & Foata, 2003).

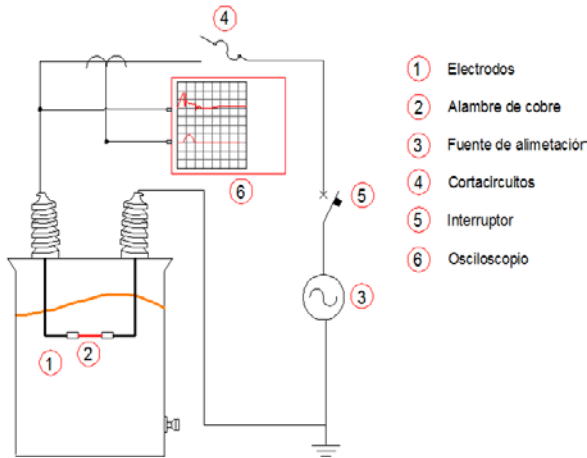
Durante fallas tipo arco de gran corriente, la presión pico en el aceite es mayor que la presión pico en el espacio de aire, sin embargo debido a que la tapa es quizás la parte mecánicamente más débil del tanque, muchas veces la presión ejercida por la compresión del espacio de aire es suficiente como para causar su avería, mientras que la presión bajo el aceite es ejercida sobre las partes mecánicamente más resistentes del tanque y por ello es muy poco probable que cause daño (Barkan, Damsky, Ettlinger, & Kotski, 1976).

I. REQUERIMIENTOS GENERALES DE LA PRUEBA

La norma IEEE C57.12.20-2005 define la prueba para evaluar el comportamiento de los tanques de los transformadores de distribución tipo poste ante cortos internos. La prueba consiste en provocar una falla a través de un par de electrodos que se cortocircuitan por medio de un alambre de cobre, el cual se funde al ser alimentado por una fuente de alta tensión con suficiente capacidad; se genera así la condición de falla interna. Un interruptor da inicio a la prueba cuando cierra sus contactos; durante el ensayo se miden la corriente y el voltaje; para despejar la corriente de falla se utilizan cortacircuitos tipo expulsión.

En la Figura 3 se muestra un montaje típico de acuerdo a lo establecido por la norma.

Figura 3. Montaje según norma IEEE C57.12.20-2005



El objetivo de la prueba es verificar la capacidad de los tanques de los transformadores para soportar las presiones súbitas producidas por fallas internas de alta corriente (IEEE, 2005).

El transformador se somete a dos ensayos, durante cada uno de los cuales se verifica que el tanque no presente grietas, no haya excesivo derramamiento de líquidos, no existan deformaciones considerables y que todos los componentes estén en su lugar. La norma establece que para realizar la prueba en un transformador de distribución con potencia menor de 500 kVA y tensión del devanado primario menor de 34500 V, los elementos a emplear en ella deben cumplir los siguientes requerimientos:

Transformador. El transformador debe ser nuevo y contar con todos sus elementos constitutivos y accesorios, durante el ensayo deberá estar soportado de manera segura sobre un poste.

Alambre. El alambre utilizado para cortocircuitar los electrodos debe ser de cobre con un diámetro menor o igual a 1,5 mm.

Electrodos. Los electrodos deben ser de cobre de sección transversal rectangular o circular de 6-20 mm de diámetro o de ancho, deben ubicarse a una distancia de 2,54 cm entre si y a una altura de 2,54 cm sobre la brida del núcleo, los electrodos pueden conectarse ya sea entre los bujes de alta tensión o entre un buje de alta tensión y el terminal de puesta a tierra.

Presurización. La presión interna inicial del transformador, antes de cada ensayo, debe ser de 6 a 7 P_{sig}.

Fuente de alimentación. La fuente de alimentación deberá ser capaz de suplir 7,2 kV y proporcionar una corriente de 8000 Arms simétricos.

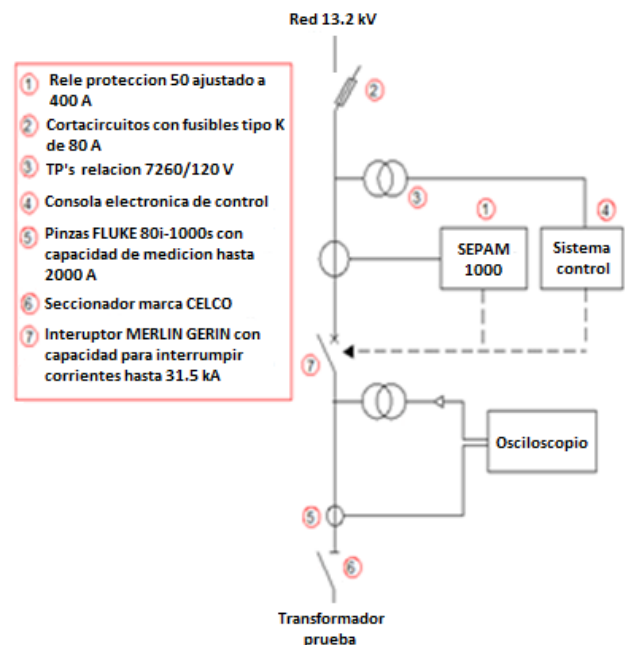
Protección de la prueba. La protección de la prueba se debe realizar con cortacircuitos tipo expulsión con hilos fusibles tipo K de 25 A o menos, para garantizar que la falla se despeje en un tiempo de 1/2 a 1 ciclo.

Devanados. Los devanados del transformador no deben estar eléctricamente conectados al circuito de ensayo.

II. ADECUACIÓN PARA REALIZAR LA PRUEBA EN LA UNIVERSIDAD DEL VALLE

Para la realización del ensayo piloto se empleó el campo de pruebas de cortocircuito del *Laboratorio de Alta Tensión* de la Universidad del Valle. En la Figura 4 se muestra un diagrama unifilar de los principales elementos que conforman el campo de pruebas y una descripción general de estos. Al campo de pruebas se le realizaron tres ajustes para llevar a cabo el nuevo ensayo, estos fueron: seleccionar los hilos fusibles para proteger el circuito, seleccionar el instrumento para medición de la corriente y ajustar el sistema de control.

Figura 4. Diagrama esquemático del campo de pruebas de cortocircuito



Ajuste del Sistema de Control. El ajuste del sistema de control se efectuó para garantizar que el interruptor cierre en el momento en que la onda de voltaje pase por su máximo positivo y de esta manera cumplir la condición de corriente simétrica de falla que exige la norma.

Selección del Fusible para Protección de la Prueba. Para proteger el circuito de ensayo se seleccionaron hilos fusibles tipo K de 5 A, para prevenir que durante la realización de las pruebas saliera de funcionamiento otro circuito diferente al del campo de pruebas de cortocircuito.

Selección del Equipo de Medición de Corriente. Se utilizaron pinzas AEMC AMPFLEX con capacidad de registrar corrientes de hasta 10000 A (Figura 5).

Figura 5. Pinzas AEMC AMPFLEX



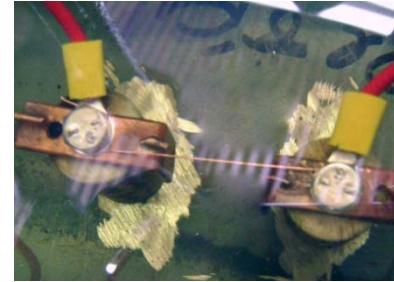
Una vez realizadas las adecuaciones al campo de pruebas de cortocircuito se procedió a realizar las pruebas. El ensayo se realizó en un transformador monofásico de 15 kVA, que contaba con una válvula tipo cheque y un manómetro para la presurización del transformador (Figura 6).

Figura 6. Transformador utilizado para el ensayo



Se verificó que la ubicación y separación de los electrodos, así como el elemento productor del cortocircuito (alambre), cumplieran con las exigencias de norma. Para aislar los electrodos de la brida del núcleo, estos se dispusieron sobre unos soportes cilíndricos hechos en fibra de vidrio y los electrodos se conectaron a los terminales de alta tensión del transformador, en la Figura 7 se muestra la disposición de los electrodos al interior del transformador.

Figura 7. Disposición de los electrodos al interior del transformador



El transformador sometido a las pruebas se montó en una viga rígida, para simular el poste, y se dispuso en un encerramiento especial, para evitar los riesgos asociados a una eventual explosión (ver Figura 8).

Figura 8. Montaje de la viga rígida y la cabina de pruebas



Antes del ensayo, al transformador se le realizó una inyección de aire, hasta que alcanzó una presión interna cercana a 6,5 Psig (Figura 9).

Figura 9. Presurización del transformador



Después de la prueba, se verificó que todas las partes del transformador estuvieran en su lugar, que no hubiera derramamiento de líquidos y que la presión interna no hubiera aumentado drásticamente, para finalmente destapar e inspeccionar internamente.

Como se puede observar en la Figura 10, después de esto se repuso el alambre que cortocircuitaba los electrodos; el aceite se oscureció debido al arco de gran corriente que se produjo. Después de la primera prueba se repuso el alambre que cortocircuitaba los electrodos.

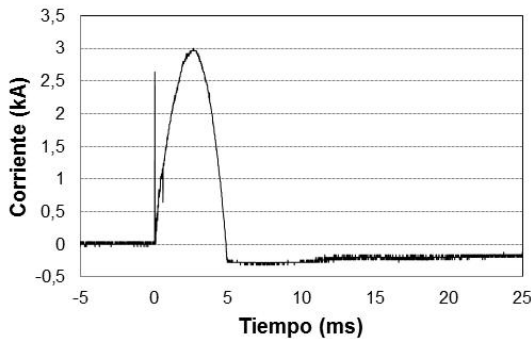
Figura 10. Inspección interna



III. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS

Las curvas de corriente registradas durante las dos pruebas realizadas correspondieron a un semiciclo de una onda sinusoidal, cuya duración fue limitada por el tiempo de operación de los hilos fusibles (Figura 11).

Figura 11. Registro de corriente durante las pruebas



En la Tabla 1 se muestran los valores de voltaje, corriente y tiempo, registrados durante las pruebas (Zúñiga & Mora, 2010).

Tabla 1. Resultados obtenidos durante las pruebas

	Prueba 1	Prueba 2
Corriente Pico	2720	3000
Voltaje de arco	13200	13200
Duración (ms)	6	5,3

IV. CONCLUSIONES

Se verificó la viabilidad de realizar esta prueba en el Laboratorio de Alta Tensión de la Universidad del Valle, lo cual es importante para evaluar la capacidad mecánica de los tanques de los transformadores de distribución para soportar incrementos súbitos en su presión interna.

En los ensayos realizados se alcanzó un nivel de corriente de cortocircuito menor al exigido, esto fue debido a un cambio en el circuito de alimentación que abastece el suministro eléctrico a la Universidad. En años anteriores la Universidad era alimentada por un circuito de distribución de 13,2 kV, con un nivel de corto mayor a 10 kA. Actualmente, por motivos de cambios en la topología de los circuitos de distribución de la ciudad, la Universidad quedó alimentada por un circuito con un nivel de corto menor a 5 kA.

Los resultados de la implementación, pueden servir de base para proponer una norma colombiana NTC y la posterior exigencia de este ensayo en el país.

V. REFERENCIAS

- Goodman, E.A. & Zupón. L. (1976). Static pressures developed in distribution transformers due to internal arcing under oil. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, 95(5), 1689-1698
- Gallo. E., (2005). Diagnóstico y Mantenimiento de Transformadores en campo. Cota, Colombia: Transequipos
- Mahieu. R.W. (1975). Prevention of High-Fault Rupture of Pole-Type Distribution Transformers, *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, 94(5), 1689-1707
- Hamel A., Dastous J., & Foata M. (2003). Estimating overpressures in pole-type distribution part I: Tank withstand evaluation. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 18(1), 120-127
- Barkan. P., Damsky. L. B., Ettlinger. F. L., Kotski. J. E. (1976). Overpressure phenomena in distribution transformers with low impedance faults: Experiment and theory. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, 95(1), 37-48
- Institute of Electrical and electronic Engineers [IEEE] (2005). *IEEE Standard for Overhead-Type Distribution Transformers, 500 kVA and Smaller: High Voltage, 34 500 V and Below; Low Voltage, 7970/13 800Y V and Below* [IEEE Std C57.12.20-2005]. Piscataway, NJ: IEEE Standards Association
- Zúñiga A., & Mora L., (2010). Implementación de la prueba para determinar la capacidad de soporte mecánico de los tanques de transformadores de distribución tipo poste ante ocurrencia de cortocircuito interno [tesis]. Universidad del Valle: Cali, Colombia.

VI. CURRÍCULOS

Héctor Cadavid Ramírez, Ingeniero Electromecánico, Ph.D en Ingeniería Eléctrica del Instituto Superior Energético de Moscú, 1996. Profesor Titular de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad del Valle, y Vicerrector Académico de la Universidad del Valle.

Guillermo Aponte Mayor. Ingeniero Electricista, Ph.D en Ingeniería Eléctrica de la Universidad del Valle, 2011. Profesor Titular de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad del Valle, y Director del Grupo de Investigación en Alta Tensión de la Universidad del Valle.

Iván Felipe Orduña Arcos. Ingeniero Electricista, candidato al título de Magister en Ingeniería Eléctrica de la Universidad del Valle. Asistente de Investigación de la Universidad del Valle.

Andrés Felipe Zuñiga Calvache. Ingeniero Electricista de la Universidad del Valle.

Luis Felipe Escobar Mora. Ingeniero Electricista de la Universidad del Valle.