

Monitoreo de la Temperatura del Punto Caliente en un Transformador Empleando LabVIEW

J.M. Fernández-Gallardo¹, M. A. Arjona ¹, C. Hernández-Flores ¹

Resumen— El presente artículo tiene como objetivo mostrar el desarrollo e implementación de un sistema que tiene la capacidad de monitorear la temperatura de punto caliente en un transformador trifásico de tipo seco. Para la visualización y procesamiento de los datos se utilizó el software de LabVIEW, debido a su sencilla programación por medio de diagramas de bloques y también por su capacidad de crear una interfaz amigable con el usuario. Para la medición de las variables se utilizaron termopares de tipo J debido a su complejidad robusta y también por el método con el cual se iba a realizar el monitoreo sobre el transformador. Para la adquisición de datos se utilizó la tarjeta NI-USB 6008 la cual ofrece una comunicación sencilla con el software de LabVIEW.

Temas claves—Diagrama de Bloques, Instrumento Virtual, LabVIEW, Temperatura de Punto Caliente, Termopares, Transformador tipo Seco.

Abstract— this paper shows the development and implementation of a system that has the ability to monitor the temperature of hot spot in a three-phase dry type transformer. LabVIEW software was used for data display and processing, because it is easy to program using block diagrams and also because of its ability to create a friendly user interface. For the measurement of variables, the J type thermocouple was used due to its sturdy construction and because of the method that will be used to conduct the monitoring on the transformer. NI USB-6008 board was used for data acquisition; it provides a simple communication with LabVIEW software.

Keywords— Block Diagrams, Dry Type Transformer, Hot Spot Temperature, Thermocouple, LabVIEW, Virtual Instrument.

I. INTRODUCCIÓN

El transformador es una máquina eléctrica cuya función consiste en transformar la potencia eléctrica mediante la acción del campo magnético. Su uso en la actualidad es

bastante común ya que se utiliza casi en cualquier proceso que incluya energía eléctrica. Esta máquina eléctrica se encuentra desde aparatos electrónicos hasta en líneas de transmisión y subestaciones. El hecho de que esta máquina sea indispensable para el suministro de energía eléctrica provoca que sea necesario mantenerla en óptimas condiciones para su desempeño.

La temperatura en los transformadores es una variable que influye de manera importante en las características de un transformador, ya que a partir de esta variable se puede determinar, desde la vida útil del transformador hasta las fallas internas del mismo. En la actualidad se han diseñado una serie de métodos por los cuales se puede obtener la temperatura de punto caliente; el método de termómetro que consta de medir con un termómetro digital el núcleo y los devanados del transformador (en caso de ser un transformador inmerso en aceite también se toma la temperatura del aceite), el método de resistencia que consiste en medir las resistencias de los devanados en frío y después de un periodo de 4 horas medir las resistencias a carga nominal para determinar la variación de temperatura en función de la resistencia medida y por último el método de detectores internos de temperatura, el cual consta de colocar sensores ya sea después o antes de la construcción del transformador, los cuales pueden ser termopares, sondas, sensores de fibra óptica, entre otros. Estos sensores son elegidos de acuerdo a las necesidades propias de la persona que realizará la prueba [1].

En este artículo, el método utilizado para determinar la temperatura de un transformador de tipo seco fue el de detectores internos de temperatura. El sistema consta de un conjunto de termopares colocados en secciones del transformador cuidadosamente seleccionadas, éstos mandan una señal que es procesada por un compensador de junta fría y es adquirida por una tarjeta de adquisición de datos de la marca National Instruments; posteriormente los datos son procesados por el instrumento virtual programado en el software de LabVIEW [2]-[4].

¹ Juan Manolo Fernández Gallardo, (manolo290890@hotmail.com), Marco Arjona, Concepción Hernández, Instituto Tecnológico de la Laguna, Blvd. Revolución y Czada, Cuauhtémoc S/N, Col. Centro, C.P. 27000, Torreón, Coahuila, México.

II. SISTEMA DE MONITOREO DE TEMPERATURA

El monitoreo se realizó en un transformador trifásico con una capacidad de 1000 Amperes al cual se le distribuyeron 6 termopares para determinar su temperatura de punto caliente, como se muestra en la Figura 1.

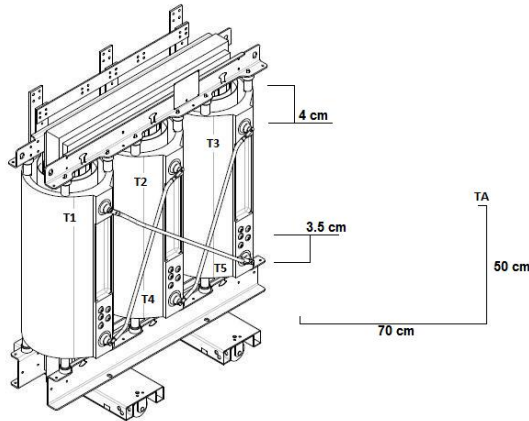


Figura 1. Distribución de Termopares

La distribución de los termopares fue seleccionada tomando en cuenta que la temperatura de punto caliente es la temperatura más alta de los tres devanados. La temperatura más alta se encuentra en la parte superior del devanado debido a que el calor tiende a subir.

La señal adquirida por los 6 termopares pasa por un circuito compensador de junta fría el cual limpia la señal y realiza la compensación que todos los termopares necesitan forzosamente para obtener una medición real. La señal ya filtrada es mandada a la tarjeta de adquisición NI-USB 6008, la cual manda las señales de los 6 termopares al instrumento virtual.

Instrumento virtual es la denominación otorgada a las interfaces programadas dentro del software LabVIEW. Todos los instrumentos virtuales constan de dos partes: el panel frontal, que es donde se muestran los indicadores y controles que interactúan con el usuario y el diagrama de boques, el cual constituye el segundo plano del programa y realiza todo el trabajo para que el programa desempeñe sus funciones [5]-[6].

A. Diagrama de Bloques de Calibración y Lectura

El proceso de calibración se encarga de calibrar el instrumento con una temperatura de referencia introducida por el usuario; la temperatura de referencia se define como la temperatura obtenida de las tensiones adquiridas por el termopar.

El programa inicia con el control que se muestra en la Figura 2, el cual en base a las iteraciones selecciona el

proceso de adquisición de datos para cada termopar.

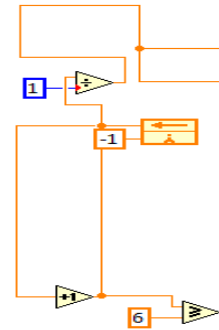


Figura 2. Control de secuencias

En la Figura 2 se muestra cómo de la primera salida que aparece en la parte superior sale un número de iteración que va conectado dentro del ciclo while para cambiar de caso y de índice que se asignará a los datos que son adquiridos por la tarjeta. En la parte inferior está la condición de ejecución de los ciclos. El ciclo de adquisición y organización se ejecutará 6 veces, una por cada termopar, de esta manera la calibración se realiza automáticamente para cada termopar. Al principio del programa, el usuario define la temperatura ambiente actual y de esta manera, esta temperatura se asigna automáticamente al termopar 1, 2,3 y así sucesivamente, mientras realiza también los procesos de adquisición y organización de datos.

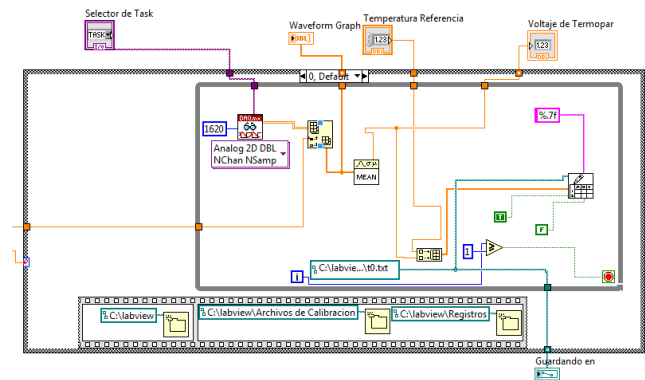


Figura 3 Ciclo de adquisición y organización

En el ciclo de adquisición y organización mostrado en la Figura 3 se observa que de izquierda a derecha, primero está la herramienta "DaqMx Read" que lee las 1620 muestras, y las manda a la herramienta "Index Array" (definida por el control de secuencias mencionado anteriormente), la cual crea un índice de datos. A estos datos se les saca un promedio (aquí es donde se muestra la

importancia de tomar la mayor cantidad de datos para una mayor aproximación) y se mandan a un “Write to Spreadsheet” junto con la temperatura de referencia que se introduce de forma manual. Este ciclo se autoejecuta 1 vez para los 6 termopares. Al terminar el proceso de lectura y registro de los 6 termopares, el control que se muestra en la figura 3.3 termina el ciclo. En la parte inferior del ciclo se encuentra un “Flat Sequence”, que se encarga de crear las carpetas donde se guardarán los registros de calibración de temperatura y de tensión. Esta secuencia de generación de carpetas sólo se realiza en el primer ciclo que corresponde al termopar 1. El siguiente ciclo que se activa es el encargado de leer los registros de los datos y de utilizar el método de mínimos cuadrados para lograr la linealidad del instrumento.

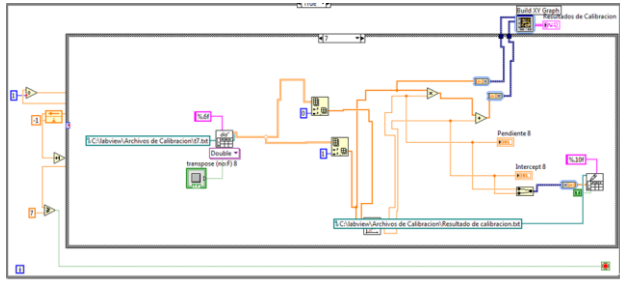


Figura 4 Lectura de registros y ajuste

El ciclo de la Figura 4 está controlado, como el anterior, con un “Feedback Node”, el cual hace automático el proceso y hace el cambio de caso para cada termopar.

Todos los casos de la secuencia funcionan de la misma manera. Primero leen el registro del termopar correspondiente según el control del “Feedback Node”, después los datos de temperatura y tensión leídos se separan para ser mandados a la herramienta “Linear Fit”, la cual emplea el método de mínimos cuadrados para el ajuste de la señal y se obtiene la pendiente e intercepción, que servirán para transformar los valores de tensión a temperatura más adelante.

Cada termopar tiene su propia pendiente e intercepción, no se puede suponer que todos los termopares sean iguales en su sensibilidad.

En el diagrama de bloques de lectura el ciclo funciona de tal manera que lee la señal de entrada de la tarjeta, luego esa señal es filtrada por un filtro pasivo de primer orden (1).

$$Tensión_{salida} = \frac{Tensión_{entrada} - Tensión_{salida}}{\tau} \quad (1)$$

En la Figura 5 se muestra como se integra continuamente reduciendo los picos y el valor de dt introducido en esta herramienta; se tomó la de la frecuencia de muestreo que es 1560Hz, que en segundos serían 0.000641s.

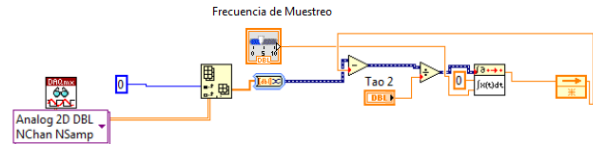


Figura 5 Integración continua

Después de limpiar los datos, se leen los datos del “MathScript” mostrado en la Figura 6, que contienen la pendiente y la intercepción que serán ordenados en forma de matriz.

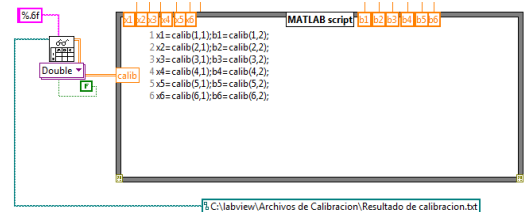


Figura 6 MathScript

Estos datos que representan la pendiente e intercepción son introducidos en un sumador y un multiplicador, para formar la función lineal. Después de esto los datos son enviados a un “Waveform Chart”, el cual grafica la temperatura continuamente.

Durante este ciclo se puede realizar un registro con los datos obtenidos, los cuales se guardan en 2 archivos: uno es contiene las lecturas de tensiones y el otro las lecturas de temperatura. Este registro de datos es realizado por el control mostrado en la Figura 7, que sirve para realizar el registro en un intervalo determinado por el usuario.

La función de registro trabaja de manera que cuando se activa el botón localizado al inicio del diagrama, se activan ambos relojes en cada intervalo que define el usuario. Es decir, la condición será verdadera cuando el tiempo es el seleccionado. El ciclo de la parte superior se encarga de registrar las tensiones recibidas de los termopares, mientras el ciclo inferior se encarga de registrar las temperaturas que se muestra en el waveform chart.

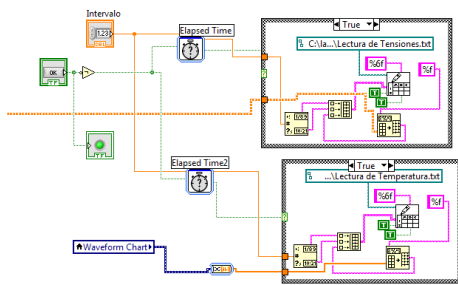


Figura 7 Función de registro

B. Interfaz

La interfaz se divide en dos pestañas, una para calibración y otra donde muestran los resultados.

En la Figura 8 se muestran dos gráficas, la de la izquierda corresponde a la tensión censada en cada termopar; conforme se censa, la tensión es mostrada individualmente. Debajo de esta gráfica se muestra, en el indicador “Voltaje de Termopar”, la medida de tensión.

Una de las partes fundamentales de este proceso de calibración es el indicador donde se introduce la temperatura ambiente de referencia, como su nombre lo indica es “Temperatura de Referencia”.

Guardando en, es el indicador encargado de mostrar la ruta de guardado del archivo con extensión .txt, correspondiente a la lectura de tensiones de los termopares. Los archivos de texto se generan de forma individual para cada termopar, con su respectiva temperatura de referencia y por defecto se guardan en una carpeta creada en la raíz del sistema, la cual lleva por nombre Labview.

En la gráfica del lado derecho se encuentra la gráfica donde se muestra la recta dibujada. En el lado derecho se muestran los indicadores de la pendiente e intercepción, calculadas individualmente.

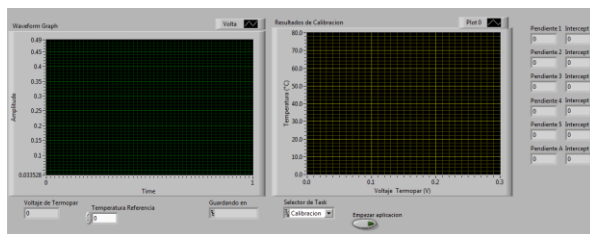


Figura 8 Pestaña de calibración

En la parte inferior se muestra un indicador que corresponde a la funcionalidad de la tarjeta de adquisición de datos la cual consta de un proceso denominado “Task” en el cual se programa la tarjeta para recibir cierto rango

de tensiones, frecuencia de muestreo y número de muestras.

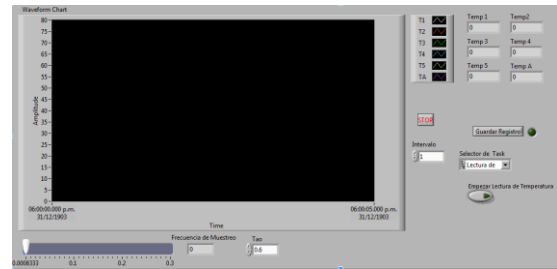


Figura 9 Pestaña de resultados

La pestaña de resultados mostrada en la Figura 9 es el proceso más simple, ya que sólo se encarga de recibir los datos, los cuales son expuestos en una sola gráfica para una fácil comparación entre temperaturas.

Las partes con las que interactúa el usuario en esta sección, son el “intervalo” que sirve para determinar el intervalo en segundos para realizar el guardado de registros, y el selector de “Task” que corresponde a la tarea de lectura.

Como se muestra en la Figura 1, los termopares del 1 al 3 fueron introducidos en la parte superior, entre las capas del devanado, a una profundidad de 4cm. Los termopares 4 y 5 fueron colocados en la parte inferior entre las capas del devanado a una profundidad de 3.5 cm, y el termopar correspondiente a la temperatura ambiente, fue colocado a una distancia de 70 cm del transformador con una altura de 50 cm con respecto al suelo.

Para determinar la profundidad de los termopares se realizaron mediciones constantemente sobre los devanados para determinar a qué profundidad se registraba la temperatura más alta. Estas pruebas consistían en colocar dos termopares a diferentes profundidades para determinar a qué distancia se registraba la temperatura más alta.

Ya colocados los termopares dentro de las capas del transformador el sistema es conectado como se muestra en el diagrama de la Figura 10.

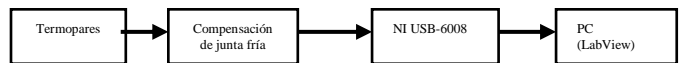


Figura 10 Diagrama de conexión

La prueba consistió en poner en cortocircuito el transformador del lado de baja tensión, suministrándole al transformador una corriente, que se fue variando para cada prueba con un autotransformador variable. El transformador fue operado a su 20%, 40%, 60%. Se fijó como límite el 60 % para evitar el sobrecalentamiento de los conductores. Las pruebas duraron alrededor de 7 horas

a una carga constante. La Tabla 1 muestra las corrientes y tensiones obtenidas de las pruebas al transformador [7].

TABLA 1
Pruebas

Prueba a 20% de capacidad con una tensión en terminales de alta de 6v						
6Volts en H	X1	X2	X3	H1	H2	H3
Corrientes	160	209	159	11.5	11.8	11.3
Prueba a 40% de capacidad con una tensión en terminales de alta de 11v						
11Volts en H	X1	X2	X3	H1	H2	H3
Corrientes	305	404	295	22.5	23	21.4
Prueba a 60% de capacidad con una tensión en terminales de alta de 15v						
15Volts en H	X1	X2	X3	H1	H2	H3
Corrientes	452	605	437	32.9	33.6	30.5

Los resultados de cada prueba son mostrados en la Tabla 2

TABLA 2
Temperatura de punto caliente en cada prueba

Prueba a 20% de capacidad con una tensión en terminales de alta de 6v						
Termopar	T1	T2	T3	T4	T5	TA
Temperatura °C	32.09	33.98	32.11	32.35	32.06	24.57
Prueba a 40% de capacidad con una tensión en terminales de alta de 11v						
Termopar	T1	T2	T3	T4	T5	TA
Temperatura °C	51.82	58.43	49.77	47.29	47.08	25.79
Prueba a 60% de capacidad con una tensión en terminales de alta de 15v						
Termopar	T1	T2	T3	T4	T5	TA
Temperatura °C	81.03	93.39	79.75	73.51	66.48	25.55

La temperatura de punto caliente del transformador corresponde a la temperatura más alta de los 3 devanados, en el caso de las tres pruebas la temperatura del termopar 2 fue la temperatura más alta [8]-[10].

III. CONCLUSIONES

Para obtener la temperatura de punto caliente hay diversos métodos matemáticos: conocer los factores influyentes en la temperatura del transformador, o relacionar la carga con la temperatura, y definir mediante la carga qué temperaturas alcanza el transformador. Pero

todo esto puede ser poco fiable debido al error humano. La confiabilidad del instrumento prueba que no sólo es un instrumento de medición sino una herramienta para proporcionar datos. En el manejo actual de la instrumentación, automatización y control, el objetivo es alcanzar un proceso en el que el usuario no tenga la necesidad de intervenir, y este instrumento exceptuando el proceso de colocación de las sondas, mejora el proceso de adquisición y registro de temperatura que no solo se limita a transformadores.

IV. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Instituto Tecnológico de la Laguna, TNM, PRODEP, y CONACYT por el apoyo brindado para el desarrollo de este trabajo.

V. APÉNDICE A: FILTRO PASIVO PRIMER ORDEN

Un filtro paso bajo corresponde a un filtro electrónico caracterizado por permitir el paso de las frecuencias más bajas y atenuar las frecuencias más altas.

Para la implementación de un filtro se toma como modelo un filtro paso bajo pasivo de primer orden. Donde C(s) es la salida, R(s) es la entrada y t el tiempo de respuesta (2)

$$c(s) = \frac{R(s)}{\tau s + 1} \quad (2)$$

El modelo aplicado de la ecuación en LabVIEW (3)

$$\frac{d[C(t)]}{dt} = \frac{R(t) - C(t)}{\tau} \quad (3)$$

VI. REFERENCIAS

- [1] CHEN Wei-gen, LIU Jun, WANG You-yuan, LIANG Liu-ming, ZHAO Jian-bao, YUE Yan-feng. The Measuring Method for Internal Temperature of Power Transformer Based on FBG Sensors. International Conference on High Voltage Engineering and Application November 9-13, 2008. pp 672 – 676.
- [2] Areny Pallás, R. Sensores y Acondicionadores de Señal. Marcombo, S.A. 4ª Ed. 2005.
- [3] Diego Ramírez Muñoz, Fundamentos de Electrónica, Sensores Termoeléctricos: Termopares, Disponible en: http://www.uv.es/ramirez/Docencia/LO/Notas_termopares.pdf
- [4] Palacio Fernández, H. Instrumento Virtual Para el Monitoreo Térmico en Zona De Boquillas De Baja Tensión En Un Transformador. Instituto Tecnológico de la Laguna. Torreon Coahuila 2010.
- [5] Lajara Vizcaíno, J. LabVIEW Entorno Gráfico de Programación. Marcombo, S.A. 2ª Ed. 2013.
- [6] José Miguel Molina Martínez, Jose Miguel / Jimenez Buendía, Manuel. Programación Grafica para Ingenieros. Marcombo. S.A. 1ª Ed. 2010

- [7] IEEE Guide for Loading Dry-Type Distribution and Power Transformers. IEEE Std C57.96-1999(Revision of IEEE Std C57.96-1989).
- [8] IEEE Guide for loading mineral oil-immersed transformers. IEEE Std. C57.91-1995.
- [9] IEEE Standard Test Code for Dry-Type Distribution and Power Transformers. IEEE Std C57.12.91™-2011(Revision of IEEE Std C57.12.91-2001),
- [10] M.SRINIVASAN. Assessing the Reliability of Transformer Top Oil Temperature Model. International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering Vol. 19, No. 5 Noviembre 2012. pp1-14

VII. BIOGRAFÍA



Juan Manolo Fernandez Nació en Torreón, Coahuila de Zaragoza, México, el 29 de Agosto de 1990. Ingeniero Eléctrico egresado del Instituto Tecnológico de la Laguna, Torreón, Coahuila de Zaragoza, México en 2013. Actualmente estudia la Maestría en Ciencias en Ingeniería Eléctrica en el Instituto Tecnológico de la Laguna. Su área de interés es el desarrollo de instrumentos

virtuales.



Concepción Hernández Flores Ingeniera en Sistemas Computacionales egresada del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Morelos, en 1991. Obtuvo el grado de Maestra en Ciencias en Sistemas Computacionales por el Imperial College of Science, Technology and Medicine en Londres, Inglaterra en 1995.

Obtuvo el grado de Doctora en Ciencias en Ingeniería Eléctrica por el Instituto Tecnológico de la Laguna, en 2007. Actualmente forma parte de la planta académica del posgrado en Ingeniería Eléctrica del Instituto Tecnológico de la Laguna.



M.A. Arjona Ingeniero Eléctrico egresado del Instituto Tecnológico de Durango en 1988. Obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería Eléctrica por el Instituto Tecnológico de la Laguna en 1990. Obtuvo el grado de Doctor en Filosofía en Ingeniería Eléctrica por el Imperial College of Science, Technology and Medicine en Londres, Inglaterra en 1996. Actualmente

forma parte de la planta académica del posgrado en Ingeniería Eléctrica del Instituto Tecnológico de la Laguna.