

## LAS FALLAS ESTRUCTURALES EN TRANSFORMADORES SECOS

### EL EFECTO BUCKLING



#### INTRODUCCION:

En transformadores secos, las fallas mecánicas son catalogadas como distorsiones, aflojamiento o desplazamientos de los devanados, que derivan finalmente en un evento eléctrico (siniestro), cuando la pérdida de la capacidad o propiedades dieléctricas del transformador, colapsan finalmente en un corto circuito.

Estas fallas mecánicas, resultan en una disminución progresiva del desempeño del transformador, por movimientos y vibraciones, producidas por transitorios, reparaciones inadecuadas, corrosión, mal mantenimiento, o por defectos de origen.

Las elevadas fuerzas electrodinámicas asociadas a transitorios, conmutaciones y corrientes de cortocircuito, llevan a deformaciones elásticas de la estructura de las bobinas, o bien a deformaciones permanentes; estas últimas más graves, extensas e irreversibles.

#### EL EFECTO BUCKLING:

Los aflojamiento por debilidad estructural de un bobinado, ante grandes esfuerzos radiales, conducen

a una deformación destructiva del arrollamiento interno, en donde los conductores se pliegan y el devanado originalmente cilíndrico, pasa a adoptar una forma característica de estrella de mar.

Los devanados internos son más críticos para soportar los esfuerzos radiales, debido a que en ellos puede manifestarse un colapso por inestabilidad de forma, dando lugar a la aparición del conocido efecto "buckling" del inglés, o "flambage" del francés.

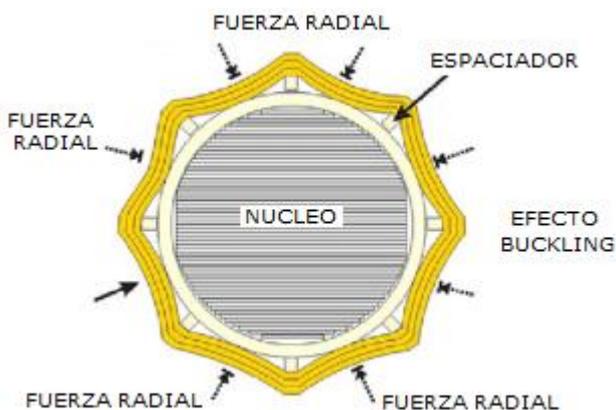
Para estos arrollamientos que se apoyan en un conjunto de listones verticales uniformemente distribuidos, se puede suponer a cada tramo de ese arrollamiento como una viga con carga uniforme, soportados por un cilindro de material aislante que circunscribe el núcleo (carrete). Este cilindro a su vez, está acuñado mediante un conjunto de listones de centrado sobre el núcleo.

Con la existencia de canales axiales de refrigeración, las espiras externas pertenecientes a la última capa (exterior), serán las más solicitadas (campo de dispersión máximo), descargándose sobre las capas más internas.



En un evento de cortocircuito, las fuerzas electromagnéticas tienden a deformar los devanados para minimizar la densidad de energía magnética almacenada en todo su volumen.

En las imágenes, claramente es posible observar el efecto Buckling en los bobinados, producido principalmente, por fuerzas electrodinámicas radiales. Esta clase de fallas, generalmente ocurren en las zonas de cambios en la geometría del núcleo, donde se fusionan las partes rectas y redondas.



Las fuerzas y los criterios de resistencia relacionados, se pueden dividir entre los dos componentes:

- Fuerzas radiales
- Fuerzas axiales

En el caso de un transformador de dos devanados concéntricos, esto significaría que el devanado interior, tiende a reducir su radio, mientras que el devanado exterior, tiende a aumentarlo.

En direcciones axiales, los devanados son sometidos a una compresión para reducir su altura.

Estas fuerzas, originan fallas dieléctricas iniciales entre espiras, seguidas de un colapso mecánico.

En un transformador seco, generalmente construido con dos tecnologías diferentes de fabricación de bobinados: una del tipo impregnado (VPI), y otra del tipo encapsulado; estando ambas ubicadas en forma concéntrica al núcleo, los esfuerzos electrodinámicos, si bien deberán ser soportados por ambos bobinados, solo serán las bobinas no encapsuladas las que deberán demostrar su integridad estructural frente a los mismos.

Se debe recordar que el VPI (impregnación de arrollamientos en poliéster de alta temperatura o en barniz epoxi), ha sido la primera tecnología empleada en transformadores secos, con una larga historia y desempeño, pero con un alto nivel de descargas parciales, susceptibles a deformaciones por esfuerzos de corto circuitos, y no apta para ambientes agresivos.

El esfuerzo radial total o parcial se descargará siempre sobre estos apoyos, y por lo tanto, para el cálculo de los esfuerzos, se las considera siempre como una viga empotrada.

El problema de diseño consiste en determinar el número mínimo de distanciadores necesarios (luz de la viga) para garantizar la resistencia requerida ante las dos posibilidades de deformación geométrica para el arrollamiento interno: la denominada estrella de mar y el pandeo (buckling).

En estas bobinas, se pueden observar dos efectos en conjunto, tanto de esfuerzos radiales (hacia el centro del núcleo), como axiales (hacia arriba).

Mientras el esfuerzo radial produjo una deformación en forma de buckling, el esfuerzo axial tendió a expandir hacia arriba el bobinado interno, incrustando sus espiras contra el soporte superior de la bobina.



Si tras un desarme estructural para inspección interna, se observa que las bobinas no han sido sometidas luego de su manufactura, a un eficiente proceso de impregnación /polimerización por alto vacío, entonces, la debilidad estructural y la inestabilidad de fijación mecánica de las espiras, pasará a ser de esta manera, el primer factor de análisis de causa raíz de falla, debido a una pobre capacidad para soportar vibraciones, y cotidianos esfuerzos electrodinámicos.

#### **CONCLUSIONES:**

- Todo informe de causa raíz de falla, deberá estar estrictamente basado en el análisis de la documentación técnica y muestras suministradas por el contratante, reportes de las acciones realizadas, normas internacionales de ensayos, archivos fotográficos e historial de casos de similares, toda la cual deberá ser reunida y tomada como cierta y profesional, creando así la evidencia.

En ese informe, se detallarán los procedimientos y resultados de las pruebas efectuadas, para luego determinar con el mayor grado de confiabilidad el origen del siniestro.

De esta manera, el objetivo que se pretende alcanzar de la lectura de estos documentos, será el de determinar mediante las pruebas de laboratorio que se requieran, el desarme e inspección técnica visual interior, la denominada causa raíz de falla, con el mayor grado de confiabilidad de dictamen posible.

La presencia de un efecto Buckling en bobinados, es uno de los más claros indicios que permiten orientar con certeza al investigador, hacia el origen del siniestro de un transformador.

