

# Sobrecalentamiento de Tornillos Aislados de la Tapa Principal de Transformadores de Potencia

Angel G. Estrada Chablé, *Student Member, IEEE*, Juan C. Olivares Galván, *Senior Member, IEEE*, Salvador Magdaleno Adame, *Member, IEEE*, Rodrigo Ocón Valdez, *Member, IEEE*, Rafael Escarela Pérez, *Senior Member*

**Resumen**—En este trabajo se presenta un análisis sobre el calentamiento que sucede en el conjunto brida-tornillo de transformadores de potencia, cuya tapa superior con la tapa inferior no han sido soldadas como establecen las normas y especificaciones tales como [1]-[3]. Es importante mencionar que en años anteriores el hecho de soldar la tapa superior con la tapa inferior no estaba normalizado, de modo que en casos como el que se trata en este trabajo, se unían mediante tornillos y para el sellado se utilizaban empaques de hule nitrilo. El sobrecalentamiento se debe principalmente al flujo parásito ocasionado por los conductores de baja tensión que portan gran cantidad de corriente. El análisis se realizó debido a que un transformador de CFE de 420 MVA, 20/230 kV, OA/FOA ubicado en la Central Termoeléctrica de Petacalco en Michoacán, México, presentó sobrecalentamiento en el conjunto brida-tornillo cercano a las boquillas de baja tensión, en donde se alcanzaron temperaturas máximas de 387 °C. El problema de puntos calientes en los tornillos aislados se descubrió durante la operación del transformador, a través de mapeos térmicos que se realizaron sobre este equipo como parte del mantenimiento preventivo por parte de CFE. Se revisó la literatura existente y se encontró que los autores solo mencionan brevemente el problema, sólo en [4]-[5] se menciona fugazmente y sin detalle alguno la solución que se le dio al problema. La solución al problema de sobrecalentamiento en el conjunto brida-tornillo que se implementó en el transformador de potencia mencionado, fue la instalación de puentes de solera de cobre para unir 49 tornillos distribuidos en la tapa del tanque. La configuración adoptada es la que se muestra en la Fig. 1.

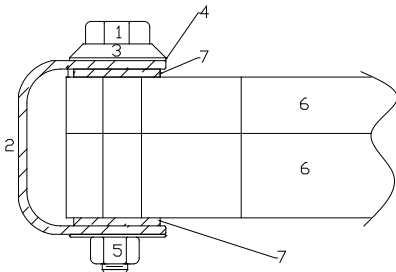


Fig. 1. Esquema de conexión para la unión tanque-tapa del transformador. 1. Tornillo de acero inoxidable A-316, 2. Solera de cobre, 3. Rondana Belleville material anti-magnético, 4. Rondana plana material anti-magnético, 5. Tuerca de acero inoxidable material anti-magnético, 6. Brida para unión de tanque y copete, 7. Rondana dentada de material antimagnético.

El análisis se realizó mediante el método numérico del elemento finito en el software Ansoft, Maxwell 2D en modo Eddy Axial,

Angel G.Estrada Chablé estudia la carrera de Ingeniería Eléctrica en el Instituto Tecnológico de Chetumal, (email: angelestradachable@gmail.com).

Juan C. Olivares Galván y Rafael Escarela Pérez trabajan en la Universidad Autónoma Metropolitana, (email: jolivare\_1999@yahoo.com, r.escarela@iee.org).

Salvador MagdalenoAdame y Rodrigo Ocón Valdez laboran en Industrias IEM S.A de C.V. Tlalnepantla Edo. De México CP 54000, (email:smagdaa@condumex.com.mx, rocon@condumex.com.mx).

donde se utilizó un modelo simplificado para observar el efecto de  $H$  debido a la ruptura de la continuidad de la tapa superior con la tapa inferior ocasionada por el empaque, además se observó el efecto que tiene el hecho de que el tornillo se afloje, tal como lo presentan los autores en [6]-[8] respectivamente.

Se realizaron seis simulaciones: dos para el tornillo haciendo mal contacto (con el tornillo de acero inoxidable y de acero al carbón), dos para el tornillo haciendo buen contacto (con el tornillo de acero inoxidable y de acero al carbón), y dos para cuando se han instalado las soleras de cobre.

Los resultados de las simulaciones indican que definitivamente cuando se rompe la continuidad debido al empaque,  $H$  tiende a establecerse principalmente en la superficie del tornillo, este incremento de  $H$ , es el causante del calentamiento por efecto Joule debido a las corrientes de remolino. Ver Fig. 2.

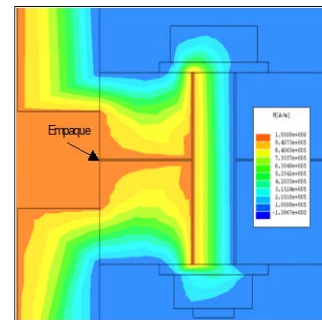


Fig. 2. Distribución del campo magnético en el tornillo de la tapa del transformador.

Más aun, cuando sucede que el tornillo se afloja y por ende hace mal contacto con la brida, el espesor del empaque aumenta hasta 2 mm y  $H$ , aún aunque sigue estableciéndose en el cuerpo del tornillo se concentra principalmente en la brida ocasionando un calentamiento superior al del primer caso. Ver Fig. 3.

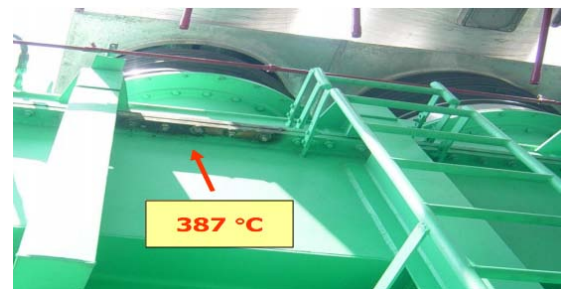


Fig. 3. Sobrecalentamiento de la brida del transformador de potencia por mala circulación de corrientes de remolino.

Para el caso en que una solera se utilizó como puente para que las corrientes de remolino puedan circular de la cubierta al tanque, se observó que el campo tiende a distribuirse en todo el conjunto brida-

tornillo, de modo que se tuvieron valores inferiores de  $H$  en el cuerpo del tornillo y la brida que los que presentaron los casos anteriores, lo que valida la solución implementada. Ver Fig. 4.



Fig. 4. Puentes de soleras de cobre para unir la tapa con el tanque del transformador que permitieron reducir el incremento de temperatura del conjunto brida-tornillo de 387°C a 84°C en el transformador bajo estudio.

Es importante mencionar que las pérdidas por efecto Joule no se reducen con la instalación de la solera sino que se distribuyen de modo que ocasionan menor calentamiento local. Los resultados en cuanto al material del tornillo no mostraron efecto alguno en las mediciones realizadas. En cuanto a la aplicación, cuando se instalaron las soleras de cobre se obtuvo una temperatura máxima de 84.5 °C en la zona de la brida cercana a las boquillas de baja tensión, teniendo una carga de 340 MW el 1 de mayo de 2007. Antes de la instalación de las soleras y los tornillos, la temperatura máxima alcanzada era de 387 °C, teniendo una carga de 350 MW el 3 de septiembre de 2005 (Fig. 5).

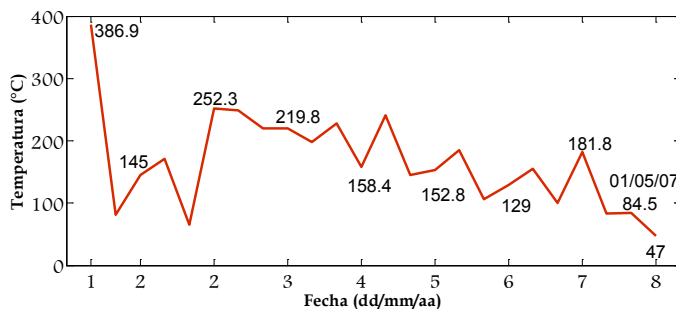


Fig. 5. Comportamiento térmico de la zona 2. 1: 3/09/05, 2: 5/09/05, 3: 12/09/05, 4: 14/09/05, 5: 16/09/05, 6: 20/04/06, 7: 30/04/07, 8: 21/02/08

AGRADECIMIENTOS. Los autores agradecen las mediciones realizadas por personal de la Zona Centro Occidente de CFE.

#### REFERENCIAS

- [1] CFE K0000-13 *Transformadores y Autotransformadores de Potencia Para Subestaciones de Distribución*, Ago. 2006, p. 13.
- [2] CFE K0000-06, *Transformadores de Potencia de 10 MVA y Mayores*, Mayo, 2004, p. 17.
- [3] NRF-144-PEMEX-2005 *Transformadores de Potencia*, Marzo 2006, p. 15.
- [4] Y. Junyou, T. Renyuan, W. Chengyuan, Z. Meiwen, C. Yongbin, "New preventive measures against stray field of heavy

current carrying conductors," IEEE Transactions on Magnetics, May 1996, Volume: 32, Issue: 3, Part 1, pp. 1489-1492.

- [5] S.V. Kulkarni, S.A. Khaparde, *Transformer Engineering: Design and Practice*, Marcel Dekker, USA, 2004, pp.197-199.
- [6] Y. Junyou, T. Renyuan, W. Chengyuan, Z. Meiwen, C. Yongbin, "New preventive measures against stray field of heavy current carrying conductors," IEEE Transactions on Magnetics, May 1996, Volume: 32, Issue: 3, Part 1, pp. 1489-1492.
- [7] S.V. Kulkarni, S.A. Khaparde, *Transformer Engineering: Design and Practice*, Marcel Dekker, USA, 2004, pp.197-199.
- [8] R. C. Brummond, B. P. Osburn, "A Guide to Good Electrical Connections", Doble Engineering, U.S.A, Montrose, Colorado, 2007, pp. 2-5.

#### BIOGRAFÍA

**Ángel Gabriel Estrada Chablé.** En 2006 obtuvo su nombramiento como Técnico en Lengua Inglesa en Bachilleres 2, en la ciudad de Chetumal Q. Roo. Actualmente se encuentra estudiando la licenciatura en Ingeniería Eléctrica en el Instituto Tecnológico de Chetumal. Obtuvo una beca de la Academia Mexicana de Ciencias para realizar la investigación "Efectos del Cobre/Aluminio en el diseño de Transformadores Alta-Baja" en el verano de 2009. Sus áreas de interés son las Maquinas Eléctricas y las Protecciones de Sistemas Eléctricos de Potencia, así como el análisis del comportamiento de la maquinaria eléctrica bajo corto circuito.

**Juan Carlos Olivares Galván.** En 1993 obtuvo el grado de Ingeniero Electricista del Instituto Tecnológico de Morelia. En 1997 y 2003 obtuvo el grado de maestro en ciencias y el de doctor en el Instituto Tecnológico de Morelia y CINVESTAV, unidad Guadalajara respectivamente. Trabajo durante ocho años en la industria como diseñador de transformadores de distribución. A partir de septiembre del 2007 es profesor de tiempo completo de la Universidad Autónoma Metropolitana. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores (Nivel I) y Senior member del IEEE.

**Salvador Magdaleno Adame.** Nació en la Piedad Michoacán en 1983. Terminó su licenciatura en ingeniería eléctrica en Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo en 2008. A partir de Septiembre del 2008 labora en el área de Ingeniería y desarrollo de Transformadores de Potencia de Industrias IEM, S.A de C.V. Sus áreas de investigación incluyen cálculos numéricos de campos electromagnéticos utilizando el método de elemento finito.

**Rodrigo Ocón Valdez.** Egresado de la Facultad de Estudios Profesionales Aragón U.N.A.M donde obtuvo el título de Ingeniero Mecánico-Electricista en 1995. Desde 1995 labora en el área de Ingeniería y desarrollo de Transformadores de Potencia de Industrias IEM, S.A de C.V. En el 2004 obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería Eléctrica en la sección de estudios de posgrado del I.P.N y es profesor definitivo de Ingeniería en la Facultad de Estudios Superiores (FES) Aragón U.N.A.M.

**Rafael Escarela Pérez** (México D.F., 1969). En 1992 obtuvo el grado de Ingeniero Electricista de la Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco. En 1993 comenzó sus estudios de posgrado en el Imperial Collage de la Universidad de Londres donde obtuvo el grado de doctor en 1996. En 1996 ingresó como profesor de tiempo completo en la Universidad Autónoma Metropolitana, donde es profesor Titular —CII desde 2000. Sus principales áreas de interés en investigación son el análisis numérico y experimental de máquinas eléctricas, actualmente pertenece al Sistema Nacional de Investigadores nivel II y —Senior Member ante el IEEE.