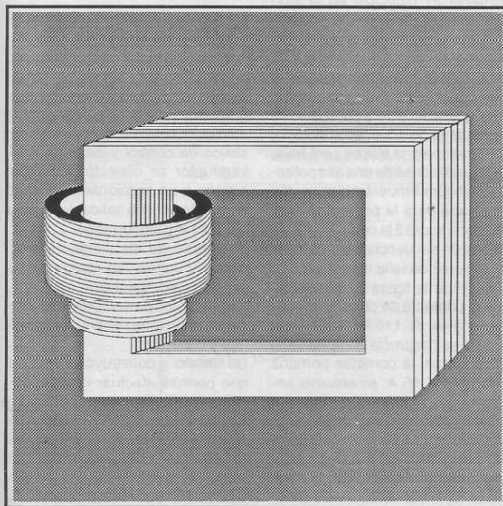


Resultados de la ejecución de la prueba de cortocircuito franco sobre transformadores de distribución



RESUMEN

Los transformadores que se conectan en los circuitos de distribución, casi con toda certeza, se verán sometidos durante su vida útil, a fallas en los circuitos secundarios que alimentan. Esta condición, que es eliminada rápidamente por las protecciones, no debe ser causa de daño en los transformadores, los cuales deben diseñarse y fabricarse con capacidad para soportar los cortocircuitos.

Este artículo presenta los resultados de las pruebas de cortocircuito realizadas en la Universidad del Valle, desarrolladas mediante un proyecto que planteó una alternativa al procesamiento tradicional que requería de un laboratorio de alta potencia.

ABSTRACT

The transformers connected in distribution circuits, during their life are exposed to the faults presents in the secondary circuits that they drive. This situation is eliminated quickly by the protections and they must not cause damages in the transformers, which must be designed and manufactured so as they can maintain their characteristics after short circuits.

This article shows the results of short circuit tests done in the Universidad del Valle, using an alternative form to the traditional pro-

- | | |
|---|--|
| <p>□ Guillermo Aponte Mayor, M.Sc.
Ingeniero Electricista
Profesor Titular
Laboratorio Alta Tensión
Departamento de Electricidad
Universidad del Valle</p> | <p>□ Ferley Castro A.
Ingeniero Electricista
Ingeniero Asistente
Laboratorio Alta Tensión
Departamento de Electricidad
Universidad del Valle</p> |
| <p>□ Héctor Cadavid Ramírez, M.Sc.
Ingeniero Electromecánico
Profesor Titular
Laboratorio Alta Tensión
Departamento de Electricidad
Universidad del Valle</p> | <p>□ Carlos Lozano
Ingeniero Electricista
Profesor Instructor
Laboratorio Alta Tensión
Departamento de Electricidad
Universidad del Valle</p> |

cesses that requires of a High Power Laboratory.

1. INTRODUCCION

Como requisito para la homologación de transformadores, el Comité de Calidad del Sector Eléctrico, exigió la realización de la prueba de Cortocircuito sobre un transformador trifásico de 75 KVA y uno monofásico de 25 KVA, para todos los fabricantes nacionales.

Las pruebas debían ser hechas en el exterior, debido a la inexistencia de laboratorios de alta potencia en el país. La Universidad del Valle planteó una alternativa para efectuar la prueba, empleando como fuente un circuito de distribución de 13.2 KV.

La propuesta se sustentó con base en los resultados de dos pruebas piloto realizadas, las cuales demostraron su viabilidad [1]. El proyecto se llevó a cabo conjuntamente entre la Universidad del Valle, los fabricantes y el sector eléctrico; y gracias a esto hoy, en el país, se cuenta con una herramienta fundamental para la investigación, el desarrollo y el control de calidad sobre los transformadores de distribución.

2. OBJETIVOS DE LA PRUEBA

La prueba de Cortocircuito se realiza con el propósito de verificar la capacidad mecánica del transformador, para soportar los esfuerzos electromagnéticos que se presentan en su interior, debido a las muy altas corrientes que circulan durante el corto.

La comprobación de la aptitud para soportar el corto se hace obteniendo las características constructivas del transformador antes de la prueba y comparándolos con los valores que se obtienen después del corto, los cuales deben presentar variaciones iguales o menores que las variaciones permitidas por las normas [2], [3]. Se realizan también

las pruebas dieléctricas para verificar que no se halla ocasionado deterioro del aislamiento.

3. ALTERNATIVA PLANTEADA

Tradicionalmente la prueba de Cortocircuito se realiza en laboratorios de alta potencia, que garantizan el suministro de una muy alta corriente a la tensión nominal de servicio.

Como resultado de un par de pruebas piloto realizadas, se observó que durante el cortocircuito de los transformadores, a pesar de que la corriente es muy alta en el lado secundario (5 a 8 KA), en el lado primario solo alcanza alrededor de 100 A. Esto indica que la corriente está definida básicamente por la impedancia propia del transformador y que si durante la prueba no se presenta corto en el lado primario, la corriente en la fuente será baja, no requiriéndose de una alta potencia. La figura 1 muestra la conexión empleada para la primera prueba piloto y la figura 2 la conexión de las mallas de secuencia para calcular la corriente de falla monofásica.

A partir de la figura 2, se obtiene que la corriente de corto en el lado primario es de 110.85 A. Si en el circuito se desprecia la impedancia de la fuente, la corriente primaria alcanza 111.65 A; se observa entonces que la magnitud de la corriente está definida por la impedancia del transformador bajo prueba. Este hecho llevó a plantear la posibilidad de realizar la prueba

tomando como fuente el circuito de 13.2 KV (10KA_{sc}), que alimenta al Laboratorio de Alta Tensión de la Universidad del Valle, cuya impedancia equivalente es de 0.762. En este caso, para el transformador de la figura 2, la corriente sería de 111.51 A, valor éste que no debería presentar problema para el sistema. Para verificar esta hipótesis se realizó una segunda prueba piloto en la Universidad, corroborándose los resultados obtenidos con los cálculos.

4. MONTAJE REALIZADO

En el punto terminal de 13.2 KV, se construyó una acometida subterránea hasta el interior del Laboratorio de Alta Tensión, donde se instaló un interruptor de potencia, con sus respectivos transformadores de medición, para alimentar los dispositivos de control y protección. El interruptor se conectó con cable aislado a un seccionador ubicado en el exterior, a la salida del cual se conecta el transformador a probar. El registro de las señales de corriente y voltaje, se realiza en un osciloscopio digital de cuatro canales, adquirido para el proyecto, empleando sus propias puntas de voltaje y corriente.

Se diseñó y construyó el sistema que permite efectuar la energización en el paso por cero del voltaje y que además hace el control de cierre y apertura del interruptor. Si el transformador bajo prueba falla en su lado primario, se producirá el

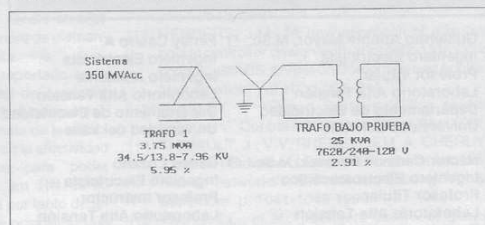


Figura 1.- Esquema del montaje

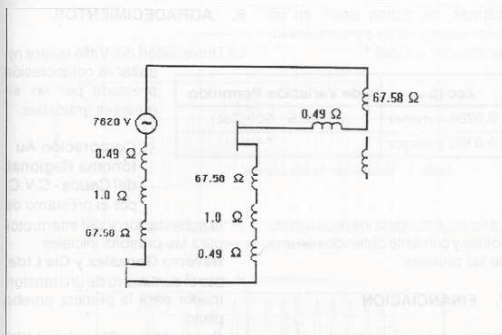


Figura 2.- Mallas de secuencia

disparo instantáneo del interruptor, el cual está en SF₆. Como respaldo se instalaron fusibles de 100 A. La figura 3 ilustra el montaje realizado.

5. PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA

El procedimiento está definido por las normas ANSI/IEEE C57.12.90

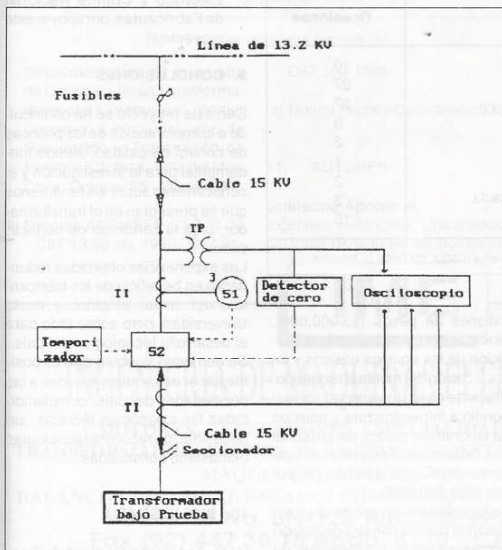


Figura 3.- Diagrama unifilar

e NTC 532, el cual fue acordado, en algunos aspectos, con el sector eléctrico. El procedimiento se puede resumir así :

5.1. Pruebas de rutina

Antes del Cortocircuito se realizan las siguientes pruebas.

- Determinación de pérdidas y corriente sin carga.
- Determinación de pérdidas y voltaje de cortocircuito, en tres posiciones del tap (nominal, máxima tensión, mínima tensión).
- Medición de resistencia de los devanados

5.2. Prueba de impulso

Se aplica con una onda de 1.2 x 50 μSeg con un valor entre el 50% - 75% del BIL.

5.3. Realización de la prueba de Corto circuito

Se efectúan cinco pruebas de Cortocircuito, con una duración de 0.250 segundos y con un intervalo de 15 minutos entre ellas. Tres pruebas se hacen en el tap nominal, una en el de máxima tensión y una en el de mínima.

La sexta prueba se realiza en el tap de mínima tensión, con una duración que esta dada por:

$$t = \frac{1250}{I_{sym}}$$

I_{sym} = Corriente simétrica de cortocircuito en p.u.

Para el cálculo del tiempo largo se emplea la I_{sym} promedio de las tres pruebas realizadas en el tap nominal, siempre y cuando el valor de las corrientes no varíe mas del 5%, de otra forma el tiempo se encuentra con el valor promedio de la primera prueba.

En cada prueba se verifica que la tensión este dentro de los límites permitidos por las normas, y se registran los valores de voltaje, corriente y tiempo.

5.4. Realización de las pruebas posteriores

Después de realizar el cortocircuito se repiten las pruebas de rutina, adicionando la de tensión aplicada al 100% y efectuando el impulso al 100%.

5.5. Inspección visual

Se hace una cuidadosa revisión del núcleo, bobinas, cambiador de taps, salidas de alta y baja tensión, cuñas, bridas y se toman fotografías.

6. RESULTADOS OBTENIDOS

La primera serie de pruebas se realizó sobre 27 transformadores, de los cuales 10 pasaron satisfactoriamente y fallaron los 17 restantes.

Los principales eventos encontrados en los transformadores probados fueron:

EVENTOS	Ocasiones
Desplazamiento de devanados (*)	10
Variación de la impedancia (*)	27
Variación de la corriente de vacío	27
Movimiento del núcleo	3
Ruptura de conexiones	2
Daño en el cambiador del Tap	1
Ruptura de los radiadores	2
Falla en la prueba de tensión aplicada	2
Falla en la prueba de impulso	15

(*) No implica necesariamente que el transformador no pase la prueba.

6.1. Variaciones en la corriente de excitación

El valor de la corriente de excitación medido después de la serie completa de pruebas de Cortocircuito, no debe superar el valor medido antes de las pruebas en más de un 25% para núcleos enrollados y 5% para núcleos apilados.

6.2. Variaciones en la impedancia de cortocircuito

La de cortocircuito medida antes de las pruebas y después de las

mismas, no deben diferir en un valor superior a los porcentajes indicados en la tabla 1.

Zcc (p.u.)	% de Variación Permitido
0.0299 o menor	22.5 - 500(Zcc)
0.0300 o mayor	7.5

Tabla 1.- Variaciones de impedancia

La figura 4 muestra los registros de voltaje y corriente obtenidos en una de las pruebas.

7. FINANCIACION

El costo del proyecto fue de noventa millones de pesos, los cuales se financiaron conjuntamente entre fabricantes y la Universidad del Valle.

Trece empresas fabricantes nacionales, aportaron cada una cinco

8. AGRADECIMIENTOS

La Universidad del Valle quiere resaltar la colaboración prestada por las siguientes entidades:

- **Corporación Autónoma Regional del Cauca - C.V.C.** por el préstamo de la subestación y del interruptor para las pruebas iniciales.
- **Navarro González y Cia Ltda.** por el suministro de un transformador para la primera prueba piloto.
- **Confecciones Eléctricas Ltda.** por el suministro de un transformador para la segunda prueba piloto.
- **Sistemas e Instrumentación Ltda.** por el préstamo del equipo osciloscopio NICOLET.
- **Comité de Calidad del Sector Eléctrico y Comité Nacional de Fabricantes**, por apoyar este proyecto.

9. CONCLUSIONES

Con este proyecto se ha contribuido a la implantación de las políticas de control de calidad, siendo fundamental para la investigación y el conocimiento sobre los fenómenos que se presentan en el transformador, bajo la condición de cortocircuito.

Las experiencias obtenidas redundarán en beneficio de los fabricantes, del sector eléctrico y de la Universidad, pero sobre todo para el desarrollo tecnológico del país. Se demostró también que es posible hacer desarrollos acordes a las necesidades del país, cumpliendo todas las exigencias técnicas, sin necesidad de recurrir a tecnologías demasiado sofisticadas.

10. BIBLIOGRAFIA

- [1] G. Aponte, H. Cadavid, F. Castro, E. Rivas, G. González,

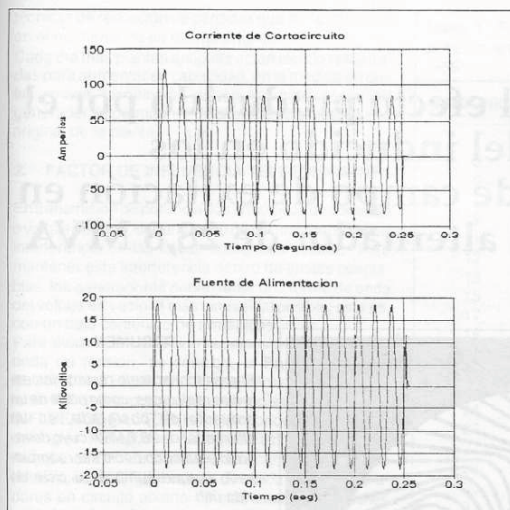


Figura 4.- Ondas de voltaje y corriente

"Implementación de la prueba de Cortocircuito en Transformadores de Distribución". Primer Congreso Latinoamericano de Generación y Transmisión de Energía Eléctrica. Viña del Mar, Chile, Octubre 25 - 29 de 1993.

C57.109-1985

[3] Norma Técnica Colombiana 532

11. AUTORES

Guillermo Aponte M.

Ingeniero electricista, Universidad del Valle 1978. M.Sc. en Ingeniería

eléctrica del Instituto de Ciencia y Tecnología, Universidad de Manchester - UMIST - Inglaterra 1985. Ingeniero de subestaciones de la C.V.C 1978 - 1981. Profesor de tiempo completo del Departamento de Electricidad, Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle desde 1981.

Héctor Cadavid R.

Ingeniero electromecánico y MSc. en ingeniería eléctrica del Instituto Superior Energético de Moscú, 1985. Ingeniero de Mantenimiento ABOCOL -AMOCAR 1985 - 1987. Profesor de tiempo completo del Departamento de Electricidad, Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle, desde 1987.

Ferley Castro A.

Ingeniero electricista, Universidad del Valle 1992. Estudiante Programa de Magister Sistemas de Generación de Energía Eléctrica. Ingeniero asistente Laboratorio Alta Tensión de la Universidad del Valle, desde 1992.

Carlos A. Lozano M.

Ingeniero Electricista, Universidad del Valle 1992. Estudiante Programa de Magister Sistemas de Generación de Energía Eléctrica. Asistente Laboratorio de Alta Tensión. Profesor Instructor Departamento de Electricidad desde 1994.

IME

INGENIERIA DE MAQUINAS ELECTRICAS LTDA.

MOTORES, GENERADORES, ESPECIALIDAD ALTA POTENCIA,
TRANSFORMADORES SECOS, REDISEÑO, RECONSTRUCCION, METALIZACION,
MAQUINADO, ANALISIS VIBRACIONAL,
BALANCEO DINAMICO, ENSAYOS COMPUTARIZADOS, PRUEBAS DE IMPULSO.
Calle 56 No. 5N-126 Tels. 446 99 80 446 99 94
Fax (92) 447 38 15 Apdo. 6120 - CALI- COLOMBIA

53