

# **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PARA AUTOMATIZAR LA PRUEBA DE CALENTAMIENTO EN TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN SUMERGIDOS EN ACEITE BAJO LA NORMA ANSI C 57.12.90 Y ESTUDIO DE UN MÉTODO ALTERNATIVO PARA DISMINUIR LOS TIEMPOS DE EJECUCIÓN DE LA PRUEBA BASADO EN EL MODELO TÉRMICO PARA LA EMPRESA ECUATRAN S.A.**

Freire Washington (1); Hallo Vicente (2); Cherres Fabricio (3); Sarabia Bladimir (4)

(1) wrfreire@espe.edu.ec

(2) vdhallo@espe.edu.ec

(3) fabriciocherres1289@gmail.com

(4) bladimir\_0112@hotmail.com

Departamento de Eléctrica y Electrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE  
Extensión Latacunga

## **ABSTRACT**

With the implementation and automation of thermal test oil immersed transformers shall be determined whether the design of the parts, major components of a transformer meets the required properties to dissipate the heat generated by the proper operation thereof when operating at nominal power thus ensuring the life of the transformer as well as a study of an alternative method to help decrease the execution time of the test is performed.

## **RESUMEN**

Con la implementación y automatización de la prueba térmica a transformadores sumergidos en aceite se determinara si el diseño de las partes, componentes principales de un transformador cumplen con las propiedades necesarias para disipar el calor generado por el funcionamiento propio del mismo cuando opera a potencia nominal, de esta manera asegurar la vida útil del transformador, además se realiza un estudio de un

método alternativo que ayude a disminuir los tiempos de ejecución de la prueba.

## **I. INTRODUCCIÓN**

Debido a la tendencia de crecimiento de la empresa, la demanda de transformadores de distribución y a las nuevas exigencias de los clientes, ECUATRAN S.A. tiene que desarrollar continuamente nuevos diseños de transformadores, debido a esto la prueba de calentamiento se ejecuta con mayor frecuencia a nuevas especificaciones para levantar un registro que retroalimenta al área de Ingeniería y se pueda validar dicha especificación.

## **II. PROCEDIMIENTO**

La automatización de la prueba de calentamiento se basa en la norma ANSI C57.12.90.

Las medidas de las variables físicas tanto de temperatura, voltaje y corriente se realizan mediante módulos, los mismos

que son acoplados a un chasis CompacDAQ, de National Instruments [1].

El software utilizado para la programación de este proyecto es LabVIEW que es un lenguaje de programación gráfico que utiliza íconos en lugar de líneas de texto para crear aplicaciones.

La interconexión entre la parte de control y de potencia se realiza de la siguiente manera:

El transformador de potencial (TP) va instalado en el banco de pruebas portátil desde donde se llevan las señales a las entradas analógicas.

Los transformadores de corriente son conectados en serie con las resistencias Shunt, estos instrumentos se instalan en el banco de pruebas portátil; de la salida de las resistencias shunt se llevan las señales hasta las entradas analógicas, las mismas que están en el chasis de la CompacDAQ instalada en una caja de control independiente del banco de pruebas portátil.

Dos señales de temperatura se llevan desde el banco de pruebas portátil hacia el módulo de entradas analógicas para temperatura en el Chasis CompacDAQ, una de la temperatura del variac y la otra de la temperatura del transformador principal.

Seis señales de temperatura se llevan desde el transformador bajo prueba hacia el módulo de entradas analógicas para temperatura en el Chasis CompacDAQ, temperatura del Top Oil, temperatura de la parte superior del transformador, temperatura de la parte inferior del transformador y tres temperaturas del ambiente alrededor del transformador bajo prueba en diferentes puntos.

Desde el módulo de salidas digitales en el chasis de la CompacDAQ se llevan las señales para el control automático del variac, para la conexión monofásica y trifásica, luces indicadoras de RUN y estabilización de temperatura del Top Oil y para el paro de emergencia.

### **III. PREPARACIÓN Y EJECUCIÓN DE LA PRUEBA**

Para iniciar la prueba de elevación de temperatura se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones:

Estabilidad de temperatura del transformador.

El ensayo debe ser realizado en un lugar libre de cambios bruscos de temperatura ambiente.

Escoger la escala adecuada de corriente en el medidor de resistencia para determinar si es posible medir la resistencia del devanado primario y del devanado secundario con la misma escala, caso contrario se deberá realizar la medida de forma individual para cada bobinado a escala conveniente.

La prueba una vez iniciada, no debe ser interrumpida y se deben tomar las precauciones y medidas de seguridad para evitar accidentes e interrupciones.

Para la ejecución de la prueba se tiene por supuesto un transformador de distribución, al cual se instalan termocuplas en diferentes puntos, para obtener la temperatura de la parte superior del aceite, incluyendo también las partes superiores e inferiores del tanque, la ubicación de las termocuplas varía con las diferencias estructurales que existen entre un equipo u otro, así:

**Termocupla 1 (para medir la temperatura del aceite):** La temperatura del aceite debe ser medida por una termocupla o termómetro adecuado, inmerso aproximadamente 5 cm bajo la superficie superior del aceite.

**Termocupla 2,3 (para medir la temperatura superior e inferior):** La temperatura de la superficie refrigerante (temperatura superior e inferior) debe ser medida por dos termocuplas o termómetros ubicados de la siguiente manera:

Nivel superior: Altura media entre el nivel del aceite y el extremo superior del devanado más cercano al nivel superior del aceite, o a  $\frac{3}{4}$  de la altura del transformador.

Nivel inferior: Altura media entre la base y el extremo inferior del devanado más cercano a la base, o a  $\frac{1}{4}$  de la altura del transformador.

**Termocupla 4,5,6 (para medir la temperatura ambiente):** La temperatura del aire o temperatura ambiente debe ser medida por un mínimo de tres termocuplas o termómetros espaciados uniformemente alrededor del transformador bajo prueba, a la altura media del transformador y a una distancia de uno a dos metros de él.

La medición de resistencia en frío debe ser realizada sobre el transformador sólo cuando la temperatura del líquido aislante o de los devanados es estable. Se considera estable si la temperatura del líquido de la parte superior no varía más de 2 °C en un periodo de 1 h.

#### **IV. ENSAYO DE ELEVACIÓN DE TEMPERATURA**

Bajo el método de cortocircuito IEEE [2] se suministra una corriente que permita obtener las pérdidas totales (pérdidas en vacío más las pérdidas en el cobre).

Las pérdidas se deben mantener constantes hasta que la elevación de temperatura del aceite en la parte superior con respecto al ambiente no varíe más de 1°C durante tres horas consecutivas. Cuando esto se cumple la elevación del aceite se estabiliza, seguido se baja a corriente nominal por un lapso de 1 hora.

Después de que se ha alcanzado el criterio de estabilización a pérdidas totales y se ha mantenido a corriente nominal durante una hora, se desenergiza el equipo, se retira el cortocircuito del lado de Bajo Voltaje y se mide resistencia de los devanados en un tiempo no mayor a 4min después de ser desenergizado.

La medición de resistencia después del corte de energía se debe realizar de forma continua registrando los valores del tiempo desde que fue desenergizado el transformador hasta que se tomó el primer valor de resistencia y en periodos de 15 seg (criterio asumido bajo base experimental) hasta completar una total de mínimo 20 lecturas.

#### **V. DESARROLLO DEL ENSAYO UTILIZANDO EL EQUIPO DISEÑADO**

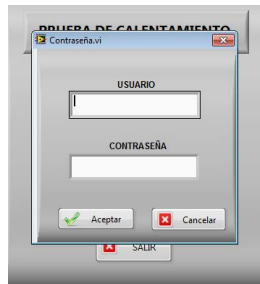
##### **Panel Principal**

La figura 1. muestra el menú principal de la prueba de calentamiento, mismo que permite en su inicio solamente escoger las opciones de acceso o salir de la aplicación, las demás opciones se encuentran deshabilitadas.



**Figura 1.** Menú principal de la prueba de calentamiento

Seleccionando la opción de acceso aparece una segunda ventana que permite realizar la verificación de usuario y contraseña, como se visualiza en la figura 2.



**Figura 2.** Ingreso de usuario y contraseña

Si el nombre de usuario y clave son correctas se habilitan las opciones de selección de pruebas, caso contrario regresará al panel inicial.

En el menú de pruebas principal se realiza la selección de la opción prueba (Monofásica o Trifásica) como se observa en la figura 3.



**Figura 3.** Selección de prueba

Una vez seleccionada la prueba se despliega una ventana como se muestra en la figura 4. donde se debe ingresar los datos del transformador, la ventana de datos puede ser para transformadores monofásicos o trifásicos de acuerdo al tipo de prueba.



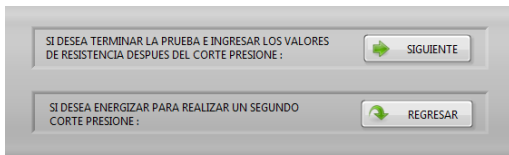
**Figura 4.** Ingreso de datos del transformador.

El panel frontal que se despliega después de haber ingresado los datos de este instrumento virtual como se muestra en la figura 5. está constituido por indicadores, se observan las variables de voltaje, corriente, potencia, factor de potencia, temperaturas así como el comportamiento de las temperaturas versus el tiempo mediante un indicador gráfico, además de una tabla donde se capturan y almacenan estos valores, para permitir el desarrollo final del informe del ensayo.



**Figura 5.** Panel frontal para prueba trifásica.

Al terminar la prueba se debe medir la resistencia de los devanados después del corte y se despliega una ventana en la figura 6. que permite escoger entre ingresar los valores de resistencia o energizar nuevamente la unidad cuando la resistencia de los devanados primario y secundario no puedan ser medidos en con la misma escala en el equipo medidor de resistencia. Como lo recomienda la norma IEEE [2], la unidad puede ser energizada nuevamente durante una hora, tiempo después del cual se mide la resistencia del devanado deseado.



**Figura 6.** Opción para volver a energizar.

Si la selección es el botón siguiente se despliega la ventana como se muestra en la figura 7. donde se ingresa los datos iniciales para el cálculo de resistencia de los devanados a temperatura final.



**Figura 7.** Datos para el cálculo de resistencia a temperatura final.

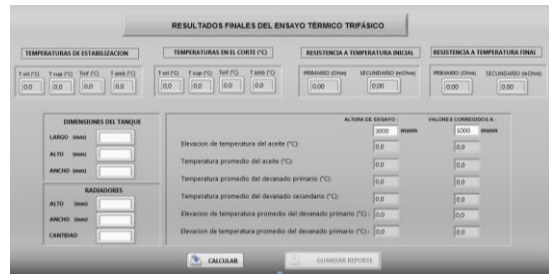
Al ingresar los datos iniciales se selecciona el botón continuar y se despliega la ventana como se muestra en la figura 8. donde se ingresa los valores

de resistencia los mismos que fueron medidos con el medidor de resistencia.



**Figura 8.** Ingreso de valores de resistencia.

Una vez ingresado los valores de resistencia y al presionar el botón siguiente se despliega una ventana como se muestra en la figura 9. donde se ingresará las dimensiones del tanque y radiadores posteriormente se seleccionara el botón calcular para mostrar los resultados finales del ensayo de elevación de temperatura y se habilitara el botón guardar reporte.



**Figura 9.** Resultados finales del ensayo térmico trifásico.

Finalmente al habilitarse el botón generar reporte, y seleccionar el mismo automáticamente se genera el protocolo de ensayo de elevación de temperatura (prueba de calentamiento), ya sea para un transformador monofásico o trifásico.

## VI. MÉTODO ALTERNATIVO PARA LA DISMINUCIÓN DEL TIEMPO DE EJECUCIÓN DE LA PRUEBA DE CALENTAMIENTO

La realización de la prueba tipo de calentamiento en transformadores, tiene como objetivo determinar el calentamiento máximo que tendrá el transformador en funcionamiento a carga nominal, y comprobar que esta temperatura este dentro del criterio de aceptación de las normas nacionales INEN e internacionales como la IEEE.

La capacidad calorífica del transformador depende de cada diseño para cada potencia, es decir que según el diseño, mecánico y eléctrico un transformador puede calentarse más o menos que otro transformador de la misma potencia y voltajes.

Siempre los diseñadores tratan de mejorar los modelos, acortando la cuba, disminuyendo las secciones de conductores y de los núcleos con el objetivo de abaratar costos de fabricación hasta llegar al límite térmico.

La prueba de calentamiento busca validar el nuevo diseño, verificando que los incrementos de temperatura sean seguros para la operación del transformador, que dichas temperaturas no lleguen a los puntos de degradación y peor aún de inflamación de los componentes del transformador.

El modelo térmico permite estimar el porcentaje de degradación que ha sufrido el transformador y permite tener una referencia de la capacidad de sobrecarga del transformador.

El método alternativo estudiado en este proyecto permite acortar el tiempo de ejecución de la prueba, que de la forma como lo estipula la IEEE 57.12.90 se tarda entre 15 y 20 horas para alcanzar la estabilización en el top oil. El método alternativo describe lo siguiente:

Energizar el transformador a carga nominal.

Sobrecargar a  $K=1,4$  de la carga nominal durante 1,25h.

Sobrecargar a  $K=1,1$  de la carga nominal durante 1,2h.

Sobrecargar a  $K=1,4$  de la carga nominal durante 1h.

Sobrecargar a  $K=1,2$  de la carga nominal durante 1h.

Mantener a carga nominal hasta alcanzar el criterio de estabilización del aceite.

Una vez alcanzado el criterio de aceptación mantener a corriente nominal del tap de prueba durante una hora.

Desenergizar y seguir el procedimiento normal de realización de la prueba.

Con la implementación del método alternativo se logra disminuir el tiempo de ejecución de la prueba, en el porcentaje particular para cada transformador, ya que la máxima temperatura y el tiempo que se tarda un transformador en alcanzar esa temperatura depende del diseño particular de ese transformador.

Después de culminada la prueba de debe evaluar la pérdida de vida inducida en el transformador.

Las ecuaciones que describen el comportamiento térmico del transformador son descritas en la IEEE [3].

En los transformadores que se realizaron los ensayos de calentamiento bajo el método alternativo han sufrido una disminución en su vida útil teórica estimada (Tabla 1.) que es muy despreciable considerando que se trata

de una sobrecarga controlada, y además que la afectación es hecha a un transformador por cada especificación, por el contrario se ha disminuido el tiempo de realización de la prueba (Tabla 2.).

**Tabla 1.** Pérdida de vida en transformadores ensayados.

TRANSFORMADOR	% De pérdida de vida
Transformador monofásico 25KVA. 13800GRDY7970/120-240	0,47
Transformador monofásico 37.5KVA. 13800GRDY7970/120-240	0,43
Transformador trifásico 75KVA. 13800V/220V	0,08
Transformador trifásico 112KVA. 6000V/220V	0,019

**Tabla 7.2.** Tiempo de ejecución de la prueba de calentamiento por el método alternativo usando el equipo desarrollado.

	Tiempo prueba de calentamiento bajo IEEE (Horas)	Tiempo prueba de calentamiento bajo el método alternativo. (Horas)	Disminución de tiempo. (Horas)	Disminución de tiempo. (%)
Transformador monofásico 25KVA. 3800GRDY7970/120-240	12	9	3	25
Transformador monofásico 37.5KVA. 13800GRDY7970/120-240	12	9	3	25
Transformador trifásico 75KVA. 13800V/220V	13	10	3	23
Transformador trifásico 112KVA. 6000V/220V	12,5	10,5	2	16

## VII. CONCLUSIONES

- Se diseñó y desarrolló el equipo y el software para automatizar el ensayo de calentamiento a transformadores de distribución sumergidos en aceite, bajo el método que establece la norma IEEE C57.12.90-2010, disminuyendo los tiempos de estabilización del aceite hasta un 20%.
- El software diseñado para el ensayo de calentamiento tiene una interface

versátil de fácil acceso e interpretación, facilitando a los operadores en este caso los laboristas de la empresa Ecuatran S.A. la realización del mismo.

- Con la implementación del equipo y el software diseñados se disminuyó el tiempo de ejecución de la prueba hasta un promedio del 26%, comparado con el tiempo que tomaba hacer la prueba de forma manual.
- La utilización del método alternativo permite reducir el tiempo de ejecución de la prueba hasta en un promedio del 22% comparado con el tiempo que se tarda realizar el ensayo bajo el procedimiento de la IEEE C57.12.90-2010 utilizando el sistema desarrollado.
- La pérdida de vida provocada al usar el método alternativo es un promedio de 0,45% equivalente a 34 días en transformadores monofásicos, y de un promedio de 0,25% equivalente a 19 días en transformadores trifásicos.

## VIII. RECOMENDACIONES

- El método alternativo debe ser considerado únicamente en el caso de que sea necesario acortar el tiempo de ejecución de la prueba de manera urgente, con la constante consecuencia de la pérdida de vida, que es despreciable.
- Asegurar que el ambiente donde se realiza la prueba de calentamiento, este libre de cambios bruscos de temperatura.

## REFERENCIAS

- [1] «National Instruments,» [En línea]. Available: [www.ni.com](http://www.ni.com). [Último acceso: 05 9 2014].
- [2] IEEE Std C57.12.90™-2010, Test Code for Liquid-Immersed Distribution, Power, and Regulating Transformers..
- [3] IEEE Std C57.91-1995; IEEE Guide for Loading Mineral-Oil-Immersed Transformers.