

Reducción del ciclo de prueba de elevación de temperatura EN TRANSFORMADORES DE POTENCIA

El periodo de estabilización de la prueba de elevación de temperatura en transformadores de potencia es clave para determinar su comportamiento térmico, pero en manufacturas esbeltas y de flujo continuo se busca una reducción de este periodo cuidando no afectar dicho comportamiento o no admitiendo factores que lo vuelvan errático o incorrecto en su evaluación

Por **Moisés Rodríguez Carrasco**

La estabilización térmica durante la prueba de elevación de temperatura, en transformadores de potencia inmersos en aceite mineral, se obtiene al estar cargándolos a una capacidad constante a su enfriamiento de diseño, y monitoreando, a través de sensores o termómetros, las temperaturas en diferentes localizaciones de acuerdo con lo establecido en las normativas nacionales o extranjeras (como ANCE/NMX, IEEE/ANSI, IEC, etc.); lo anterior tomando lecturas de temperaturas absolutas cada hora desde su arranque y tomando muestras de aceite antes y después de su conclusión para el análisis de gases disueltos. Para este estudio se consideraron varios casos de diferentes tipos de transformadores para observar comportamientos y resultados que validen el poder acelerar la estabilización sin afectar los resultados de los ensayos.

Como se comentó, se seleccionaron diferentes tipos de transformadores representativos para aplicarles la prueba de elevación de temperatura (ver tabla 1). De esta muestra se realizaron los ensayos normales (con su sistema de enfriamiento operando al 100 por ciento) y se midió el ciclo total en horas para luego aplicar el mismo ensayo, pero ahora cerrando válvulas inferiores de los radiadores (ONAN) y en algunos casos aplicando además el desenergizando de los motoventiladores (ONAF), también midiendo al final el ciclo total.

El proceso de estabilización se representa matemáticamente mediante la ecuación aritmética de las temperaturas absolutas de las localizaciones de los sensores en el transformador inmerso en aceite, y el ambiente, expresando el gradiente de estabilización (AOR) de la siguiente forma:

$$AOR = \text{Top oil} - \frac{(\text{Top Rad} - \text{Bott Rad})}{2} - \text{Avg ambient}$$

Caso #	1	2	3	4	5
Tensión (kV)	138x69-13.2	230-18	230-36.5	139.2-13.8	13.8-4.16
Capacidad (MVA)	21/28/35	162/216/270	45/60/75	45/60	16/17.92
Tipo de enfriamiento	ONAF	ONAF	ONAF	ONAF	ONAN
Cte térmica (hrs)	3.0	2.7	4.1	2.1	2.0
TOR calculado (°C)	47	60	56	57	60

Tabla 1. Casos de estudio de pruebas de elevación de temperatura

Donde el *Top oil* es la temperatura superior del tanque (tapa), *Top Rad* es la temperatura superior de radiadores, *Bott Rad* la temperatura inferior de radiadores y *Avg ambient* es la temperatura promedio del ambiente alrededor del transformador.

Es importante comentar que los contenedores para censar la temperatura ambiente deberán estar colocados a una distancia media de la altura del transformador entre 1 a 2 m de separación, en al menos 3 lados del transformador. La constante térmica de dichos contenedores deberá estar en +/- 2 h de lo calculado por diseño (ver figura 1):



Encendido y aseguramiento del sentido de giro de los ventiladores

Cierre-apertura de válvulas de radiadores



Distancia correcta entre radiadores y contenedores ambiente

Figura 1. Proceso de aceleración de la estabilización térmica

Se procede a cargar la unidad a una capacidad constante a pérdidas totales, limitando su enfriamiento, cerrando las válvulas inferiores de los radiadores (ONAN) y apagando los motoventiladores (ONAF) para poder acelerar su calentamiento, así mismo durante el proceso de monitoreo es importante ir comparando cada hora, el valor de la elevación del punto más caliente (TOR) contra el valor estimado por diseño para que al llegar a un 80 por ciento se proceda con el restablecimiento del enfriamiento aplicable de la capacidad de la unidad bajo prueba (se abren válvulas y se

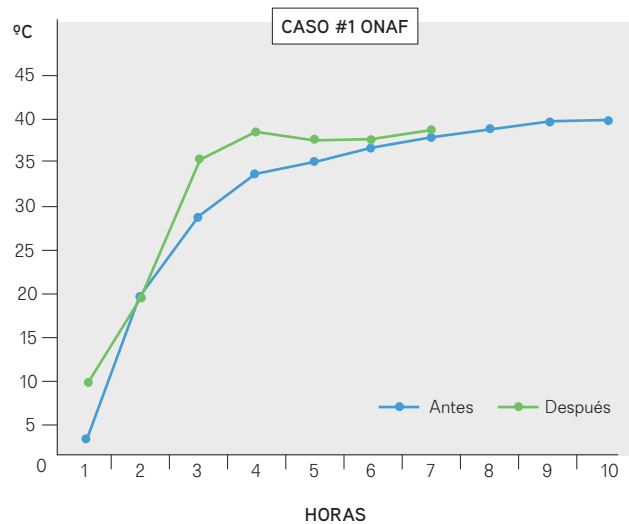
operan motoventiladores, según haya sido el caso). El gradiente TOR se calcula aritméticamente restando el valor promedio del ambiente a la temperatura de punto más alto del transformador (tapa), expresado de la siguiente forma:

$$TOR = Top\ oil - Avg\ Ambient$$

Donde el *Top oil* es la temperatura superior del tanque (tapa), y *Avg ambient* es la temperatura promedio del ambiente alrededor del transformador.

Una vez que el transformador alcance una estabilización térmica (AOR), y en las últimas 3 lecturas consecutivas de los intervalos de cada hora no haya incremento mayor a 1 °C, se procede a determinar la elevación de temperatura de sus devanados (esto último no es el propósito de este estudio). Se valida el tiempo del ciclo total hasta que llega a su estabilización, y después se procede a tomar una muestra de aceite para analizar la generación de gases a través de una cromatografía, validando que no exista un problema de degradación de aislamiento por el sobrecalentamiento controlado al que fueron expuestos los transformadores.

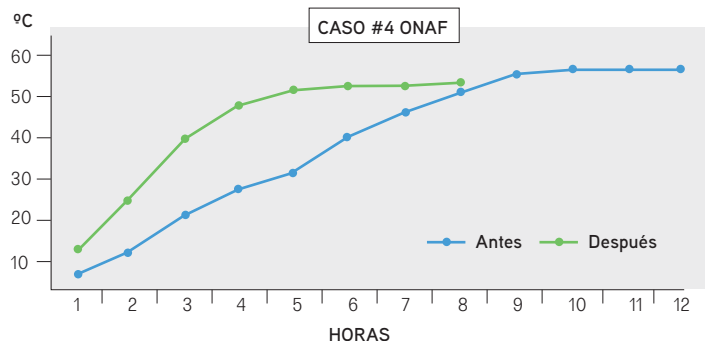
A continuación se muestran algunos resultados que reflejan el buen comportamiento de la generación de los gases disueltos en el aceite, y el “antes” (sin acelerar calentamiento) y el “después” (aplicando el aceleramiento) para validar una reducción importante en horas al ciclo de estabilización:



Límites de incremento de gases en transformadores después de temperatura

Gas	Límites	Resultados	Unidad
Acetileno	<0.3 ppm	0.0	ppm
Hidrógeno + Metano + Etileno + Etano	<2.0 ppm/hr	0.0	ppm/hr
Monóxido de carbono	<5.0 ppm/hr	0.1	ppm/hr
Dióxido de carbono	<20.0 ppm/hr	3.7	ppm/hr

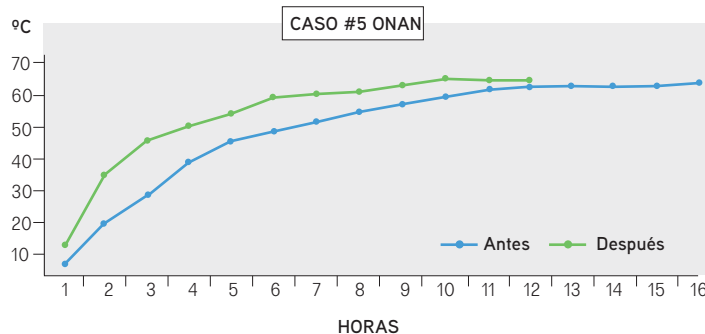
Diagnóstico: Aceite aceptado Método: ASTM D3612



Límites de incremento de gases en transformadores después de temperatura

Gas	Límites	Resultados	Unidad
Acetileno	<0.3 ppm	0.0	ppm
Hidrógeno + Metano + Etileno + Etano	<2.0 ppm/hr	0.3	ppm/hr
Monóxido de carbono	<5.0 ppm/hr	0.4	ppm/hr
Dióxido de carbono	<20.0 ppm/hr	3.6	ppm/hr

Diagnóstico: Aceite aceptado Método: ASTM D3612



Límites de incremento de gases en transformadores después de temperatura

Gas	Límites	Resultados	Unidad
Acetileno	<0.3 ppm	0.0	ppm
Hidrógeno + Metano + Etileno + Etano	<2.0 ppm/hr	0.0	ppm/hr
Monóxido de carbono	<5.0 ppm/hr	0.0	ppm/hr
Dióxido de carbono	<20.0 ppm/hr	3.0	ppm/hr

Diagnóstico: Aceite aceptado Método: ASTM D3612

Figura 2. Evidencias de casos aplicando una aceleración controlada en el proceso de estabilización térmica

En los últimos 11 años, usando esta metodología de acelerar el calentamiento para lograr una rápida estabilización térmica, se han ensayado, con resultados satisfactorios, más de 2500 transformadores de potencia con una reducción promedio de un 25 por ciento en horas del ciclo total de la prueba de elevación de temperatura.

El planteamiento práctico del proceso de acelerar el calentamiento de un transformador de potencia para alcanzar una rápida estabilización térmica (“fast heating”) nos trae como beneficio no sólo tener un corto ciclo en la prueba, generando margen de maniobra para mover la línea de producción como parte de la iniciativa de un sistema de flujo continuo (incremento de capacidad o volumen), sino también ahorro en el costo de la energía que se mantiene durante dicho proceso y todo esto sin exceder sus parámetros de aceptación, validando la correcta funcionalidad del producto. 📄

✦ **Moisés Rodríguez Carrasco**

Se graduó de la Universidad Autónoma de Nuevo León y tiene estudios de Maestría en Ciencias de la Ingeniería Eléctrica con especialidad en sistemas de potencia de la escuela de graduados de la FIME -UANL. Actualmente trabaja en el departamento de Pruebas Eléctricas de Prolec GE, y desde el año 2000 es representante autorizado por la Entidad Mexicana de Acreditación AC.

