



ANÁLISIS DE LA PRESENCIA DE PUNTOS CALIENTES EN LA TAPA DE TRANSFORMADORES DE POTENCIA

Ángel G. Estrada Chablé¹, Juan C. Olivares Galván², Eduardo Campero Littlewood²
Salvador Magdaleno Adame³, Rafael Escarela Perez², Rodrigo Ocón Valdez⁴

¹Comisión Federal de Electricidad, Av. Prolongación Aarón Merino Fernández S/N, esquina Tabí, Colonia Kilometro 5, 77082, Chetumal, Quintana Roo, México, Tel. (+52) (983) 8351140, (+52) (983) 8351131.

²Universidad Autónoma Metropolitana, Azcapotzalco, Av. San Pablo No. 180, Col. Reynosa Tamaulipas, Del. Azcapotzalco, 02200, México, D.F., Tel. (+52) (55) 5318-9584, México, D.F.

³Desempleado, Cipress No. 88, Col. Las Arboledas, 59386, La Piedad, Michoacán, México, Tel. (+52) (352) 5262164.

⁴INDUSTRIAS IEM S.A. de C.V., vía Dr. Gustavo Baz Prada, No. 340, Col. Industrial Barrientos, Tlalnepantla de Baz, Edo. de México, 54015, México, (+52) (55) 5729-9700.

RESUMEN. En los transformadores de potencia la presencia de corrientes parásitas en los elementos estructurales cercanos a las boquillas de alta corriente puede ser importante y esto genera zonas o puntos calientes. En este trabajo se presenta el análisis del calentamiento de los tornillos aislados de la tapa principal que unen tanque (cerca de las boquillas de baja tensión, las cuales conducen alta corriente) de un transformador de 420 MVA, 20/230 kV, OA/FOA. Los puntos calientes en los tornillos aislados se descubrieron a través de mapas térmicos que se realizaron al transformador como parte del mantenimiento preventivo mientras el equipo estaba operando. Se presentan mediciones de las corrientes en los conductores trenzados que unen el tanque y la tapa antes y después de colocar soleras de cobre en las uniones estructurales donde están los tornillos. Al final se constató que el uso de soleras de cobre que aseguran la conexión de la tapa superior y el cuerpo del tanque resulta ser una solución adecuada al problema del sobrecalentamiento en los tornillos.

Palabras Claves—Boquillas de baja tensión, método del elemento finito, pérdidas parásitas, sobrecalentamiento, tapa principal, tornillos, transformador de potencia.

ABSTRACT. In power transformers the presence of stray currents in the structural elements near to high current bushings can be considerable and this usually leads to hot spots. This work presents the analysis of the overheating of the isolated screw that joint the tank to the cover that is near to the low voltage bushings of a 420 MVA, 20/230 kV, OA/FOA transformer. The hot spots in the isolated screws were discovered by thermal maps that were obtained during the power transformer operation as part of the preventive maintenance program. Electrical currents in the stranded conductors were measured before and after installing copper joints where the screws are installed. At the end, the copper plates are suggested to ensure the connection of both the cover and the tank's body and overheating of the screws is significantly reduced.

Key Words— Eddy currents, finite element method, low voltage bushings, main cover, overheating, power transformer, screws.

I. INTRODUCCIÓN

En las redes de transmisión y distribución de energía eléctrica, los transformadores son componentes costosos y vitales en los sistemas eléctricos [1]. A nivel mundial la estadística de fallas para transformadores de potencia es la siguiente: 41% de las fallas están relacionadas con el cambiador de derivaciones; 19%

con los devanados; 3% con el núcleo; 12% con terminales; 13% con el tanque y fluidos, y 12% con accesorios [2]. En México, la estadística de fallas muestra que 53% se refieren a problemas de aislamiento en los devanados; 19%, a las boquillas; 11% al cambiador de derivaciones; 2% al núcleo; 13% a otras causas y 2% a explosiones con incendio. Las

fallas por puntos calientes en el tanque quedarían incluidas en el 13% referido a otras causas. Sin embargo, resulta importante analizar las causas y sus consecuencias y presentar soluciones al porque los tornillos que conectan la tapa del tanque con las paredes del mismo, al estar sujetos a sobrecalentamiento puede representar un riesgo para el equipo en operación.

De acuerdo con la experiencia de los autores, el sobrecalentamiento de tornillos en transformadores de distribución no es importante. Sin embargo, este problema sí tiene un importante impacto en transformadores de potencia (ver Tabla 1).

TABLA 1. CLASIFICACIÓN DE LOS TRANSFORMADORES DE POTENCIA DE ACUERDO A LA CAPACIDAD [3].

Transformador	MVA
Pequeña potencia	0.5 – 7.5
Mediana potencia	7.5 – 100
Potencia	100 y superiores

Los puntos calientes que se generan en los tornillos de la tapa del tanque de los transformadores y sus alrededores son producidos por el flujo disperso del transformador. Las corrientes parásitas son forzadas a circular a través de los tornillos. Las corrientes inducidas también pueden circular por el tanque y la tapa, las cuales son unidas como una brida por los tornillos. Esto ocasiona que haya concentraciones grandes de campo magnético en el tornillo y se generen corrientes parásitas que se traducen en calentamiento. Cuando las corrientes inducidas son altas, el sobrecalentamiento que estas corrientes provocan puede degradar las propiedades dieléctricas del aceite de transformador, puede dañar los empaques, la pintura del tanque y puede dañar el aislamiento de los conductores cercanos. Todo esto puede ser una causa de falla mayor en el transformador de potencia.

Después de revisar la literatura existente, los autores observan que hay abundantes artículos que tratan el problema de las pérdidas en el tanque, debido a las corrientes elevadas que circulan por los conductores de baja tensión [4]-[17], pero los trabajos relacionados con los puntos calientes en los tornillos colocados en la tapa de los tanques de los transformadores de potencia son muy escasos [18]-[22] y se requiere profundizar más en el tema. En [20] y [21] se analiza el problema pero su solución se presentó sin detalle alguno y sin experimentación.

La solución implementada en este trabajo consiste en instalar puentes en forma de soleras de cobre, para unir 49 tornillos distribuidos en la unión de la tapa y el tanque. La configuración adoptada es la que se muestra en la Figura 1. El uso del cobre como material de la solera, fue debido a su alta conductividad. Los tornillos y tuercas, fueron de acero inoxidable ya que como no se corroen, garantizan un buen contacto con las paredes del tanque, de este modo se evita el sobre

calentamiento por mal contacto, además la permeabilidad relativa del acero inoxidable es igual a 1, mientras la del acero al carbón está en el rango de 100 a 500, esto significa que la reluctancia del material de acero inoxidable será mayor, y entonces menores corrientes de remolino pasaran por su superficie y por lo tanto, se calentará menos por efecto Joule. La solera como puente proporciona una trayectoria de baja impedancia a las corrientes inducidas y, mantiene ambas partes al mismo potencial eléctrico. En [20] se menciona que cuando tornillos de acero inoxidable son utilizados en la práctica para evitar la concentración de flujo magnético, los puntos calientes se generan en la brida de los transformadores, esto es debido a que la corriente busca la trayectoria de menor impedancia para circular.

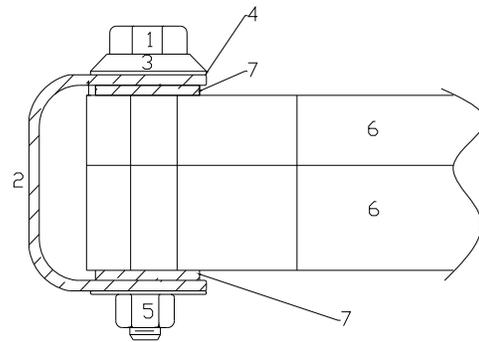


Figura 1. Esquema de conexión para la unión tanque-tapa del transformador. 1. Tornillo de acero inoxidable A-316, 2. Solera de cobre, 3. Rondana Belleville material anti-magnético, 4. Rondana plana material anti-magnético, 5. Tuerca de acero inoxidable material anti-magnético, 6. Brida para unión de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

En [18] se demuestra que cuando los tornillos hacen un buen contacto, la reluctancia del conjunto brida-tornillo es más de dos veces mayor que para una pared sólida (una sola pieza), además la intensidad de campo magnético H en la superficie del tornillo es 1.4 veces mayor que en una de las partes sólidas de la brida. La saturación del conjunto brida-tornillo así como la reluctancia por la separación de la brida, pueden incrementar de manera significativa el campo en la región de la unión. En [18] también se demuestra, el efecto de tener un contacto inadecuado de los tornillos con la brida, ocasionado por la pintura, la saturación de campo magnético, la separación de la brida, etc. Aquí, el efecto de H en la superficie del tornillo es mucho mayor que en el caso de los tornillos que hacen buen contacto, esto ocasiona que exista saturación de los tornillos, y por lo tanto una mayor reluctancia. Se demuestra que a valores mayores de $H = 40$ A/cm existe calentamiento [23]. De modo que colocar la solera como trayectoria de baja impedancia para las corrientes inducidas, es la opción más viable, en los

casos en que la tapa no se encuentra soldada con el tanque.

Para evitar el proceso de relajamiento que se suscita con el paso del tiempo en la fuerza que mantiene apretado el tornillo, el esquema de conexión presentado en [24] fue utilizado. En donde, rondanas de la marca Belleville fueron utilizadas, ya que tienen la propiedad de que al relajarse el tornillo, la rondana se expande para mantener una conexión fuerte. La reluctancia del conjunto brida-tornillo se reduce conforme aumenta la fuerza de apriete del tornillo. El par de apriete recomendado por Industrias IEM, S.A. de C.V. para que exista un buen contacto del conjunto brida-tornillo es de 190 Nm. Reduciendo el coeficiente de fricción del tornillo y la brida incrementa la tensión del tornillo para un torque dado, por esta razón se utilizó pasta antiaferrante como medio lubricante en la superficie de la brida que hace contacto con la rondana.

La especificaciones CFE [25], y PEMEX [26], mencionan que los tanques y cubiertas de los transformadores deben estar diseñados para ser soldadas. En el caso de CFE para capacidades de 6250 – 40000 kVA y, en el caso de PEMEX para capacidades de 500 kVA en adelante. Los transformadores de potencia pueden tener una vida útil de 40 años, lo que significa que hay transformadores en existencia donde se utilizan tornillos para sujetar la cubierta del tanque. Este trabajo servirá como referencia al problema de puntos calientes en la brida, cuando la unión se realiza mediante tornillos.

II. DESCRIPCIÓN DEL TRANSFORMADOR A SIMULAR

El transformador bajo estudio se encuentra en la central termoeléctrica de Petacalco, localizada a 12 km del puerto industrial de Lázaro Cárdenas, Michoacán, México, cuya ubicación geográfica es de 102° 06' 22" longitud Oeste y 17° 59' 04" latitud Norte.. Las características particulares se muestran en la Tabla 2.

TABLA 2. CARACTERÍSTICAS PARTICULARES DEL TRANSFORMADOR BAJO ESTUDIO

Capacidad	135/375/420 MVA	Corriente en AT	1054 A
Conexiones	AT-Estrella BT-Delta	Boquillas AT	Aceite-gas SF6
Tipo de núcleo	Acorazado	Enfriamiento	OA/FOA
Impedancia	12 %	No. de serie	24-7194
Fabricado en	México	Año de fabricación	1997
Fases	3	Relación	20/230 kV
Corriente en BT	12124 A		



Figura 2. Interior del transformador. La flecha muestra la región de la unión brida-tornillos.

III. MEDICIONES DE LAS CORRIENTES EN LAS TRENZAS ANTES Y DESPUÉS DE COLOCAR LA PLACA DE COBRE Y DE LAS TEMPERATURAS DE LOS TORNILLOS DE LA TAPA

Después del 26 de Agosto se encontraron zonas con evidencia de altas temperaturas, las cuales se muestran en la Figura 3. En la Tabla 3 se muestran las mediciones más relevantes de temperatura que se realizaron desde el 3 de Septiembre del 2005 hasta el 21 de Febrero de 2008. Para las mediciones dadas en las filas 2 a 4, se tenían colocadas un total de 14 trenzas, además se instalaron las soleras de cobre y la tornillería.

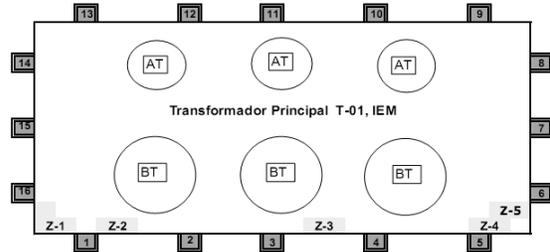


Figura 3. Vista de la cubierta superior del transformador. Las zonas (Z-1 a Z-5) presentaron puntos calientes.

TABLA 3. MEDICIONES DE TEMPERATURA MÁS RELEVANTES EN EL TIEMPO MEDIDO. CON LA INSTALACIÓN DE LAS SOLERAS SE REDUJO EL VALOR A 84 °C

FECHA	CARGA		TEMPERATURAS °C	
	MW	MVAR	AMBIENTE	ZONA
3/09/05	350		35	ZONA 1 140.8
01/05/07	350			ZONA 4 59
01/05/07	350			ZONA 4 53.3
21/02/08	175			ZONA 1 45

Las mediciones de temperatura fueron realizadas mediante termografía infrarroja y, mediante un registrador híbrido de temperatura y termopares tipo

“J”. En la Figura 4 se muestra el comportamiento térmico de la zona 2 en la unión de la tapa con el tanque del transformador, donde se puede observar que existían temperaturas mayores a 135 °C, y según [22], no es aconsejable permitir que la temperatura de las partes metálicas del transformador alcancen valores mayores a 135 °C donde exista pobre contacto con el fluido refrigerante, porque arriba de esta temperatura puede existir formación de gases en el aceite del transformador.

En la Figura 5 se muestran las mediciones realizadas desde que se inició la medición de temperatura hasta su normalización en el 2007. Aquí se observa que los valores de corriente más altos se dieron el 25 de Octubre del 2005 con un valor de 84.8 A en el refuerzo 6 para una carga de 350 MW, para el 7 de Marzo del 2007 en el mismo refuerzo, se obtuvo un valor de 2.6 A para la misma carga. En general, si se comparan los valores de corriente del 25/10/05 con los valores del 7/03/07 para cada refuerzo, se obtiene una disminución del 68.82%. Esto nos indica, que la utilización del puente de cobre fue una buena solución. En la Figura 6 se muestra un conductor trenzado como puente para la tapa y el tanque, el dispositivo (en forma de llave) que se sostiene con la mano indica la dirección de H .



Figura 6. Conductor trenzado de cobre como puente de la tapa y el tanque.

IV. CONCLUSIONES

Este artículo ha mostrado el efecto que tiene el impedir el contacto entre la tapa y las paredes del tanque del transformador. Los resultados indican que al aflojarse los tornillos y aumentar el espesor del empaque, sucede un aumento en la reluctancia de la zona (brida-tornillo), lo que ocasiona que las corrientes de remolino utilicen los tornillos como “puente” para poder distribuirse en todo el tanque, a la vez que la intensidad de campo magnético H aumenta en la superficie de los tornillos. Dichos incrementos ocasionan el sobrecalentamiento de la brida pudiendo llegar a ocasionar en caso extremo explosión con incendio. Para evitar que dichos puntos calientes sucedan, es importante que en todo momento se mantengan los tornillos bien apretados, de modo que se presente la mínima reluctancia mediante un arreglo como el implementado en la solución de este trabajo (rondanas Belleville, pasta antiferrante y torque adecuado proporcionado por el fabricante). Además, cuando soleras de cobre se instalan entre los tornillos que unen la tapa superior y la tapa inferior del tanque del transformador, se provee una trayectoria de baja reluctancia para las corrientes de remolino para que estas puedan distribuirse con mayor facilidad por todo el tanque, de este modo se evitan las concentraciones de dichas corrientes e incrementos de H en la brida, mientras que las mismas soleras proporcionan mayor superficie para la disipación de calor. Este trabajo experimental muestra el efecto de instalar una solera como puente a las corrientes de remolino parásitas, y explica porque funciona colocar soleras de cobre como puente entre la tapa y el tanque.

Como trabajo futuro se espera tener un análisis en 3D de las pérdidas parásitas en los tornillos de la tapa del transformador bajo estudio (de 420 MVA). En esta investigación se utilizaría el software Maxwell Ansoft para realizar los cálculos de elemento finito [27].

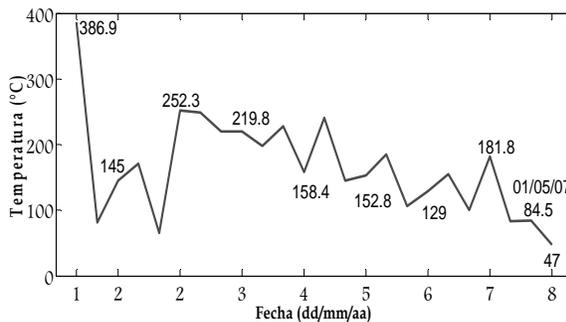


Figura 4. Comportamiento térmico de la zona 2. 1: 3/09/05, 2: 5/09/05, 3: 12/09/05, 4: 14/09/05, 5: 16/09/05, 6: 20/04/06, 7: 30/04/07, 8: 21/02/08

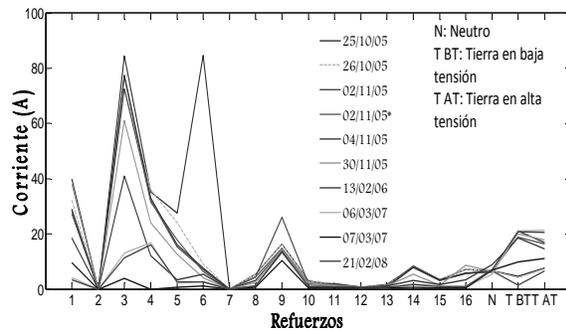


Figura 5. Medición de corrientes (A) en los conductores trenzados colocadas en los refuerzos estructurales.

REFERENCIAS

- [1] **Georgilakis, P. S.:** Spotlight on modern transformer design, Springer, 2009, London, UK.
- [2] **C. Bengtsson:** "Status and Trends in Transformers Monitoring," IEEE Transactions on Power Delivery, vol. II, No. 3, July de 1996.
- [3] **J. H. Harlow:** Electric Power Engineering Handbook, 2nd Edition, CRC Press, 2006, Boca Raton, USA.
- [4] **H. Poritsky, R. P. Jerrard:** "Eddy-Current Losses in a Semi-Infinite Solid due to a Nearby Alternating Current," AIEE Transaction, Vol. 73, pt. I, May 1954, pages: 97-106.
- [5] **W. G. Deuring:** "Induced Losses in Steel Plates in the Presence of an Alternating Current," AIEE Transaction, Vol. 75, part III, June 1957, pages: 166-173.
- [6] **S. Saito, K. Inagaki, T. Sato, Y. Inui, K. Okuyama, H. Otani:** "Eddy currents in structure surrounding large currents bushing of a large capacity transformer," IEEE Transactions on Power Apparatus and System, Vol. PAS-100, No.11, November 1981, pages: 4502-4509.
- [7] **Ya. I. Furman, V. L. Bereza, V. F. Ivankov, L. P. Nizhnik:** "Losses in Tanks of Large Power Transformer, Caused by Magnetic Fields, and Methods of Their Reduction," 1988 Session, 28th August-3rd September, 12-07 CIGRE.
- [8] **T. Renyuan, Y. Junyou, W. Zhouxiong, L. Feng, L. Chunrong, and X. Zihong:** "Computation of Eddy Current Losses by Heavy Current Leads and Windings in Large Transformers Using IEM Coupled with Improved R- Ψ Method," IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 26, No. 2, March 1990, pages: 493-496.
- [9] **T. Renyuan, Y. Junyou, L. Feng, L. Yongping:** "Solutions of Three-Dimensional Multiply Connected and Open Boundary Problems by BEM in Three-Phase Combinations Transformers," IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 28, No. 2, March 1992, pages: 1340-1343.
- [10] **Y. Junyou, T. Renyuan, L. Yan:** "Eddy Current Fields and Overheating Problems due to Heavy Currents Carrying Conductor," IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 30, No. 5, September 1994, pages: 3064-3067.
- [11] **J. Turowski, A. Pelikant:** "Eddy currents losses and hot-spot evaluation in cover plates of power transformers," IEE Proc. Electr. Power Appl.; Vol. 144, No. 6, November 1997, pages: 435-440.
- [12] **D. H. Kim, S. Y. Hahn:** "Improved design of cover plates of power transformers for lower eddy current losses," IEEE Transactions on Magnetic, Vol. 35, No. 5, September 1999, pages: 2529-3531.
- [13] **J. C. Olivares, J. Cañedo, P. Moreno, J. Driesen, R. Escarela-Perez:** "Losses Generated in the Tank Wall due to the High Currents of the Low-Voltage Conductors of Distribution Transformer", 33rd North American Power Symposium (NAPS) 2001, College Station, Texas, October15-16, pp. 2Δ37-241.
- [14] **J.C. Olivares, R. Escarela-Perez, S.V. Kulkarni, F. de León, M.A. Venegas-Vega:** "2D finite-element determination of tank wall losses in pad-mounted transformers", Electric Power Systems Research 71 (2004) 179–185.
- [15] **S.V. Kulkarni, J.C. Olivares, R. Escarela-Perez, V.K. Lakhiani and J. Turowski:** "Evaluation of Eddy Current Losses in the Cover Plates of Distribution Transformers", IEE Proc. Sci. Meas. Technol., Vol. 151, No. 5, September 2004.
- [16] **Juan Carlos Olivares, Rafael Escarela-Perez, S. V. Kulkarni, Francisco de León, Enrique Melgoza-Vasquez, and Octavio Hernández-Anaya:** "Improved Insert Geometry for Reducing Tank-Wall Losses in Pad-Mounted Transformers", IEEE Transactions on Power Delivery, VOL. 19, NO. 3, JULY 2004.
- [17] **R. Ahuja and R. M. Del Vecchio:** "Transformer stray loss and flux distribution studies using 3d finite element analysis," TRAFOTECH 2006 Seventh International Conference on Transformers 20-21 January 2006 Mumbai - India
- [18] **J. Turowski:** "Overheating Hazard in Flanged Bolt Joints of Transformers", *Proceedings ISEF'85*, Warsaw,
- [19] **K. Karsai:** "Heating and Losses in the Magnetic Stray Fields of Transformers," Acta Technica Academiae Scientiarum Hungaricae. Vol. 91, no. 3/4, pp. 321-334. 1980.
- [20] **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.
- [21] **S.V. Kulkarni, S.A. Khaparde:** Transformer Engineering: Design and Practice, Marcel Dekker, USA, 2004, pp.197-199.
- [22] **K. Karsai, D. Kerenyi, L. Kiss:** Large power transformer, Elsevier, 1987, pp. 148-149, 171-174.
- [23] **J. K. Sykulski (editor):** Computational Magnetics, Chapman & Hall, 1995, Great Britain, pp. 161-163.
- [24] **R. C. Brummond, B. P. Osburn:** "A Guide to Good Electrical Connections", Doble Engineering, U.S.A, Montrose, Colorado, 2007, pp. 2-5.
- [25] CFE K0000-13: Transformadores y Autotransformadores de Potencia Para Subestaciones de Distribución, Ago. 2006..
- [26] NRF-144-PEMEX-2005: Transformadores de Potencia, Marzo 2006.
- [27] Ansoft Corp, Four Station Square, Suite 660, Pittsburgh, PA 15219-1119, USA.

AUTORES

Angel G. Estrada-Chablé. Técnico en Lengua Inglesa (2006) en el Colegio de Bachilleres 2, en Chetumal, Quintana Roo, México. Obtuvo su título de Ingeniero Eléctrico el 9 de Febrero de 2011 en el Instituto Tecnológico de Chetumal. Participó en el Verano de la Investigación Científica en el 2009 y en el 2010, haciendo estancia en la UAM. Actualmente trabaja en la empresa de suministro energético en México denominada Comisión Federal de Electricidad en el departamento de Protecciones y Medición de la Zona Transmisión y Transformación Chetumal. Actualmente se encuentra interesado en el estudio de cortocircuito en los sistemas eléctricos de potencia. Su dirección electrónica de contacto es angelestradachable@ymail.com.

Juan Carlos Olivares Galván. Ingeniero Electricista (1993) y Maestro en Ciencias (1997) por el Instituto Tecnológico de Morelia. Doctor (2004) en el CINVESTAV, unidad Guadalajara. Trabajó por ocho años en la industria como diseñador de transformadores de distribución. En 2004 ingresó como profesor en el Instituto Tecnológico de Zapopan y desde el 2007 es profesor de tiempo completo de la UAM. Es miembro del SNI (Nivel I) y miembro del IEEE. Su dirección electrónica de contacto es jolivare_1999@yahoo.com.

Eduardo Campero Littlewood (México D. F., 1947). En 1969 obtuvo el grado de Ingeniero Mecánico Electricista de la FI, UNAM. Trabajó en la industria hasta 1975, año en que inició sus estudios de maestría en el Imperial College de la Universidad de Londres y obtuvo el grado en enero de 1977. En ese mismo año ingresó como profesor de tiempo completo en la Universidad Autónoma Metropolitana, donde es profesor Titular "C" desde 1991. Sus principales áreas de interés en investigación son máquinas eléctricas y uso eficiente de la energía en aparatos e instalaciones eléctricas.

Salvador Magdaleno Adame. Nació en la Piedad Michoacán, México en el año de 1983. En 2008 obtuvo su Licenciatura en Ingeniería Eléctrica por parte de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo en

Morelia, México. Del 2003 al 2008 trabajo en investigación relacionada a campos electromagnéticos en transformadores toroidales y convencionales, incluyendo la aplicación de entrehierros virtuales a núcleos toroidales. De Septiembre de 2008 a Diciembre de 2010 trabajó como Ingeniero en Investigación y Desarrollo (R&D) en el Departamento de Tecnología de Transformadores y Reactores de Potencia en Industrias IEM S.A. de C.V. Sus áreas de investigación incluyen cálculo de campos electromagnéticos usando el método de elemento finito y modelado de transformadores y reactores usando el principio de dualidad. En este momento se encuentra en el proceso de selección para ingresar a la Maestría en Ingeniería Eléctrica en el Instituto Tecnológico de Morelia. Su dirección electrónica de contacto es smagdalenoa@hotmail.com.

Rafael Escarela Pérez. En 1992 obtuvo el grado de Ingeniero Electricista de la Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco. En 1993 comenzó sus estudios de postgrado 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. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores (Nivel II) y Senior Member del IEEE.

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. Su dirección electrónica de contacto es rocon@condumex.com.mx