NOVA MIRON
SERVICIOS & TRANSFORMADORES

Gestión del Fin de la Vida de Transformadores

Parte 3

1. Introducción

Como ya habíamos comentado en la Parte 2 de la presente serie de artículos, vamos a describir, a continuación, las características principales de la gestión de los activos envejecidos, junto a los efectos negativos asociados en los objetivos de la Gestión de Activos. También veremos una introducción a los correspondientes medios para proceder a tratarlos y atenuarlos.

En tal sentido, la presente Parte 3 quedará estructurada en los siguientes ítems a desarrollar:

a) Métodos básicos de evaluación de la condición.
b) Propósitos de los métodos.
c) Categorías generales de los métodos.

Recordemos, de lo ya indicado en las partes previas, que un aspecto importante a tener en cuenta, en todo nuestro desarrollo presente, será el hecho de que el sistema eléctrico que contiene a un conjunto de activos envejecidos y que aún se encuentran operativos, estará consecuentemente afectado por una mayor probabilidad de falla, lo cual se traduce en una menor Confiabilidad operativa del sistema.

A continuación se desarrollarán cada uno de los ítems citados.

2. Métodos básicos de evaluación de la condición

Podemos establecer que existen tres métodos para evaluar y determinar el estado de la condición de los activos en los Sistemas Eléctricos de Potencia.

Tendremos:

a) Inspecciones.
b) Ensayos.
c) Diagnósticos.

Nuestro enfoque estará orientado a la aplicación de estos métodos a aquellos activos eléctricos (en especial los transformadores de potencia y distribución) que se encuentren en la etapa de Fin de la Vida del correspondiente Ciclo de Vida.

Es importante destacar que la efectividad en la aplicación de estos métodos estará íntimamente relacionada con la implementación de un Programa de Mantenimiento bien diseñado y con la efectiva coordinación de la ejecución de los métodos citados.

Lo anterior debe complementarse con la información derivada de los registros operativos del activo, así como de las intervenciones realizadas a través del tiempo (Historia Clínica).

En tal sentido, será muy importante disponer de los siguientes datos e información, de cada activo evaluado:

- Registros/Informes de operación (incorporando los eventos asociados a problemas).
- Identificación del estado general del activo, así como su desempeño.
- Registro de Priorización del Mantenimiento, en referencia a la condición evaluada (Preventivo, Correctivo, Reacondicionamiento, Disposición).
- Estimación de la pérdida de vida del activo, causada por el uso.
- Alternativas económicas disponibles para la intervención.

Lo anterior requiere la disposición de Procedimientos, con el fin de organizar la gestión de tales programas.

Las inspecciones, los ensayos y los diagnósticos serán los medios básicos y efectivos para poder establecer el estado de la condición del activo energético a evaluar.

A continuación haremos una breve descripción de cada uno de estos métodos.

a) Inspecciones

Este método implica la evaluación de las condiciones del activo en función de las condiciones visuales y/o auditivas y/u olfatorias.

Fundamentalmente se basa en observar y en ciertas ocasiones en escuchar o escanear, el activo o cierta zona del mismo, de forma tal de evaluar, en primera instancia, su estado de la condición.

La inspección auditiva puede determinar problemas de pérdida por efecto corona en los cables de las líneas, así como descargas parciales en activos de MT y AT (celdas de MT).

Con equipos detectores adecuados, se podrá detectar aisladores agrietados, soportes de líneas corroídas, así como cables con fisuras.

Es importante resaltar que estas inspecciones pueden complementarse con instrumentos/equipos que permitan mejorar el detalle de la percepción sensorial, o bien cuantificar mejor los resultados obtenidos (cámaras de infrarrojo, detector UHF, etc.).

Como ejemplo de lo mencionado, el uso de cámaras infrarrojas asiste en identificar el activo que está operando por encima de los límites térmicos especificados (por ejemplo una inspección termográfica sobre los radiadores de un transformador de potencia).

También podemos disponer de equipos que ayudan en verificar el espesor de la pintura, además de verificar y evaluar el proceso de galvanización de los metales (a través del escaneado del material).

Siguiendo con este lineamiento, no deberá dejarse de lado la inspección olfativa. Puede ser de gran ayuda para determinar el estado de la condición primario de un aceite o por ejemplo de los bobinados de un transformador o de una máquina rotativa (bobinados quemados).

b) Ensayos

Los ensayos refieren a verificar el activo, así como sus sistemas de soporte asociados, con el objetivo de asegurar, con mayor precisión, su correcto estado de la condición, comprobando que éste puede operar según la especificación, o por la presencia de evidencia de que “algo está mal”.

Un transformador de potencia o de distribución, puede ser ensayado a plena carga, o bien simplemente ser monitoreado en detalle durante la operación.

En este caso, los datos operativos obtenidos (temperatura máxima, velocidad de incremento de la temperatura, pérdidas) pueden compararse con los valores esperados.

Ante cualquier desviación de los parámetros esperados (condiciones nominales de operación), se procederá a evaluar a través de un diagnóstico, el correspondiente estado de la condición.

c) Diagnósticos

Los diagnósticos implican la implementación de "pruebas/ensayos" que miden factores distintos de los directamente relacionados con la función del activo.

Los resultados de estas pruebas permiten discernir acerca de la condición interna del activo, el estado de los subsistemas que lo conforman y el eventual estado de una falla inminente.

En los activos de MT y AT, el aislamiento es el componente con mayor nivel de criticidad y por lo tanto los diagnósticos se orientan a su evaluación y determinación de la condición a lo largo del tiempo.

Por ejemplo, en el caso de los transformadores de potencia y distribución, se procede a evaluar y diagnosticar el estado del aceite dieléctrico, determinando la relación de degradación, el estado de contaminación (humedad y partículas en disolución), el nivel de gas combustible disuelto (tipo y cantidad), la velocidad de incremento de cada tipo de gas disuelto.

Lo anterior permite identificar eventuales estados de fallas internas, como ser desajustes en los pernos, problemas en los contactos del conmutador bajo carga, degradación del papel aislante, etc.

Atendiendo a lo comentado, la palabra “Ensayos” sobre un activo, refiere a las acciones implementadas para medir o verificar el desempeño del mismo, en referencia a sus especificaciones.

Pero también pueden tener un enfoque hacia el diagnóstico, como en el caso de un transformador, a través de la extracción de una muestra de aceite (ensayo del aceite) y su posterior análisis para determinar su estado de la condición.

Por lo tanto, un ensayo sobre un componente de un activo, como en el caso particular del aceite de un transformador, puede asumirse de la siguiente manera:

1. Ensayo del aceite para determinar si cumple sus funciones (refrigerante, aislante, atenuador de arcos internos y protector del papel). Por ejemplo el ensayo de rigidez dieléctrica mide directamente uno de los parámetros clave que determinan la capacidad de aislar (función aislante).

2. Ensayos de diagnóstico. El aceite se ensaya para determinar su nivel de acidez o de contenido de gases disueltos (CGD), entre otros. El ensayo CGD permite diagnosticar estados eventuales de fallas internas en el transformador.

3. Propósitos de los métodos

Las inspecciones, los ensayos y los diagnósticos se pueden corresponder en tres categorías diferentes, con tres diferentes propósitos asociados, a saber:

a) Ensayos de Aceptación o Comisionamiento

Con frecuencia, los activos nuevos se ensayan para verificar que no presenten un estado anómalo, antes de la puesta en servicio.
Además, se busca determinar si el activo cumple con las especificaciones, en cuanto a capacidad, pérdidas, impedancia y una serie de otros factores que son fundamentales en su futuro desempeño y cumplimento de las funciones para lo cual fue diseñado.
Algunos de estos ensayos pueden ser los mismos (pero en otro contexto) que se efectuaron en la fase de fabricación, o bien que se implementarán luego, durante el mantenimiento de rutina.
Otros ensayos pueden ser únicos, como ser los ensayos sin carga y con carga de un transformador, con el fin de establecer las pérdidas y verificar de tal modo el cumplimiento de las especificaciones.

b) Inspección de rutina

Por lo común, se inspecciona el activo en servicio, incorporando además un conjunto de ensayos y diagnósticos, en forma periódica.
Los intervalos se pueden establecer en forma anual, o cada dos a cinco años.
Para lo anterior, habrá que tener en cuenta el Programa de Mantenimiento, las garantías y lo especificado por las compañías de seguro, atendiendo al tipo de activo.
El fin será el de identificar el eventual estado de degradación, envejecimiento o daño en el activo, antes de que se manifieste una falla.
Es decir, anticiparse al estado de falla, retirando de servicio al activo de forma planificada.

c) Evaluación del estado

Existen ciertas circunstancias en que se requieren ensayos especiales sobre los activos (además de los rutinarios), con el objetivo de establecer con mayor precisión el estado de la condición de los mismos.
También es importante resaltar que, en algunas circunstancias, se implementan ensayos de rutina sobre activos seleccionados al azar, de forma tal de identificar tendencias de degradación, las cuales se pueden extrapolar a todas las unidades de la dotación.

d) Evaluación en el campo o en laboratorio

Las inspecciones, ensayos y diagnósticos pueden realizarse en el campo (donde el activo se encuentra instalado), o en un laboratorio.
La implementación en el campo posee la ventaja de que los ensayos se ejecutan en el sitio, por lo que demandan menos tiempo de intervención, así como de recursos.
Las ventajas que presentan los ensayos en laboratorio es que son más precisos y completos, pero requieren una mayor dedicación en recursos (tiempo, dinero y mano de obra).

e) Ensayos Destructivos y No Destructivos

Los métodos de ensayo también se pueden clasificar por la condición del activo, antes y después de la evaluación.
Los ensayos destructivos dañan al activo, en forma parcial o total. Por lo general, este daño determina que el activo no se encuentre en condiciones de operar en servicio.
Por ejemplo, tenemos el caso de los cables de potencia que se ensayan con tensión aplicada a la ruptura.
Por lo general se implementa para una cierta sección del cable, desde un dado punto inicial, hasta el punto de falla, siendo el resultado el daño de la sección bajo ensayo, la cual será efectivamente reemplazada.
También destacamos que algunos fabricantes implementan ensayos destructivos en los activos nuevos, con el fin de verificar parámetros de diseño e identificar eventuales modos de falla.
Otra visión es la de realizar estos ensayos sobre muestras seleccionadas de flotas de activos (transformadores, interruptores, cables, etc.), que han estado en servicio, de forma tal de determinar la relación de deterioro de los componentes o subsistemas.
Importante tener en cuenta que el activo que se ensaya destructivamente, no poseerá valor adicional (pérdida de la vida), luego del ensayo. Es decir, nunca deberá ser repuesto en el servicio.
Lo anterior puede salvarse, si el ensayo destructivo forma parte de una evaluación/experimento de durabilidad.
Por otro lado, los ensayos no destructivos están diseñados para no causar daños en la estructura interna del activo y por lo tanto no generar un impacto negativo en el desempeño posterior.
Sin embargo, se deberá prestar atención al “estrés adicional” que se presenta luego de implementado el ensayo no destructivo, ya que éste puede eventualmente incrementar la tasa de falla post (reducción de vida del activo).
Además, podemos encontrar otra categoría de ensayo asociada, en referencia a los denominados “Ensayos Forenses”.
Los mismos se suelen implementar en activos que presentan estado de falla avanzado, pero aún en operaciones, o bien ante un evento del sistema (daño eventual de componentes), o bien ante un estado de falla concreto.

El objetivo de los Ensayos Forenses será el de determinar la causa de la falla (o estado de falla), respondiendo a las preguntas ¿cómo? y ¿por qué? sucedió la falla.
Se encuentra íntimamente ligado con el Análisis de Causa Raíz de la Falla, el cual se basa en identificar la secuencia temporal de eventos de la falla, a través de un examen del activo fallado (¿dónde comenzó el problema y cómo se propagó?).
El Ensayo Forense será de gran utilidad para gestionar el envejecimiento de los activos, ya que, como se desprende de lo antedicho, permiten establecer si se verifica la existencia de un patrón característico de fallas.
Por ejemplo, si el Ensayo Forense de transformadores que han fallado, de una dada dotación, revelan que este estado fue debido a un punto débil en la aislación sólida, entonces los ensayos y diagnósticos podrán enfocarse sobre este problema, en los transformadores que queden operativos de la dotación.

4. Categorías generales de los métodos

a) Tensión aplicada y rigidez dieléctrica

Los ensayos de tensión aplicada, incluidos los de Rigidez Dieléctrica y Ruptura, son implementados para determinar si la capacidad de resistencia de tensión del activo es superior a los requisitos especificados.
Ligeras degradaciones en el aislamiento son detectables como fugas o por otras indicaciones dadas por algunos tipos de diagnósticos (por ejemplo, descarga parcial, clasificación basada en uniformidad del campo, pruebas de factor de potencia).

b) Ensayo térmico

Los ensayos térmicos determinan si el activo se encuentra en un estado de sobrecalentamiento durante las condiciones operativas del servicio.
Dos problemas pueden provocar un sobrecalentamiento:

- El activo puede estar generando más calor en su interior de lo normal, como consecuencia de fallas internas.

- Su capacidad para enfriar puede encontrarse degradada, (por ej. la obstrucción de los ductos de refrigeración de los radiadores de un transformador).

En tal sentido, hay que tener presente que el calor y el consecuente aumento de la temperatura en el activo, es la causa principal del deterioro temprano del aislamiento en los activos de MT y AT y por lo tanto de reducir la vida de los mismos.

El ensayo térmico en un transformador se puede realizar sometiéndolo a distintos estados de carga. Se inicia con el estado sin carga y luego se va incrementando hasta un estado de plena carga, midiendo la temperatura durante un tiempo de 24 horas.
Sin embargo, hay que resaltar que estos ensayos no son viables de ejecutar en el campo, recurriendo así a un método indirecto. Éste se basa en obtener los datos térmicos a través de un estudio del ciclo de carga del transformador y el seguimiento de la evolución de la temperatura en un período de tiempo prefijado.

c) Ensayos mecánicos

Por regla general se realizan ensayos mecánicos en activos con partes móviles (máquinas rotativas, interruptores, etc.), de forma tal de determinar que los subsistemas componentes se encuentren dentro de los parámetros nominales (velocidad de apertura de un interruptor, vibraciones en motores, etc.).
También en activos estáticos se implementan estos tipos de ensayos, como ser en las estructuras de soporte de conductores (líneas, pórticos, etc.), con el fin de determinar la resistencia mecánica.
En los transformadores tenemos como ejemplo el ensayo mecánico de FRA o SFRA, el cual permite determinar, principalmente, el estado de la condición mecánica de los bobinados y el núcleo magnético

d) Determinación de la condición física

La determinación de la condición física tiene como objetivo principal identificar problemas asociados al deterioro físico, como ser corrosión de partes del activo, o cualquier otro daño que sea perceptible a la inspección.
También evalúa la eventual existencia de problemas internos al activo, como ser pérdidas de aceite a través de juntas en mal estado de un transformador.
Como se desprende de lo antedicho, esta acción se deriva fundamentalmente de la inspección visual del activo.
La inspección por lo general incluye la evaluación visual, como ya comentamos, así como una evaluación por infrarrojo de la superficie exterior (en condición de servicio).
También se incluye una inspección visual en detalle de los componentes internos, como por ejemplo la parte activa de un transformador luego de vaciado y desencubado.
Tampoco debemos olvidarnos de la evaluación auditiva (ruidos) y olfativa (quemadura de algún componente). A estos últimos fines se suelen utilizar equipos detectores de trazas de gases en la atmósfera.

e) Evaluación de materiales

Como ya comentamos, los ensayos y diagnósticos proceden a evaluar las propiedades mecánicas y/o químicas de los componentes del activo.
Estas pruebas determinan si el material principal del componente (por ejemplo el papel en la aislación de la parte activa de un transformador) se encuentra en un estado de degradación o de envejecimiento avanzado (ensayo químico de 2-FAL).
También permiten realizar el diagnóstico, como es el caso del análisis de los gases combustibles disueltos en el aceite de un transformador.

Siguiendo con la enunciación de las categorías de los métodos, podemos nombrar las siguientes:

f) Pruebas de temporización, sincronización y secuencias de automatización.
g) Ensayos de acción electromecánica.
h) Ensayos de sincronización.

No haremos una descripción de las mismas, ya que nuestro objetivo es el de tratar la gestión del fin de la vida de los transformadores, tanto de potencia como de distribución y las anteriormente descriptas corresponden a la aplicación sobre equipos de maniobra.

En la Parte 4 vamos a detallar la descripción de las inspecciones, ensayos y diagnósticos sobre los transformadores de potencia y distribución, enfocándonos fundamentalmente en aquellos que se encuentran ya transitando la etapa de Fin de la Vida.

También haremos una breve descripción de los efectos asociados al envejecimiento de los transformadores, sobre el sistema de potencia.

Departamento Técnico
Nova Mirón S.A.