Nota técnica: "Gestión del Fin de la Vida de Transformadores. Parte 4"

1. Introducción

Establecer el estado de la condición de un transformador de potencia o de distribución, así como las decisiones a adoptar por la Gerencia de Activos, en relación a la operación en servicio adecuada a este estado y/o la eventual intervención, comienza con las acciones de Inspección, Ensayos y Diagnóstico, ya vistas en la Parte 3.

En tal sentido, las acciones citadas, son las que proveerán de los datos primarios para establecer, a posteriori, el estado de la condición de la máquina.

En la presente Parte 4, vamos a describir las características principales de la "Condición" de un activo energético en general y de un transformador en particular.

Además, vamos a abordar el desarrollo del concepto de "Determinación del Estado de la Condición" del activo, así como su seguimiento a través del tiempo y su integración en el Plan de Mantenimiento de la organización.

Lo anterior llevará a desarrollar un Programa de Determinación del Estado de la Condición, en donde se especifique la condición y el análisis del estado del activo, con el fin de establecerse como información de referencia para la Gerencia de Activos (Perspectiva Técnico-Operativa).

Importante será el hecho de vislumbrar las consecuencias de la puesta en práctica de los métodos de análisis de la condición; por ejemplo, el uso de los resultados de los ensayos para alcanzar conclusiones sobre la condición del activo.

También será importante caracterizar el seguimiento de la condición del activo, como metodología de análisis dentro de la Gestión de Activos, en su Perspectiva Táctica.

A continuación, se desarrollan los temas previamente citados.

2. Condición de un activo físico

El análisis y evaluación de los datos derivados de los procesos de Inspección, Ensayos y Diagnóstico, nos llevará a la eventual adopción de las siguientes decisiones claves para la Gerencia de Activos:

a) Determinar si el activo es apto para la continuidad de la operación en servicio, o bien deberá retirarse para su eventual intervención.

b) Establecer si se justifica adoptar la ejecución de ensayos más completos y costosos, antes de tomar la decisión de la intervención.

c) Determinar la condición de la unidad, así como su eventual deterioro en el tiempo y el tipo de servicio asociado a implementar, junto a su viabilidad.

d) Integrar las inspecciones, ensayos y diagnósticos en un programa coordinado que también incorpore los resultados operativos, los informes de problemas y los registros de las intervenciones implementadas a través del tiempo (Historia Clínica del Activo). Permite identificar la condición general de los activos y priorizar de tal forma el Mantenimiento Preventivo, la reparación, el reacondicionado o bien el reemplazo.

e) Establecer los niveles de carga óptimos sobre el activo, basados en la determinación de la condición, la pérdida de vida causada por el uso y la disponibilidad de alternativas económicas, tanto en la Operación como el Mantenimiento.

f) Establecer los procedimientos para organizar y gestionar los citados Programas de Mantenimiento.

g) Delinear la perspectiva Estratégica de la Gerencia de Activos, en relación a la fundamentación de los criterios, alcances y contextos en la Gestión de los Riesgos y las Oportunidades.

Por lo tanto y en base a lo indicado previamente, la Gerencia de Activos, considerando la perspectiva Técnico-Operativa de la misma, requerirá el siguiente conjunto de datos e información:

- 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.

La "Condición" de un activo, desde nuestro punto de vista de gestión, se puede definir de la siguiente forma:

> Clasificación significativa basada en todas las características importantes del activo, relacionadas con las acciones requeridas para su gestión adecuada.

Es decir, atendiendo a la definición de la Condición, podemos establecer que, por lo general, se dispone de un dado rango de grados asignables a la misma.

Por ejemplo, si adoptamos la graduación de 4 niveles, especificada por el estándar IEEE C57-104, el cual toma como parámetro de referencia a la cantidad Total de Gases Combustibles Disueltos en el aceite de un transformador (TGCD), tendremos los siguientes Estados de la Condición:

Estado	CH4	C2H4	C2H6	C2H2	H2	CO	CO2	TGCD
Condición 1	<120	<50	<65	<1	<100	<350	<2500	**<721**
Condición 2	121-400	51-100	66-100	2-9	101-700	351-570	2500-4000	**721-1920**
Condición 3	401-1000	101-200	101-150	10-35	701-1800	571-1400	4001-10000	**1921-4630**
Condición 4	>1000	>200	>150	>35	>1800	>1400	>10000	**>4630**

Se destaca que los niveles de los gases combustibles (GC) y del TGCD, se encuentran indicados en la unidad de [ppm].

En tal sentido, el estándar indica las siguientes acciones a adoptar sobre el transformador, en base al Estado de la Condición, obtenido del análisis.

Condición 1	**Operación normal.** **Se requiere investigar en el caso de un incremento de por lo menos uno de los GC.** **De ser así, evaluar por relaciones.**
Condición 2	**Indica degradación de bajo nivel.** **Requiere evaluar cada gas en particular, así como la dependencia con la carga.** **Evaluar por relaciones de gases y establecer tendencias.**

Condición 3	**Indica degradación significativa.** **Evaluar cada gas en particular.** **Estudio de la evolución y desarrollo de un plan de salida de servicio de la máquina.**
Condición 4	**Indica estado de falla crítica.** **Intervenir aplicando el plan de salida de servicio de la máquina.**

Como se observa, el Estado de la Condición de un activo, nos determina un dado nivel de consecuencias, ya sea con respecto a las capacidades operativas y/o de restricción en servicio, o aquellas intervenciones preventivas o correctivas en servicio que se requieren adoptar.

Estas consecuencias podemos resumirlas en las siguientes:

- Continuidad

  Refiere a la expectativa que se tiene de un dado activo en que éste pueda cumplir con sus funciones, durante un tiempo previsible y asignado. Se deriva de la Gestión de la Confiabilidad, con la determinación principal de la tasa de falla esperada, en el intervalo de tiempo bajo análisis (perspectiva Técnico-Operativa de la Gerencia de Activos).

- Acciones requeridas

  Comprende las acciones que se deberán implementar para mantener en servicio al activo, o bien para extender su vida en el ciclo correspondiente. Por ejemplo, operar al 60 % de la carga nominal, retirar del servicio, etc.

- Capacidad para cumplir con sus funciones

  En este caso refiere a la capacidad del activo en cumplir con sus funciones en el momento de evaluación de su estado. Se diferencia de la Continuidad en que no se determina en base a un tiempo o intervalo de referencia de análisis asignado (tiempo de misión).

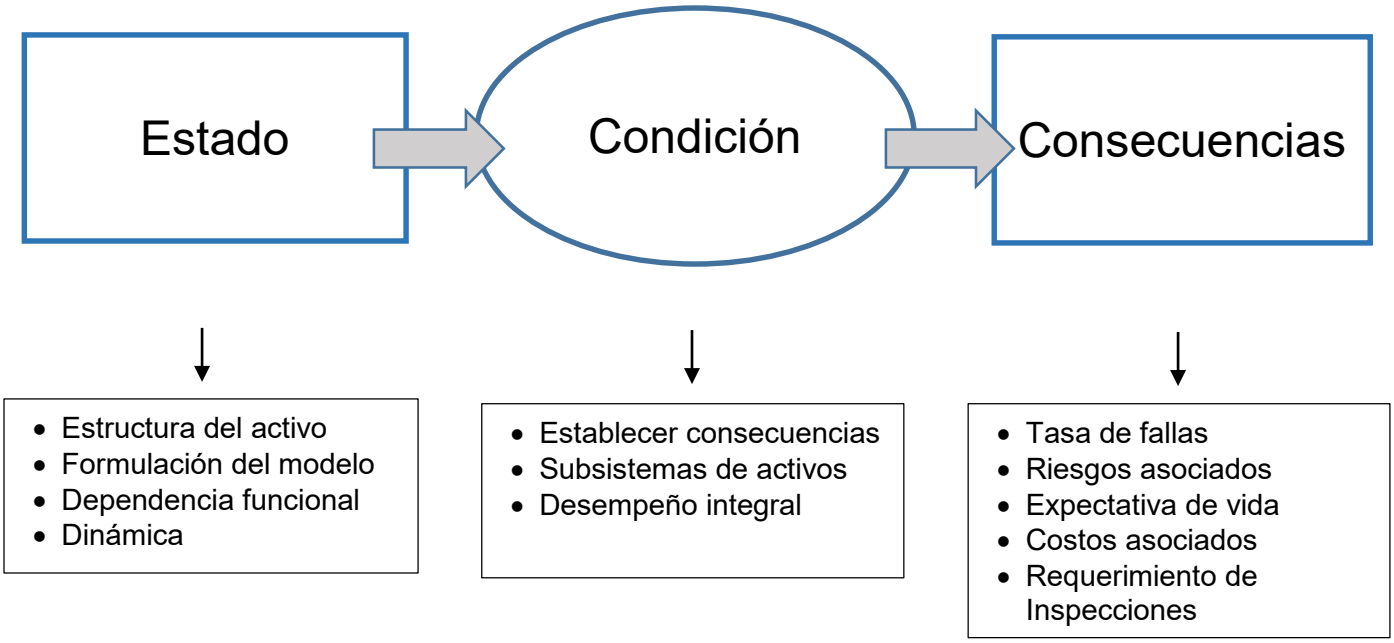
3. Estado, Condición y Consecuencias

Con el fin de no confundir los conceptos de Estado y Condición, vamos a definir el primero y su consecuente asociación con el segundo.

El Estado se define como un conjunto de datos que determinan a un activo o sistema de activos, de forma tal que el desempeño pueda ser plenamente entendido.

Desde el punto de vista Técnico-Operativo de la Gerencia de Activos, refiere a la adquisición de datos que serán requeridos para analizar y conformar el modelo que permitirá establecer el estado de un activo (modelo Físico-Matemático, Modelo Cualitativo, etc.).

En la siguiente figura se pueden apreciar las relaciones entre Estado, Condición y Consecuencias (Acciones), para un determinado sistema de activos.



Podemos describir las siguientes características del modelo:

- El Estado de un activo o sistema de activos, es de naturaleza clara y precisa, no admitiendo interpretaciones o eventuales ambigüedades.

- La Condición de un activo o sistema de activos puede entenderse desde distintos puntos de vista, o modos, o admitir distintas interpretaciones.

- A partir de los datos adquiridos, será clave obtener el Índice de Condición del activo o del sistema de activos y cómo éste varía a través del tiempo (Dinámica).

- De igual forma, en la fase Operacional se determinarán los KRIs que, junto a los Criterios, serán la base, en la fase Táctica, para la evaluación y tratamiento de los riesgos asociados al activo.

- Además, se deberá determinar, a partir de los datos adquiridos, cómo las consecuencias/acciones varían en función de los mismos (Dependencia Funcional).

- La Formulación del Modelo se basará en determinar, a partir de la topología de Confiabilidad del sistema de activos, las descripciones matemáticas del mismo (físico-matemáticas y estadísticas), así como la determinación de las frecuencias de ocurrencia de los riesgos asociados al modelo. Corresponde a la Gerencia de Ingeniería y Confiabilidad.

- Del último ítem del modelo, Consecuencias, se establecerán parámetros significativos del Estado de la Condición: tasa de falla esperada en el intervalo de tiempo bajo análisis y un dado contexto operativo (especificado por Ingeniería de Confiabilidad), expectativa de vida, necesidad de intervenciones, costos de reparación, costos de Mantenimiento en relación al RAV.

- De igual forma, la información obtenida de este último ítem, será la base para proceder a la Gestión de los Riesgos del sistema de activos (Perspectiva Táctica de la Gerencia de Activos).

4. Estado de la Condición del Transformador

El transformador de potencia y distribución es uno de los activos más importantes y críticos de la Ingeniería de Confiabilidad, ya que no solamente el modelado y evaluación consecuente de la Confiabilidad es un proceso arduo y complejo, sino también por la criticidad en el suministro eléctrico, la elaboración de un Plan de Tratamiento de los Riesgos, un Plan de Contingencia y un Plan de Disposición Final.

Los aspectos comentados previamente cobran singular importancia cuando el transformador se encuentra en un estado avanzado de envejecimiento, habiendo ya entrado en la etapa de Fin de la Vida de su correspondiente Ciclo de Vida.

Entre los factores principales que promueven el envejecimiento del transformador, podemos citar el proceso natural de degradación de los componentes, el estado de carga y el tiempo en servicio (solicitación térmica), sobrecargas y eventos del sistema de potencia (por ejemplo, sobretensiones).

Encontramos los siguientes subsistemas de activos, que conforman al transformador, que son susceptibles de degradarse en el tiempo:

- Aceite o el aislante líquido (propiedades físico-químicas).
- Aislación de los bobinados (papel).
- Bushings.
- Núcleo magnético (rigidez mecánica).
- Abrazaderas y conexionados internos.
- Materiales y pintura (degradación física y química; corrosión).

De los subsistemas indicados, los dos primeros son los más significativos en cuanto al impacto sobre el envejecimiento del transformador y, por lo tanto, será sobre éstos en donde se pondrá el mayor esfuerzo en determinar la Condición del mismo, especialmente en la etapa de Fin de la Vida.

En tal sentido, se pueden establecer los siguientes enfoques para determinar el estado de la condición de un transformador, atendiendo a que no consideraremos las actividades de Comisionamiento, ya que nuestro objetivo es el de tratar la máquina en su etapa de Fin de la Vida:

a) Inspección

Las acciones de Inspección permitirán establecer el Estado de la Condición del transformador, en aspectos que no comprenden directamente a los estados de la rigidez de la aislación y la condición de los bobinados.
Las inspecciones son de característica periódica y sistemática y encontramos las siguientes, para un transformador en aceite:

- Cuba y otras partes estructurales externas, de forma tal de detectar eventuales pérdidas de aceite, o desarrollo de corrosión.

- Verificación del espesor de la pintura (estado crítico en un transformador emplazado en un ambiente hostil, por ejemplo, en un ambiente con alta contaminación salina).

- Radiadores (estructura y válvulas), puestas a tierra.

- Bushings (contaminación, fisuras, deterioro).

- Ventiladores, válvulas de presión, válvulas de llenado y de muestra, etc.

- Se incluye la evaluación operativa de los sistemas auxiliares de protección, comando y control (válvulas de sobrepresión, relés Buchholz, bombas de aceite, conmutador bajo carga, etc.).

- Evaluación termográfica (detección de puntos calientes).

- Evaluación de actividad sonora (identificación de señales acústicas derivadas de problemas internos del transformador).

- Inspección olfativa, de significativa importancia en los transformadores, en donde representa una acción fundamental para establecer el estado de la condición primaria de un aceite, o bien de los bobinados.

- Revisión de los registros de parámetros (temperatura, nivel de aceite, carga, etc.).

- Revisión de los registros operativos (eventos del sistema eléctrico, eventuales fallas, etc.).

b) Ensayos de rutina

Junto a las inspecciones, se deberán implementar, también de forma periódica, un conjunto de ensayos, específicamente diseñados para establecer el Estado de la Condición del transformador.
En tal caso, estos ensayos refieren a la posibilidad de verificar el transformador, así como sus sistemas operativos y auxiliares asociados, con el objetivo de asegurar, con una mayor precisión, el correcto Estado de la Condición.
Importante tener en cuenta que un transformador de potencia o de distribución, podrá ser ensayado a plena carga, o bien 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.
Por lo tanto, se distinguen dos enfoques, desde el punto de vista de la Perspectiva Técnico-Operativa de la Gerencia de Activos y Gerencia de Mantenimiento:

1) Ensayos decisionales

Establecen las variaciones de magnitudes específicas, en relación a umbrales de referencia prefijados (aceptados o recomendados).
Permiten adoptar decisiones de priorización del Mantenimiento, o bien incorporar en la evaluación un conjunto de ensayos adicionales.
Además, otorgan la posibilidad de decidir sobre los futuros estados operativos del transformador (por ejemplo, prevenir sobre la operación a alta carga y su eventual consecuencia térmica).
En el caso extremo, determinan la adopción de acciones de intervención (retiro de la unidad del servicio), al excederse determinados umbrales prefijados de parámetros.

2) Monitoreo de la Condición

Se basan en la comparación de valores de parámetros específicos a través del tiempo, con el objetivo de identificar tendencias a largo plazo de los mismos. Permiten detectar problemas o estados activos de fallas en su fase inicial, ya que su objetivo es compararse contra una tendencia y no contra un referencial absoluto.

En la Parte 5 vamos a enfocarnos en el desarrollo de los efectos asociados al envejecimiento de los transformadores sobre el sistema eléctrico de potencia y el proceso de decisiones a implementar para gestionar este problema, desde el punto de vista de la Gerencia de Ingeniería y la Gerencia de Activos.

Departamento de ingeniería.
Nova Mirón S.A