

La Historia del Transformador

J. Olivares Galván, Miembro IEEE, Marco A. Venegas, *Miembro, IEEE*, Salvador Magdalena, Miembro IEEE

Resumen—Este artículo presenta una investigación detallada sobre la historia del transformador, haciendo referencia a la contribución que tuvieron diferentes personajes a través de los años a su diseño, funcionamiento y aplicación. Aquí se hace mención de las principales aportaciones en la mejora de este importante invento, incluyendo a personajes tales como: Faraday, Jablochkoff, Gaulard, Gibbs, Blathy, Deri, Zipernowsky, Westinghouse y Stanley.

Palabras clave—anillo de inducción, bobinas, convertidores rotatorios de CD, generador secundario, inductor de chispas, sistema en paralelo, transformadores de distribución.

I. INTRODUCCIÓN

En su libro “¿Por qué estudiar la historia de las matemáticas?”, R. C. Gupta nos dice [1]: “El estudio de la historia de las matemáticas nos ayudará a entender esta herencia cultural. Esto ayuda también a conocer la relación de las matemáticas con otros variados elementos de la cultura tales como arte, arquitectura, artesanías, religión, filosofía, etc.”

Y es exactamente por la misma razón que deberíamos estudiar la historia de los transformadores. No debemos olvidar la importancia que el transformador eléctrico tiene en nuestra sociedad. El transformador eléctrico se encuentra presente en todo lugar a donde se transmita energía eléctrica. Este estudio nos ayudará a entender las dificultades que tuvieron muchos investigadores en su camino a descubrir, desarrollar y mejorar todo el conocimiento necesario para hacer que un buen transformador funcionara. También nos mostrará los puntos más difíciles para los ingenieros que trabajaron en el desarrollo de los transformadores, de modo que podamos conocer esos puntos que necesitarán toda nuestra atención o incluso un mayor esfuerzo para aprenderlos y entenderlos. Y finalmente, tal vez si seguimos cuidadosamente el camino dejado por aquellos científicos, podríamos continuar mejorando y descubriendo nuevas cosas al respecto.

Por último, conocer los mecanismos que han colaborado en el desarrollo de tecnología debe ser de particular interés para el futuro ingeniero. Los procesos de observación, la evolución de los métodos de investigación, los descubrimientos fortuitos y los no fortuitos, los resultados exitosos y los fracasos propios, de colegas y los registrados por la historia contribuyen a enriquecer el conocimiento y a despertar habilidades en el futuro ingeniero.

En la tabla I, se muestran los personajes a tratar en este trabajo con algunas aportaciones importantes y la fecha en que fueron hechas.

TABLA I

Principales aportaciones en la historia del transformador

Año	Personaje	Aportación
1820	Hans Christian Oersted	Demuestra que una corriente eléctrica produce un campo magnético.
1831	Michael Faraday	Ley de la inducción
1882, 1897, 1960	Nikola Tesla	Corriente alterna polifásica, densidad del flujo magnético (B), y transformador eléctrico [2].

Juan Carlos Olivares Galván está con el Instituto Tecnológico Superior de Zapopan, (e-mail: jolivare_1999@yahoo.com).

Marco A. Venegas está con la Universidad Autónoma Metropolitana, (e-mail: marco_venegas75@hotmail.com).

Salvador Magdalena está con la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, (e-mail: smagdalena@hotmail.com)

1851	Heinrich Daniel Rühmkorff	Inductores de chispas, intensidades de corriente y tensiones que dependen del número de espiras en la bobina.
1853	Hippolyte Louis Fizeau	Condensador en el circuito primario.
1856	Foaucault	Interruptor formado por un electroimán.
1874	Zénobe Théophile Gramme	Conjunto de bobinas de hilo fino enrolladas delante de los polos de un electroimán.
1876	P. N. Jablochkoff	Presenta un transformador de doble devanado.
1882	Lucien Gaulard y John Dixon Gibbs	Nuevo sistema de distribución de electricidad para la producción de luz y fuerza motriz
1885	Otto Titus Blathy, Miska Deri y Karoly Zipernowsky	Sistema de distribución en corriente alterna con alimentación en paralelo y transformadores de distribución
1886	George Westinghouse y William Stanley	La conexión en paralelo de Stanley y las facilidades para la fabricación y venta de equipo para distribuir potencia eléctrica de CA de Westinghouse.

II. LOS INICIOS DEL TRANSFORMADOR

Hans Christian Oersted. Este científico danés demostró en 1820 que cuando una corriente eléctrica fluía se generaba un campo magnético. En ese tiempo se consideraban a la electricidad y al magnetismo como fuerzas separadas y no relacionadas. Descubrir que la electricidad era capaz de generar un campo magnético dio pie a pensar que el magnetismo era capaz de generar electricidad [2].

Michael Faraday. A partir de los estudios de Oersted, el progreso en las investigaciones de éste científico inglés en el año de 1831 lo llevaron al descubrimiento de la ley de inducción [3], siendo esta ley la base para poder producir electricidad por medio del magnetismo. En sus primeros experimentos, Faraday buscaba inducir una corriente en un conductor utilizando dos conductores enrollados sobre una bobina. Para hacer pasar una corriente por el primero de los conductores, Faraday conectó una batería de pilas al mismo produciendo así una corriente directa. Este experimento lo llevó a resultados inicialmente negativos. Probó con diferentes conexiones y diferentes valores de voltaje. Sin embargo, mediante la observación detenida, este científico documentó que cuando conectaba el circuito era posible identificar un pequeño desplazamiento en la aguja del sensible galvanómetro que utilizaba. De esta manera descubrió que el cierre y apertura del circuito primario inducía una de manera instantánea en el circuito secundario. A estas corrientes las denominó corrientes inducida e inductora. Un mayor análisis de los resultados de este y subsecuentes experimentos lo llevaron a enunciar la ley de la inducción. Uno de sus principales experimentos es conocido como el *Anillo de inducción de Faraday* (ver Fig. 1), el cual consistía de unos toroides de alambre sobre los que arrollaba dos bobinados de hilo de cobre superpuestos y aislados uno del otro para que cuando circule corriente por alguno de ellos cambiando su intensidad bruscamente al abrir o cerrar el interruptor de la pila de alimentación se induzca una corriente variable sobre un galvanómetro. Este experimento fue una evolución del mencionado anteriormente.

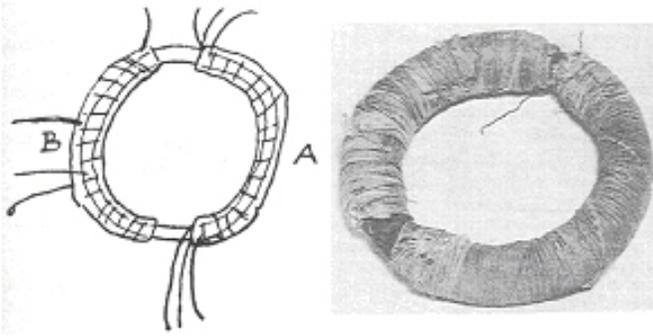


Fig. 1. Dibujo del propio Michael Faraday en su diario y bobinas empleadas por Faraday en su descubrimiento de la inducción electromagnética, conservadas en la Royal Institution [3] y [6].

Heinrich Daniel Rühmkorff. Este científico e inventor construyó y patentó en el año de 1851 un aparato capaz de transformar la energía generada por una pila a elevadas fuerzas electromotrices. Realmente estos aparatos eran conocidos como *inductores de chispas* (ver Fig. 2) [6] y estaban constituidos por un núcleo de hierro rectilíneo y común a dos bobinas aisladas eléctricamente entre sí. Haciendo circular una corriente a través de una bobina de pocas espiras y sección gruesa, interrumpiéndola y conectándola intermitentemente y de forma regular originando un campo magnético que produce una tensión en la bobina construida por un hilo de pequeña sección y muchas espiras [3]. La observación más importante de este aparato es que las corrientes y voltajes de las bobinas dependen proporcionalmente del número de espiras que las forman.

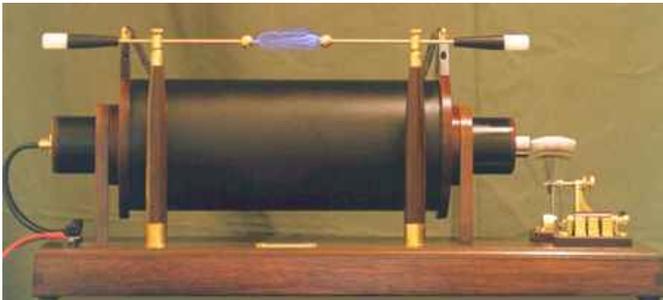


Fig. 2. Modelo de bobina de Rühmkorff del laboratorio de Galileo Ferraris [6]

Hippolyte Louis Fizeau. Este físico francés introdujo en el año de 1853 el condensador en el circuito primario, entre el generador y el interruptor a manera de limitar el desgaste del martillo del interruptor, vibrador, producido por las chispas generadas.

Foaucault. En el año de 1856 modifica el interruptor formado por un electroimán que se mueve sobre una armadura montada sobre una lámina vibrante. Esta aplicación se llevó a cabo sobre todo en las grandes bobinas.

Zénobe Théophile Gramme. En el año de 1874 se presenta en la Academia de Ciencias de París un aparato consistente básicamente en un anillo formado por una serie de bobinas de gran sección y de un conjunto de bobinas de hilo fino enrolladas delante de los polos de un electroimán por este científico [7]. Tal aparato se caracteriza por ser capaz de modificar los valores relativos de la intensidad de corriente y la fem.

P. N. Jablochhoff. Se presenta un transformador de doble devanado por este científico ruso en el año de 1876 [7]. La finalidad de este instrumento era alimentar con corriente de alta tensión una serie de lámparas de iluminación eléctrica. Para su descripción no hay como las propias palabras de Jablochhoff en su patente y traducidas del francés [8]: “*En resumen, reivindico la explotación exclusiva de la nueva disposición de corrientes que ha combinado, para la iluminación por la luz eléctrica y que está esencialmente caracterizada por el empleo de bobinas de inducción interpuestas sobre un mismo circuito, para desarrollar una serie de corrientes inducidas, constituyendo unas fuentes distintas y permanentes*

para alimentar, separadamente, varios centros luminosos de distintas intensidades, como una fuente única de electricidad”. Este aparato funcionaba con corriente alterna en régimen permanente más que con variaciones en la conexión y desconexión de corriente continua.

Lucien Gaulard y John Dixon Gibbs. En la patente con el número 151458 [8] en 1882 de éstos inventores francés e inglés respectivamente surge un aparato verdaderamente útil para la transmisión de la energía eléctrica a través de grandes distancias por medio de la corriente alterna con la combinación de dos parámetros tales como son la intensidad y la tensión. Este aparato fue nombrado [10] “*nuevo sistema de distribución de electricidad para la producción de luz y fuerza motriz*” en la patente, mas ya había sido bautizado anteriormente como *generador secundario* (ver Fig.3). La principal diferencia entre este aparato y el transformador que conocemos hoy en día consiste en el acoplamiento de los dispositivos [8], el cual se realizaba en serie al igual que las cargas.

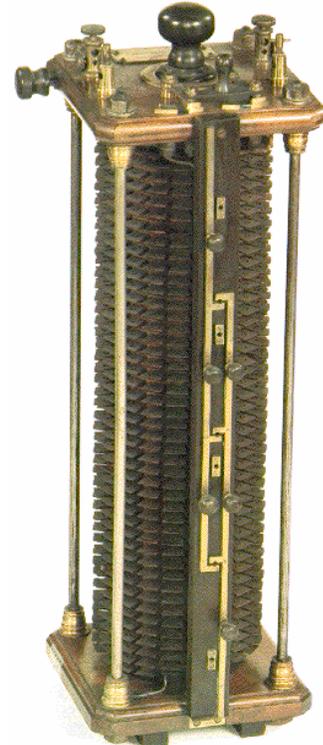


Fig. 3. Generador Secundario de Gaulard y Gibbs que actuaba como una bobina de inducción mutua variable [6].

En el año de 1883 se presenta por primera vez el sistema de corriente alterna en Londres, en la *Electrical Exhibition in the Westminster Aquarium*. En abril de ese mismo año presentan su invento ante los dirigentes de la *Metropolitan Railway Company* en Londres (ver Figuras 4 y 5), donde para noviembre ya estaban instalados generadores secundarios en varias estaciones de la línea del metro *Circle Line*.

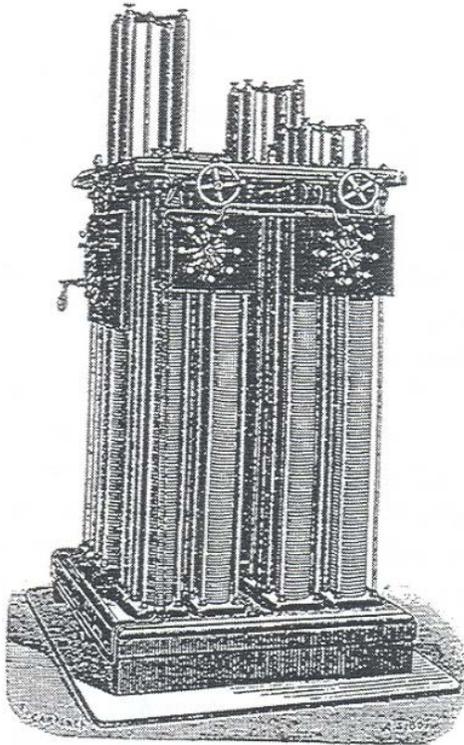


Fig. 4. Esquema de una asociación de generadores secundarios de Gaulard Y Gibbs [4].

Se presenta en 1884 el invento de Gaulard y Gibbs en la exposición de Turín, mejor explicado en las notas del autor Luis Martínez Barrios [7]: “En el mes de septiembre de 1884 una red unía la exposición de Turín, Venaria y Lango, situadas sobre la línea del ferrocarril de la Italia del norte. Una máquina Siemens de 30 caballos producía la corriente alterna con destino a la exposición; el hilo de bronce cromado de 3,7 mm de diámetro, había sido puesto sobre los postes telegráficos; la longitud total del circuito era de 80km. El 29 de septiembre el jurado internacional había constatado que, simultáneamente: a) 9 lámparas de incandescencia Bernstein, 14 lámparas Swan y 1 lámpara Soleil funcionaban en la exposición; b) 34 lámparas Edison de 16 bujías, 40 de 8 bujías, 1 lámpara de arco Siemens iluminaba la estación de Turín, distante 10km; c) 2 lámparas Siemens estaban en Venaria; d) 9 lámparas Bernstein, 16 lámparas Swan de 100V, 1 lámpara Soleil y 2 lámparas Siemens iluminaban la estación de Lango a 40km. En Lango, un motor había funcionado reguladamente durante toda la duración de la exposición”. Tales logros les dieron la medalla de oro de la exposición a pesar de algunas oposiciones.



Fig. 5. Unión de dos generadores secundarios para formar uno de núcleo cerrado.

III. SURGIMIENTO DEL TRANSFORMADOR

Otto Titus Blathy, Miska Deri y Karoly Zipernowsky. Además de la palabra transformador atribuida al ingeniero húngaro O. T. Blathy [10], en 1885 se solicita una patente para el sistema de distribución en corriente alterna con alimentación en paralelo y transformadores de distribución, dicha patente fue presentada por la compañía Ganz y Cia. (ver Fig. 6) donde además de Blathy trabajaban los jóvenes ingenieros húngaros Miska Deri y Karoly Zipernowsky, la cual lleva el número 40414 [11]. La diferencia del transformador de los húngaros con el de Gaulard y Gibbs consistió primordialmente en el circuito magnético cerrado y la marcha en paralelo de los transformadores y las cargas. Por tal motivo, aunque algunos consideran la creación del transformador el día 7 de agosto de 1884, el profesor Milan Vidmar, en su obra Die Transformatoren, cita el año de 1885 como la fecha de su surgimiento.

IV. CONTROVERSIAS EN LA “PATERNIDAD” DEL TRANSFORMADOR

Existe una polémica en cuanto a quién se debe atribuir la invención del transformador: Si a Gaulard y Gibbs o al equipo de trabajo húngaro.

El transformador de Ganz es un transformador bien construido con un vacío donde la tensión en bordes del secundario es igual a la fuerza electromotriz inducida en el secundario. El valor de la tensión disminuye muy lentamente con la carga, y cuando ésta es máxima, la fuerza electromotriz no varía más que un mínimo porcentaje. Esta característica hace de este aparato muy preciso para la distribución a tensión constante.

Los húngaros Deri, Blathy y Zipernowsky fueron los primeros en aplicar lo que se conoce como distribución en derivación. La distribución, anteriormente, se realizaba con una conexión en serie. Recordemos que el transformador nació ante la necesidad de hacer más eficiente la transportación y distribución de energía a lo largo de distancias lo mayor posible.

De tal manera siendo los húngaros los pioneros en la aplicación del transformador en cuanto a la distribución en derivación, la mayoría de los textos les otorga la paternidad sobre lo que conocemos hoy como el transformador eléctrico.



Fig. 6. Transformador de la empresa húngara Ganz & C, de Budapest, presentando como modelo de patente en Alemania en febrero de 1885 [4].

V. DESARROLLO DEL TRANSFORMADOR

El primer transformador de los húngaros consistía en un toroide de hierro dulce sobre el que se arrollaban los dos devanados, alternándolos entre sí. Más tarde se cambió el toroide por un manojo de alambres del mismo material, que arrollaba al circuito primario y secundario. Al seccionar el núcleo, se redujeron considerablemente las corrientes parásitas, aumentando así la eficiencia del transformador. Más adelante se cambiaron las bobinas por bobinas de cobre aisladas.

George Westinghouse y William Stanley. El empresario Americano G. Westinghouse quedó impresionado por la demostración de Gaulard y Gibbs en Italia (ver Fig. 7). En los años de 1880, Westinghouse ya era un inventor y empresario establecido y estaba trabajando en la distribución de gas natural para la iluminación [12]. Con el éxito de Edison [13], Westinghouse se interesó en la potencia eléctrica mas le preocupaba su aplicabilidad. Su escepticismo estaba bien fundamentado; en el sistema en paralelo el incremento de la carga, demanda incremento en la corriente y una carga del tamaño de una ciudad requeriría una enorme cantidad de corriente, pero la transmisión de altas corriente demanda conductores de baja resistencia, por lo que sería necesario ya sea enviar la potencia a través de largos conductores de cobre, o construir plantas generadoras muy cercanas a sus cargas, dispersando muchas plantas pequeñas a través de una gran ciudad.

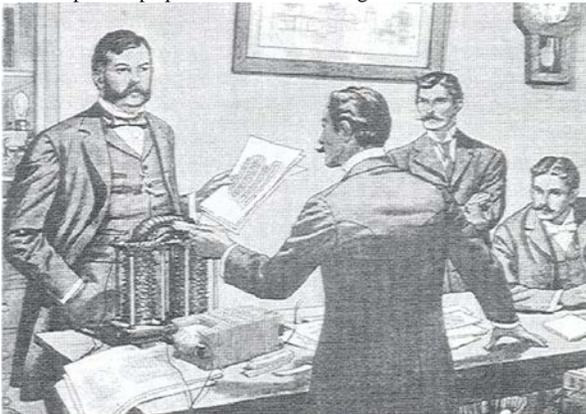


Fig. 7. Westinghouse (con los planos en la mano) y sus colaboradores estudiando un generador secundario de Gaulard y Gibbs, importado de Europa [14].

La transmisión eficiente de potencia de alto voltaje, por otro lado, era posible con conductores relativamente pequeños, y muchas personas buscaban maneras de transmitir energía eléctrica a voltajes más altos que los que se requerían en el punto de aplicación. En 1884, Westinghouse contrató un joven ingeniero, William Stanley, quien ya tenía algunas ideas para resolver el problema con transformadores. Cuando escuchó sobre el trabajo de Gaulard y Gibbs, animó a Westinghouse a tomar una opción en las patentes del transformador. Stanley estaba convencido de la superioridad de la conexión en paralelo; para principios del verano de 1885, había diseñado algunos transformadores de núcleo cerrado (ver Fig. 8) [3].

Muy pronto los problemas de salud hicieron prudente para Stanley instalar un laboratorio lejos de la atmósfera contaminada de Pittsburg. Con la aprobación de Westinghouse, se cambió a Great Barrington, Massachussets y continuó su trabajo en transformadores. En tanto, Westinghouse, quien no estaba completamente convencido de la sabiduría de la conexión en paralelo, exploró varias combinaciones de los generadores secundarios de Gaulard y Gibbs con otro pionero de la ingeniería eléctrica, Oliver B. Shallenberger.

Stanley utilizó en su laboratorio conexiones paralelas a un transformador primario con razones de vueltas diferentes para que el secundario pudiera proporcionar cualquier voltaje que él necesitara. Parte importante del desarrollo que logró Stanley fue la estabilidad en la línea de voltaje. Los diseños de Gaulard y Gibbs y de los húngaros presentaban bastante variabilidad en este aspecto.

Para distribución, Stanley comenzó utilizando voltaje de 1 kV. Poco tardó en concluir que se requerían voltajes mayores para poder hacer de la transmisión más eficiente. Trabajó en Pittsfield con una línea de transmisión de 15 kV, encontrando un funcionamiento adecuado aún en los fríos inviernos [17].

Para diciembre de 1885, Stanley había progresado suficiente para ganarse totalmente a Westinghouse. Con la ayuda de Shallenberger y otro ingeniero brillante, Albert Schmid, Westinghouse se dispuso a modificar el transformador de Stanley para que (al contrario del toroidal húngaro) pudiera ser fabricado fácil y económicamente. Parte fundamental del diseño era que contara con el mínimo número de partes móviles. El núcleo estaba hecho de láminas delgadas de hierro, cortadas en la forma de la letra **H**. Se enrollaron devanados de cable de cobre aislado alrededor de la barra horizontal de la **H**, y los extremos de la **H** fueron cerrados con tiras separadas de hierro. Stanley sugirió hacer las láminas de hierro en la forma de una **E** de modo que las barras del centro pudieran deslizarse dentro de una bobina pre enrollada. Las láminas en forma de **E** eran insertadas en direcciones alternadas, y piezas rígidas de acero fueron puestas a través de las puntas de los brazos para completar el circuito magnético (ver Fig. 8) [3]. Esta construcción aún es común hoy en día. La Westinghouse Electric Company fue inaugurada en enero de 1886. Para los siguientes pocos meses, Westinghouse y sus asociados patentaron el proceso para insertar laminaciones apiladas de hierro a bobinas pre enrolladas, las provisiones para refrescar y aislar el transformador por inmersión en aceite, y el empaquetado del armado en un contenedor herméticamente sellado. Stanley construyó e instaló varios transformadores en Great Barrington y cableó el sistema para distribución de 500-V del laboratorio al centro del pueblo, una distancia de casi una milla. Para demostrar la posibilidad de la transmisión eficiente a través de grandes distancias, también usó transformadores para elevar la potencia eléctrica a 3 000 V y luego bajarla a 500 V antes de enviarla a la línea del pueblo. El 16 de marzo de 1886, se puso en servicio la planta de Stanley. Fue un gran éxito, y Westinghouse procedió a establecer facilidades para la fabricación y venta de equipo para distribuir potencia eléctrica de CA.

En la "World's Fair" de 1893, la "World Columbian Exposition" en Chicago, Illinois, se realizó una exposición internacional la cual por primera vez dedicó un edificio a las exhibiciones eléctricas. Fue un evento histórico ya que Tesla y Westinghouse presentaron a los visitantes la potencia de CA utilizándola para iluminar la exposición [14].

La Compañía General Electric (respaldada por Thomas Edison y J.P. Morgan) propuso energizar la feria con corriente directa al precio de un millón de dólares. Westinghouse propuso iluminar la exposición con el sistema de CA de Tesla por la mitad de ese precio. A pesar del intento de Edison de evitar el uso de sus focos de luz con el sistema de Tesla, la propuesta de Westinghouse fue escogida sobre el inferior sistema de CD para energizar la feria [14].

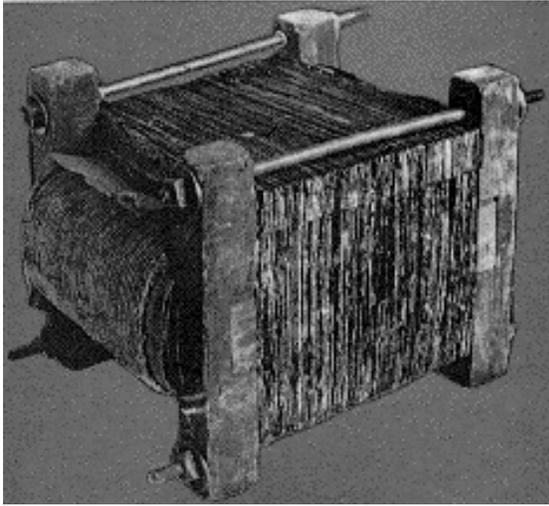


Fig. 8. El Transformador de Stanley de la primera estación eléctrica de CA en Great Barrington, Massachussets, de 1885 [6].

Westinghouse desplegó varios sistemas polifásicos. Las exhibiciones incluían una “centralita telefónica”, generadores polifásicos, transformadores elevadores y reductores, línea de transmisión, inducción tamaño comercial y motores sincrónicos, y convertidores rotatorios de CD (uno de los cuales estaba operando un motor de ferrocarril). El sistema funcionando a escala le permitió al público ver cómo un sistema polifásico podía sobrepasar grandes distancias y quitaron cualquier duda de la utilidad de la corriente alterna polifásica.

Nikola Tesla. El principal trabajo de este científico serbio-americano fue en las áreas de potencia y comunicaciones [4]. En el año de 1888 inventó el motor de inducción y el sistema de transmisión trifásico. En 1891 inventó la “bobina Tesla,” que consistía en un transformador resonante con núcleo de aire. Con este equipo, Tesla era capaz de crear rayos artificiales de hasta 100 pies de largo [4].

Transformador Tesla. Alrededor de 1900, Nikola Tesla ideó un transformador para trabajar a altas frecuencias. Lo diseñó con el propósito de obtener una alta tensión a partir de potencias muy pequeñas. El equipo en sí constaba de un par de transformadores inmersos en aceite mineral. El aceite actuaba con sistema de enfriamiento.

VI. FUTURO DEL TRANSFORMADOR

El transformador, como todos los equipos eléctricos y electrónicos, se encuentra en modernización constante. La investigación con respecto al transformador se encuentra en el desarrollo de nuevos materiales para los núcleos y bobinas que permitan tanto aumentar la eficiencia del equipo como reducir sus dimensiones. No sólo se trabaja en la mejora de las propiedades de los metales que se usan en su fabricación actualmente, sino que también se trabaja con superconductores, materiales compuestos y cerámicos.

El desarrollo de metales amorfos sin estructura cristalina promete propiedades magnéticas muy interesantes. Sin embargo, el uso de estos materiales se encuentra limitado por su alto costo de producción.

La circuitería de estado sólido ha reducido, y en algunos casos eliminado, el uso de transformadores en aparatos electrónicos pequeños como radios, equipos de sonido y video. Para aplicaciones mayores, los dispositivos de estado sólido han demostrado ser útiles para la transmisión en corriente directa. Sin embargo, aún se requieren de transformadores durante el proceso.

El desarrollo de superconductores a alta temperatura abre la posibilidad de que se encuentren materiales que mantengan tal propiedad a temperatura ambiente. De resultar esto posible y económico, la transmisión en corriente directa resultaría muy práctica.

En la industria que fabrica transformadores, se suele hacer un balance entre tamaño, eficiencia y costo. El uso de bobinas de diferentes formas y materiales, diferentes formas y configuraciones del núcleo, diferentes materiales aislantes, son sólo algunas de las consideraciones que se llevan antes de la fabricación de un transformador. Aún con más de un siglo en el desarrollo del transformador eléctrico, existe mucho campo de desarrollo en el mismo.

VII. CONCLUSIONES

La vida sin el transformador eléctrico sería una vida sin energía eléctrica económica y eficiente. La confiabilidad, la eficiencia y la transparencia de su funcionamiento, logrados gracias al trabajo continuo a lo largo de los años, hacen que el usuario final no preste tanta importancia a estos equipos.

El transformador fue el producto del trabajo de gran cantidad de científicos, investigadores e inventores. Por lo tanto, es difícil atribuir su invención a una sola persona o a un grupo de personas. Desde el estudio de los principios y teorías, las mejoras y el lograr convertirlo en un producto comercial, todo tiene gran valor en la historia del transformador eléctrico.

El transformador tiene tanta importancia como el descubrimiento de la electricidad misma. Dado el papel fundamental que el transformador ha tenido en el desarrollo tecnológico de la humanidad, se vuelve muy importante brindarle especial atención por parte de alumnos, profesores y la gente relacionada con la industria eléctrica.

VIII. REFERENCIAS

- [1] R. C. Gupta, “Why study History of Mathematics?” vol. I. India, 1995, pp. 10-11.
- [2] Coltman, John W. “The Transformer,” IEEE Industry Applications Magazine, Ene. 2002, pp 8-15.
- [3] L. M. Barrios, “Historia de las Máquinas Eléctricas,” Primera edición, vol. I, Barcelona: Ediciones UPC, 1994, pp. 189-207.
- [4] F. A. Furfari y J. W. Coltman, “The Transformer,” IEEE Industry Applications Magazine, pp. 11-12, Jan./Feb. 2002.
- [5] Johnson, Gary L., “Building the World’s Largest Tesla Coil,” Kansas State University, pp. 1-2.
- [6] Dal laboratory di Galileo Ferraris, “Galileo Ferraris Workshop,” Torino, Politecnico de Torino, 1990.
- [7] Martínez Barrios, “Cien años de transformadores,” Barcelona: Revista Theknos, # 95, 1987.
- [8] M. Kostenko y L. Protovsky, “Máquinas eléctricas” Montaner y Simón S.A., 1968
- [9] P. Dupuy, *Les transformateurs d’énergie électrique, vol. I.* Paris: Library industrielle J.Fritsch editeur, 1896.
- [10] L. Gaulard y J. D. Gibbs, “Nuevo sistema de distribución de electricidad para la producción de luz y fuerza motriz” Londres. Patente 151 458, 1882.
- [11] J. Lefeure, “Dictionnaire d’électricité. Paris: Librairie J-B, Bailliere et fills, 1895.
- [12] O. T. Blathy, M. Deri y K. Zipernowsky, “Transformador,” Budapest. Patente 40414, 1885.
- [13] A century of progress, “The General Electric Story,” 1876-1978, Nueva York: A hall of history publication, 1981.
- [14] P. Dunsheath, “A history of electrical engineering,” Londres: Faber Editions, 1962.
- [15] *George Westinghouse. 1846-1914.* Westinghouse Electric Corporation, 1986.
- [16] Wikipedia, “Nikola Tesla,” Reino Unido. [Online]. Available: http://pedia.newsfiler.co.uk/wikipedia/n/ni/nikola_tesla.html
- [17] Brittain, James E. “Scanning Our Past. Electrical Engineering Hall of Fame: William Stanley”, Proceedings of the IEEE, vol. 92, oct. 2003, pp. 1735-1737.
- [18] Jeszenszky, Sandor. “History of Transformers”, IEEE Power Engineering Review, dic. 1996, pp. 9-12.
- [19] Kimura, Mitsuteru. “A miniature optoelectric transformer”, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Tohoku-Gakuin University, Japón. IEEE. pp. 227-232.

IX. BIOGRAFÍAS



Juan Carlos Olivares Galván. Obtuvo la licenciatura y la maestría en ingeniería eléctrica en el Instituto Tecnológico de Morelia en 1993 y 1997 respectivamente. Obtuvo el doctorado en el CINVESTAV, Campus Guadalajara en el 2003. Durante el 2001 fue estudiante visitante en Virginia Polytechnic Institute and State University, Bradley Department of Electrical and Computer Engineering, Blacksburg, VA, Estados Unidos. Trabajó durante ocho años en la fabricación de transformadores de

distribución de hasta 1500 kVA en 33 000 V. Sus intereses de investigación están relacionados con transformadores. Ha publicado alrededor de 20 artículos en congresos nacionales e internacionales y 6 artículos en revistas con arbitraje riguroso. Actualmente es miembro del Sistema Nacional de Investigadores (nivel 1).



Salvador Magdalena. Nació en la Piedad Michoacán en 1983. Está estudiando su licenciatura en ingeniería eléctrica en Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Sus áreas de investigación incluyen cálculos numéricos de campos electromagnéticos utilizando el método de elemento finito.