MODELO DIDÁCTICO DE TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCIÓN PARA EL ESTUDIO DE LAS MÁQUINAS ELÉCTRICAS CON ÉNFASIS MECATRÓNICO

Hugo Nelson Chaverra Ospina, Henry William Peñuela Meneses, María Elena Leyes Sánchez

Universidad Tecnológica de Pereira
Pereira, Colombia

Resumen

En la línea de investigación de diseño de máquinas mecatrónicas del semillero MECABOTICA, adscrito al programa de Ingeniería Mecatrónica, se desea contar con los elementos suficientes para brindar a sus estudiantes las herramientas para el conocimiento de las distintas máquinas eléctricas que se encuentran en el sector industrial, y entender desde el concepto de ingeniería, su funcionamiento para determinar su utilización y también considerar su mantenimiento.

Se decide entonces, incursionar en un área de experticia distinta al quehacer mecatrónico, pero que garantice a los estudiantes el complemento académico suficiente para enfrentarse a la vida laboral o mejorar su campo de trabajo a nivel industrial.

Aprovechando la relación que tiene los estudiantes con el sector productivo regional, y más exactamente con industrias de fabricación de transformadores, se decide realizar un proyecto en el cual, se pueda crear el diseño y construcción de un transformador de distribución, de 5KVA con fines académicos, con todos sus accesorios pero con variantes tan innovadoras como utilizar material como aluminio en sus devanados, realizar pruebas, y corroborar los resultados al contrastarlo con uno convencional y poder ofrecer un criterio amplio desde la parte técnica, acerca del comportamiento del dispositivo.

También realizar de una forma didáctica, guías que conduzcan al estudiante, hacia el conocimiento del dispositivo y esclarecimientos de conceptos y teoría mediante su comprobación de manera experimental. Todo este proceso, se realiza enmarcado en la

normatividad internacional existente (NTC 836 y 837), así como criterios de manejo de simulación en distintos softwares CAD, para garantizar su comportamiento antes de proceder a la construcción.

Palabras clave: transformador; máquinas eléctricas; mecatrónico; distribución

Abstract

In the line of research on the design of mechatronics machines in the MECABOTICA seedbed, attached to the Mechatronics Engineering program, it is desired to have enough elements to provide its students with the tools for the knowledge of the different electrical machines found in the industrial sector. And understand from the concept of engineering, its operation to determine its use and also consider its maintenance.

It is then decided to enter an area of expertise other than mechatronics, but to guarantee students the academic complement sufficient to face the working life or improve their field of work at the industrial level.

Taking advantage of the relationship that students have with the regional productive sector, and more accurately with manufacturing industries of transformers, it is decided to carry out a project in which the design and construction of a distribution transformer can be created, of 5KVA for academic purposes , With all its accessories but with variants as innovative as using material such as aluminum in its windings, perform tests, and corroborate the results when contrasted with a conventional one and be able to offer a wide criterion from the technical part, about the behavior of the device.

Also to do in a didactic way, guides that lead to the student, towards the knowledge of the device and clarifications of concepts and theory by means of its experimental verification. All this process is done within the framework of existing international regulations (NTC 836 and 837), as well as simulation management criteria in different CAD software, to guarantee their behavior before proceeding to construction.

***Keywords**: transformer; electric machines; mechatronics; distribution*

1. Introducción

Uno de los mejores inventos vistos en el mundo de la electricidad es sin lugar a duda el transformador, este es probablemente uno de los elementos más útiles, ya que puede elevar o reducir voltajes o corrientes en los circuitos de corriente alterna, puede aislar circuitos entre si y modificar valores en: capacitores, inductores o resistores en los circuitos eléctricos. Finalmente, el transformador nos facilita la transmisión de energía eléctrica a grandes distancias y la distribución de la misma en forma segura a hogares y fábricas.

En la línea de investigación del programa de Ingeniería Mecatrónica, se define su utilidad pues se necesita adquirir conocimiento en el manejo de las distintas máquinas eléctricas que se presentan en los sistemas industriales.

El sector productivo regional, desea la capacitación de su personal en distintas áreas, que complemente su desarrollo laboral, entonces, se propone el reto académico, tendiente a desde la experimentación crear un diseño de un transformador de distribución de 5 KVA, pero lo importante, es generar propuestas innovadoras, al utilizar materiales atípicos, pudiendo desarrollar nuevo conocimiento, al someter el proceso a pruebas, que son propias para este tipo de dispositivos, y así construir nuevos conceptos alrededor de la práctica.

Como insumo adicional, se considera la documentación del proceso, mediante la construcción de guías, que ayuden al manejo del proceso, para que cualquier estudiante, también pueda realizarlas.

2. Diseño mecatrónico del modelo transformador de distribución.

Según la aplicación estas máquinas estáticas pueden estar destinadas a transformar potencias de cierta consideración, con una alimentación de tensión y frecuencia fijas a estos se les llama transformadores de potencia. Puede usarse también en otros circuitos de comunicación diseñados para trabajar con tensiones y frecuencias variables, denominados transformadores de comunicación. Otra de las posibles aplicaciones consiste en facilitar la conexión adecuada de instrumentos de medida o de protección, llamados transformadores de medida.

Por los sistemas de tensiones, se clasifican en monofásicos, trifásicos, trifásicos hexafásicos, trifásicos dodecafásicos, trifásicos monofásicos etc. Si se relaciona un aumento en la tensión o la disminución de la misma, se denominan transformadores elevadores o reductores. Además, si se considera el lugar a utilizarse se pueden llamar: transformadores para interiores o tipo intemperie. De acuerdo con el agente refrigerante se denominan transformadores secos, sumergidos en aceite o con pyraleno. Pero si proporcionan permanentemente su potencia nominal con refrigeración natural o no, se distinguen los transformadores con refrigeración natural de los transformadores con refrigeración forzada.

Para la construcción de un transformador, se dispone el siguiente diagrama:

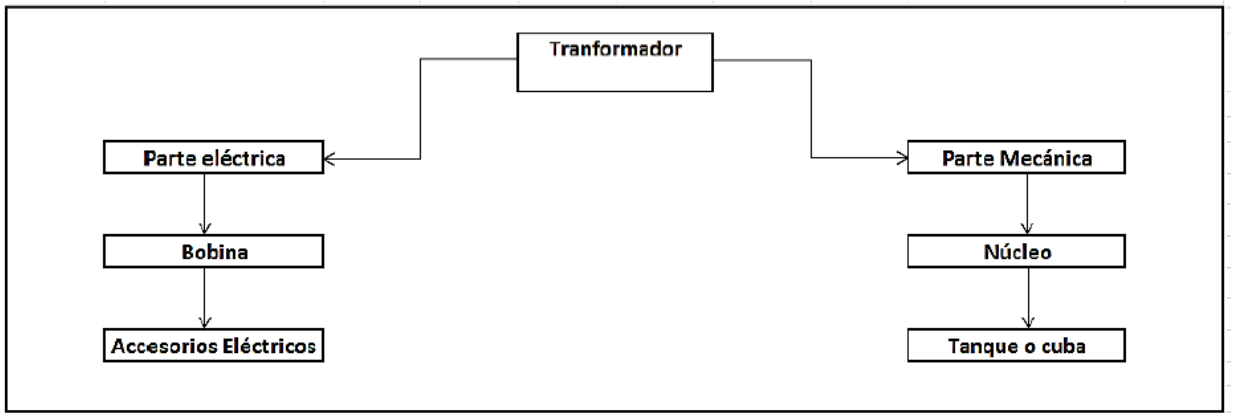

Figura 1. Diagrama sobre el proceso de construcción de un transformador

Al considerar, el desarrollo de este proceso, se tiene especial atención en lo concerniente a la parte mecánica, pues es allí, donde se incorpora la modificación en su estructura de núcleo, cambiando el material tradicional por aluminio.
Se realizan las pruebas correspondientes en los elementos mecánicos del dispositivo, enumerando los siguientes aspectos sujetos a medición:

- Datos bajo norma (Ubicación accesorios, distancias, pesos, temperaturas, factores de seguridad, componentes mecánicos)

- Datos de diseño (Dimensión parte activa, accesorios, volumen de aceite, peso total del transformador)

- Aspectos para simulación:
  - Tanque (cuerpo-tapa-fondo): Simulación presión positiva 10 psi.
  - Orejas de izaje: Peso del equipo más factor de seguridad de 5.
  - Soportes para colgar al poste: Peso del equipo más factor de seguridad de 5.

- Caracterización núcleo para el transformador monofásico: El transformador está constituido por los devanados y el núcleo, los cuales se denominan también como "parte activa" del transformador. El núcleo se construye con láminas de acero al silicio con proporciones de 2 a 4% de este último. Los espesores de estas láminas varían entre 0,3 y 0,5 mm para frecuencias de 50 ciclos y constan de granos orientados, lo que permite una densidad mayor de flujo magnético.

  La fabricación de un transformador depende de la aplicación y diseño, estos pueden ser monofásicos y trifásicos. Por lo regular hay dos tipos de núcleo elementales en material de acero al silicio: Tipo núcleo y tipo acorazado.

  Difieren el uno del otro en la forma en que se construyen y alojan las bobinas en estos. Por la parte eléctrica la diferencia es poco apreciables entre los modelos, ya que en ambos las bobinas están ubicadas de forma concéntrica,

disponiendo la de menor voltaje más cerca del núcleo y la de mayor voltaje en la parte externa, esto por razones de aislamiento.

En lo referente a los tipos de núcleo, dichas diferencias se tipifican en la forma que se distribuye el flujo magnético, lo cual hace que el diseño de las bobinas también se vea afectado.

El núcleo acorazado proporciona un mejor soporte y mayor facilidad para la sujeción de las bobinas. Entre chapas debe haber un aislante eléctrico ya que cuando éste se somete a un campo magnético alterno, en su interior transitan corrientes parásitas llamadas técnicamente "corrientes de Foucault", las cuales generan un incremento en la temperatura interna del transformador; este aislamiento se consigue de diferentes formas: con una capa de barniz aplicado a entre laminas, con una hoja de papel muy delgada encalado sobre una cara de la chapa, etc.

Según el tipo de aislamiento se tienen diferentes efectos sobre el costo de la chapa y sobre la reducción de la sección neta del hierro. Para chapas de 0,35 a 0,5 mm de espesor, puede estimarse que la reducción de sección neta con aislación de barniz o papel es de un 10%.

En los transformadores pequeños se colocan las chapas una a una, alternando las juntas, para dar más solidez al conjunto y evitar piezas de unión entre partes del núcleo. En los grandes, las dos cabezas quedan separadas, y deben sujetarse con pernos roscados. En los transformadores de gran potencia suele ser necesario formar conductos de refrigeración en la masa del núcleo, para aumentar la superficie de disipación del calor se colocan entonces separadores aislantes, de espesor conveniente para la circulación del aceite.

- Caracterización de los devanados para un transformador monofásico

El devanado está conformado por un conductor de cobre o aluminio enrollado a través del núcleo en uno de sus extremos. El transformador está compuesto por dos bobinas, la primaria y la secundaria. La relación de vueltas del hilo entre el primario y el secundario nos indicará la relación de transformación. Es de aclarar, que existen restricciones para el uso de un transformador, como por ejemplo: la Ley de Lenz, hace referencia a que se necesita que la corriente sea alterna para que se produzca variación de flujo. En el caso de corriente continua el transformador no se puede utilizar.

3. Cálculos para la elaboración de un transformador de 5 KVA con devanados en aluminio.

Para la elaboración de un transformador se deben de tener algunos datos iniciales, y otros que se deben calcular, entre ellos los siguientes:

DATOS	VALOR
Potencia	5 kVA
Voltaje primario	13200 (V1)
Voltaje secundario	120 – 240 (V2)
Frecuencia	60 Hz
Número de fases	1
Material de los conductores	Aluminio
Tap principal	3 (+- 2 * 2.5%)
Norma bajo la cual se va construir	NTC
Pérdidas bajo carga	90 (W)
Pérdidas en vacío	30 (W)
Impedancia	3 %
Corriente en vacío	2.5 %
Bil AT	95 (kv).

Tabla1. Variables básicas del transformador monofásico. Fuente: Elaboración propia.

Para continuar con el diseño del transformador, se enumeran los pasos correspondientes, de las cuales, se manejan expresiones matemáticas, que apoyan el manejo analítico del diseño:

A. Cálculo conductor baja tensión
B. Cálculo conductor alta tensión
C. Cálculo de sección transversal de circuito magnético
D. Cálculo de número de espiras del devanado secundario
E. Cálculo del número de espiras del devanado primario
F. Cálculo del número de capas y de espiras por capa en baja tensión
G. Cálculo del número de capas y de espiras por capa en alta tensión
H. Cálculo del sistema de aislamiento
I. Cálculo del aislamiento del núcleo
J. Cálculo de aislamiento entre capas de baja tensión
K. Cálculo del aislamiento entre alta tensión y baja tensión

Al culminar las etapas anteriores, se puede dimensionar los devanados del transformador, al visualizarse la siguiente gráfica:

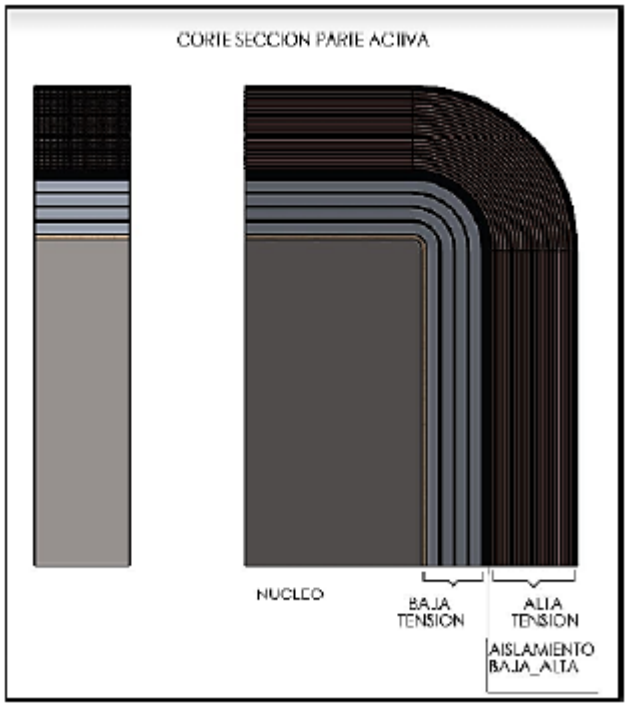

Figura 2. Corte sección transversal de devanados.

L. Cálculo del aislamiento entre capas de alta tensión

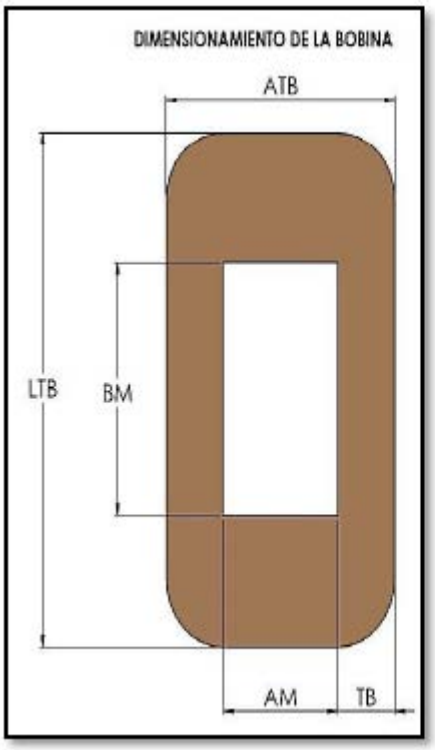

Figura3. Dimensionamiento de la bobina

M. Cálculos de la bobina (dimensionamiento)

N. Cálculos del núcleo (dimensionamiento del núcleo)

Figura 4. Dimensionamiento del núcleo

O. Cálculo de la longitud media 2 (Lm2)
P. Cálculo de resistencia de baja tensión
Q. Cálculo de longitud media 1 (Lm1)
R. Cálculo de resistencia de alta tensión
S. Cálculo de pérdidas bajo carga
T. Cálculo de pérdidas en vacío
U. Cálculo del peso del núcleo en Kg
V. Cálculo de pérdidas al 100 %
W. Cálculo de corriente de excitación (I0) 100 %
X. Cálculo de la impedancia del transformador (tensión de corto circuito)
Y. Cálculo de la reactancia inductiva (Xeq)

Figura 5. Apariencia final del núcleo.

4. Modelo de guía para pruebas de laboratorio de un transformador Monofásico

Para todo tipo de transformador existen varias pruebas de rutina para determinar el funcionamiento óptimo del dispositivo. En este modelo se enuncia las realizadas al transformador y que son el insumo para formular las conclusiones obtenidas de esta experiencia.

- Relación de transformación: Esta prueba consiste en medir la relación de voltajes o espiras entre dos o más devanados; para realizar esta prueba es necesario conocer como mínimo el voltaje primario, voltaje secundario y la polaridad en este caso por ser un transformador monofásico.
- Resistencia de los devanados: Son la base para el cálculo de las pérdidas resistivas en los conductores, además, es necesaria para la evaluación de la regulación y para el cálculo de la eficiencia a plena carga.
- Resistencia de los aislamientos (Meggueo): Se realiza antes de ejecutar pruebas con tensión, su finalidad es la visualización del estado de los aislamientos en cuanto a contaminación por presencia de agua, partículas metálicas o elementos extraños suspendidos en el aceite y a la distancia entre partes vivas.
- Tensión aplicada: Se realiza para determinar si el aislamiento entre devanados (AT – BT) y entre estos y tierra (AT-T y BT-T) son aptos para soportar tensión sin presentar falla.
- Tensión inducida: Se realiza para determinar si el aislamiento entre capas de un mismo devanado y el aislamiento entre espiras son aptos para soportar tensión sin presentar falla.
- Perdidas con carga y tensión de cortocircuito: Para las primeras se identifica las corrientes parásitas inducidas por el flujo de dispersión; y las concernientes a la tensión de cortocircuito, selecciona la tensión necesaria para hacer circular la corriente nominal a través de un devano, cortocircuitando el otro.
- Impedancia y tensión de cortocircuito
- Curva de magnetización del núcleo.

5. Conclusiones

- El proceso de elaboración de las bobinas con un material diferente al cobre, NO afecta su comportamiento en respuesta a la funcionalidad del mismo, se puede mencionar algunos como: líquidos refrigerantes, papel para aislamientos, cuba o tanque, brida para la parte activa y proceso de fabricación, entre otros.
- En la fabricación de un transformador es de vital importancia los protocolos de prueba, por efectos de procedimiento de elaboración, condiciones de trabajo pueden diferir entre lo mostrado de forma analítica mediante los cálculos respectivos y la puesta a punto en la implementación del mismo, razón por la cual, se realizaron las pruebas propuestas que se exigen en la industria para el prototipo experimental.

- Se comprueba que la herramienta de simulación, toma cada vez más importancia, pues evidencia antes de la construcción su pertinencia en la consideración de un mallado de modelos.
- Por último, se comprueba que para fines académicos es posible, reducir costos en la escogencia de materiales que garantizan iguales prestaciones que los convencionales.

Se evidencia como se puede logra una sinergia entre la academia y el sector productivo, en la búsqueda de mejorar las condiciones de capacitación del talento humano, en el conocimiento de nuevas estrategias educativas para garantizar que el estudiante, consiga alcanzar competencias que solo era obtenidas después de una experiencia laboral en este campo.

6. Referencias

- Enriquez Harper, G. El libro práctico de los generadores, transformadores y motores eléctricos. 1st ed. México: Limusa/Grupo Noriega Editores, (2000).
- Ras Oliva, E. Transformadores de potencia, de medida y de protección. 1st ed. México: Alfaomegamarcombo, (1995).
- IEEE, ANSI C57.12.20, versión 2011, Institute of electrical and electronics engineers, (2011), online ISBN: 978-0-7381-6989-7
- AWS, API 1104-E, American Welding Society, USA, 2008, ISBN 0871711613, 9780871711618.
- Instituto Colombiano de normas técnicas y certificaciones (ICONTEC), NTC-836 (Niveles de aislamiento y ensayos para transformadores sumergidos en líquido refrigerante), Santafé de Bogotá D.C. (1998).
- Instituto Colombiano de normas técnicas y certificaciones (ICONTEC), NTC-837 (Transformadores, ensayo del dieléctrico), Santafé de Bogotá D.C. (1997)
- Nafems.org. (2017). NAFEMS About engineering analysis and simulation - FEA, Finite Element Analysis, CFD, Computational Fluid Dynamics, and Simulación. [online] Available at: https://www.nafems.org/about/
- CARMAN, G. (2017). Método de Elementos Finitos con Solidworks Simulation | Grupo CARMAN. [online] Grupo CARMAN. Available at: http://grupocarman.com/blog/solidworks-simulation/ [Accessed 5 Mar. 2017].

Sobre los autores

- **Hugo Nelson Chaverra Ospina**. Estudiante Ingeniería Mecatrónica. Integrante del Grupo de Investigación MECABOT, Semillero de Investigación MECABOTICA. Universidad Tecnológica de Pereira. hugochaverra@utp.edu.co
- **Henry William Peñuela Meneses**. Ingeniero Electricista, Máster en Instrumentación Física. Profesor Facultad de Tecnología. Universidad Tecnológica de Pereira tesla@utp.edu.co

- **María Elena Leyes Sánchez**. Ingeniero Electricista, Máster en Instrumentación Física. Profesor Facultad de Tecnología y Facultad de Ciencias Básicas. Universidad Tecnológica de Pereira. mleyes@utp.edu.co

---

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2017 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)