Ciclo de vida de transformadores.

1. Introducción.

En el presente escrito se realiza una descripción conceptual de la gestión de activos en general y de transformadores eléctricos en particular.

El enfoque se centrará en el concepto de "ciclo de vida", de acuerdo a lo especificado por las normas PAS 55:2008 e ISO 55000:2014.

2. Concepto del ciclo de vida de un transformador.

La gestión de la vida de los transformadores comienza desde el mismo momento en que se especifican las características de los mismos, hasta que se llega al fin de sus vidas útiles (desmontaje, reemplazo, reciclado).

Se la define como el conjunto de actividades y prácticas sistemáticas y coordinadas para gestionar óptimamente los trafos, así como el rendimiento, riesgos y costos asociados a lo largo del ciclo de vida, de acuerdo al Plan Estratégico de la Organización.

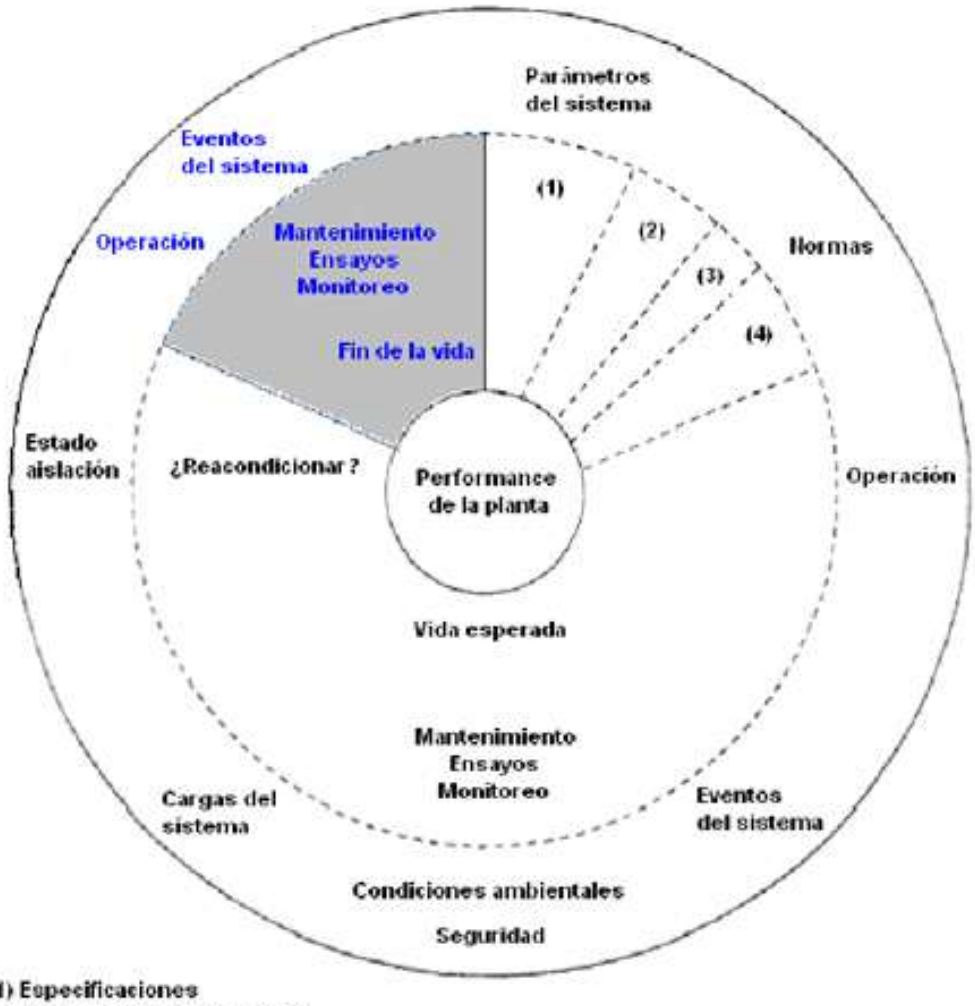
Durante este ciclo existe un conjunto de condiciones operativas y ambientales que afectarán al transformador, en especial si las solicitaciones exceden a las de diseño.

La confiabilidad de todos los trafos será decisiva para establecer la confiabilidad general del sistema. Nos permitirá establecer nuevos requerimientos de trafos, así como la planificación y asignación de prioridades en el reemplazo de los ya existentes.

Se deberán considerar las tácticas de mantenimiento a aplicar antes de que el deterioro se torne severo, así como la frecuencia de aplicación de estas técnicas (ensayos y monitoreo de parámetros).

Se destaca:
- Conocer qué medir.
- Capacidad de entender los procesos físicos involucrados.
- Analizar e Interpretar correctamente los resultados.

En la figura Nº 1 se muestra cómo queda determinado el ciclo de vida de los transformadores, así como las diferentes etapas que lo conforman.



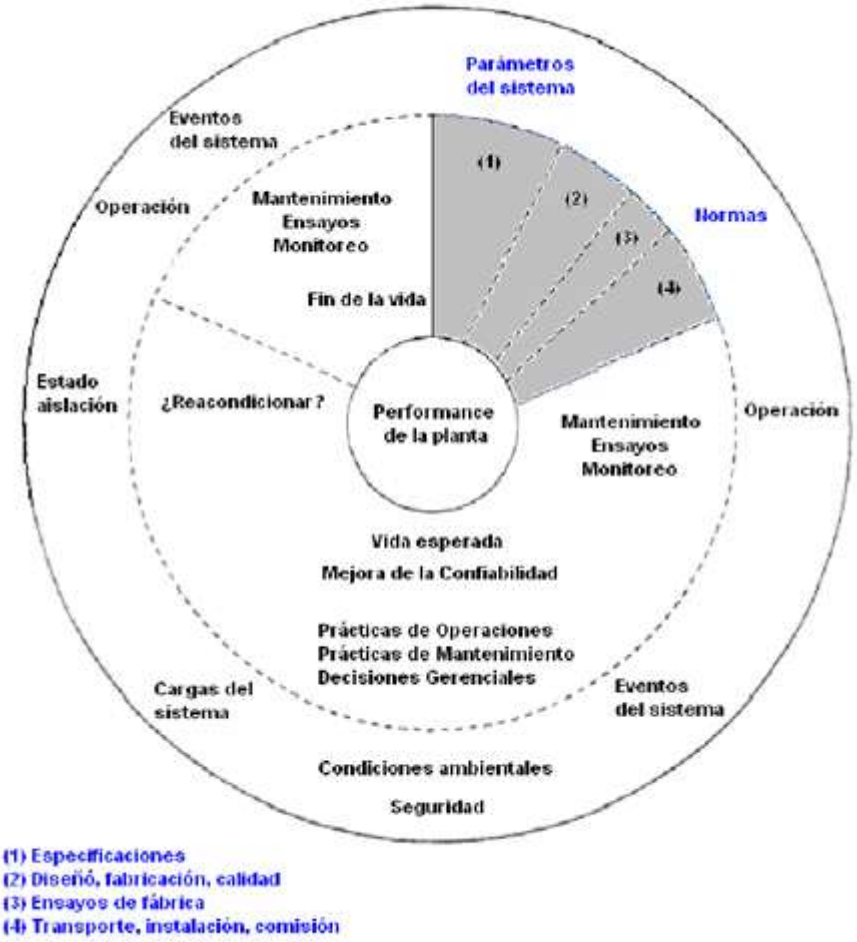
(1) Especificaciones
(2) Diseño, fabricación, calidad
(3) Ensayos de fábrica
(4) Transporte, instalación, comisión

Se destacan tres etapas, a saber:

1) De pre puesta en servicio.
2) De vida esperada.
3) De fin de la vida.

Será fundamental tener siempre presente que, en todas las etapas del ciclo, el objetivo principal quedará determinado por la capacidad de maximizar y utilizar los trafos de planta, recurriendo a requerimientos financieros y de ingeniería. A continuación haremos una breve descripción conceptual de las mismas.

3. Etapa de pre puesta en servicio.



En la figura Nº 2 se observan las fases que componen esta etapa. Podemos realizar el siguiente detalle:

3.1 Especificaciones.

- Definir el conjunto de condiciones técnicas y del contexto operativo del transformador.
- Establecer las funciones primarias y secundarias.
- Se deberá tener en cuenta que, en base a distintos estudios realizados, un gran porcentual de fallas en la etapa de vida esperada es por no haber especificado correctamente al transformador, en la etapa de pre puesta en servicio.
- Establecer el contexto operativo de:

<u>a) Aplicación</u>

Definir las situaciones de aplicación del trafo (ej.: transformador eléctrico que alimenta un compresor con frecuentes arranques y paradas).

b) Ambiente físico

Definir las condiciones ambientales (ej.: ambiente húmedo, ambiente salino, altitud, temperatura y humedad ambiente, etc.)

3.2) Diseño, fabricación y calidad

- El fabricante es el responsable del diseño.
- Tener en cuenta que existen decisiones de compromiso (costo de los materiales y de mano de obra).
- Reducir un tipo de solicitación en el diseño, causará que se incrementen otras, favoreciendo procesos de fallas específicos.
- La mala calidad en la fase de fabricación llevará al desarrollo de mecanismos de falla más específicos que otros.
- Uno o más mecanismos de falla podrán predominar, dependiendo de cómo se manifieste la deficiencia en la calidad.
- Para evitar las fallas prematuras, será fundamental evaluar la calidad de los procesos de fabricación, recursos humanos involucrados y correcta selección y aplicación de los materiales.

3.3) Ensayos de fábrica.

- Control del proceso de fabricación. Realizarlos con cierta frecuencia antes que el transformador deje la fábrica.
- Algunos ensayos son requeridos por normas de referencia, como parte de las especificaciones de compra.
- Otros ensayos son adicionales, los cuales son especificados por el comprador, o bien por el fabricante.
- Los ensayos adicionales aseguran que el trafo cumpla con determinadas especificaciones técnicas y determinen un indicador de calidad.
- Además de especificar los ensayos se deberán establecer los métodos y los criterios de aceptación.

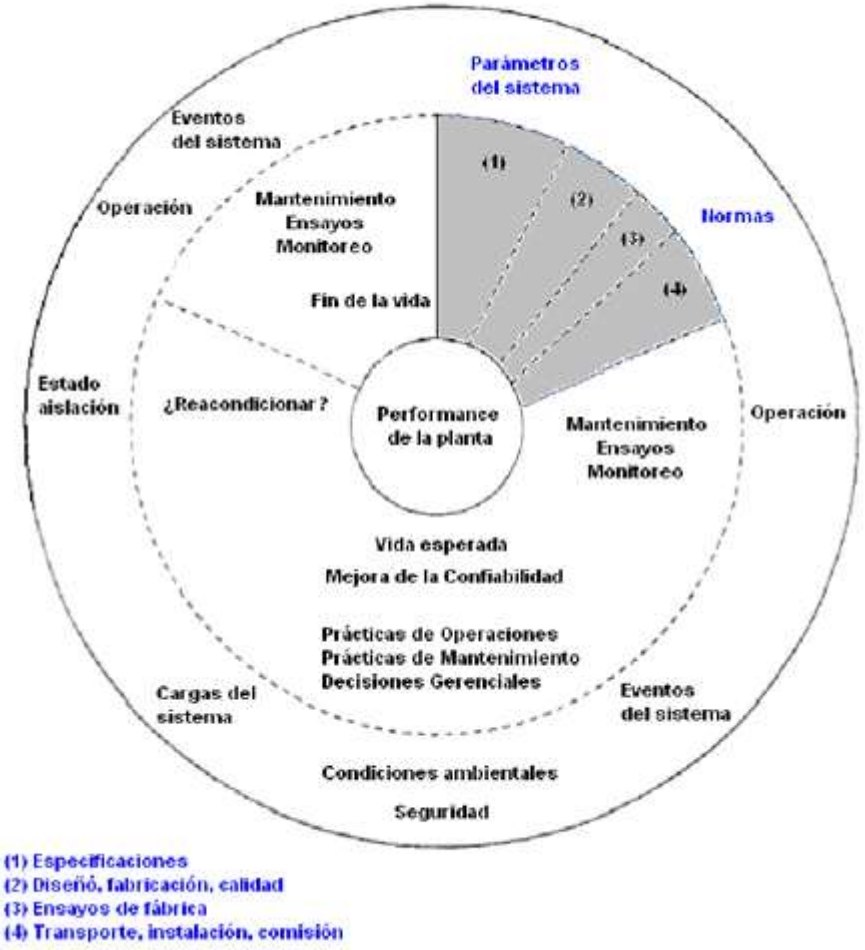
3.4) Transporte, instalación y comisionamiento.

- El transporte desde la fábrica a su emplazamiento deberá ser considerado como una tarea crítica.
- Disponer de un proveedor con experiencia en el transporte e instalación.
- No asumir que todos los fabricantes poseen el mismo método de instalación.

- Comprender toda la documentación del montaje (manuales, procedimientos, planos, etc.).
- Antes del montaje, realizar una inspección por eventuales daños o problemas.
- Evaluar los factores climáticos antes y durante la instalación.
- Antes de la puesta en servicio realizar ensayos de comisionamiento, comparándolos con los de fábrica, habiendo previamente establecido criterios de aceptación.
- Adoptar valores de referencia inicial.

4. Etapa de vida esperada

En la figura Nº 3 se observan las fases que determinan esta etapa del ciclo.



A estos fines, se define la Vida Esperada como el tiempo desde el inicio del servicio del trafo hasta el punto en donde el régimen de mantenimiento periódico necesita cambiarse a uno que requiera considerar el reacondicionamiento o bien el reemplazo del mismo, con el fin de evitar fallas significativas.

Tendremos:

4.1) Operación, mantenimiento y decisiones gerenciales.

- Refiere a todas aquellas decisiones y tareas que involucran a las áreas mencionadas, cuyo objetivo será el de determinar el estado de condición del trafo, mejorando la confiabilidad operativa del mismo, extendiendo así su vida esperada.
- Se deberá establecer un Plan de Ciclo de Vida, el cual deberá contemplar:
♣ Diagnosticar el estado de los trafos y estimar el riesgo de falla.
♣ Análisis de las causas raíces.
♣ Análisis de la obsolescencia.
♣ Requerimientos de repotenciación. Incrementos de la carga e impacto en la vida esperada.
♣ Evaluación de la confiabilidad. Mantenimiento del trafo en servicio.
♣ Seguimiento del estado del sistema de aislación. Implementar técnicas de diagnóstico. Seguimiento del envejecimiento.
♣ Implementación de técnicas de diagnóstico.
♣ Establecer/Revisar tareas de MP, MPd.
♣ Minimizar las acciones correctivas y adoptar las más efectivas y eficientes.
♣ Establecer un Programa de Reacondicionamiento.

4.2) Eventos del sistema.
- Se deberán tener en cuenta los siguientes:

♣ Sobretensiones atmosféricas.
♣ Sobretensiones de maniobra.
♣ Fallas en el sistema de potencia.
♣ Errores de operación.
- Tener en cuenta que, a medida que se desarrolla el proceso de envejecimiento, el transformador posee menor capacidad para tolerar transitorios.

4.3) Cargas del sistema.

- Evaluar las cargas aplicadas al trafo.
- Considerar las operaciones en estado de sobrecarga y su relación con la pérdida de vida.
- De igual forma, se deberán analizar las operaciones con cargas no lineales y asimétricas.
- Tener en cuenta la localización del trafo por el efecto de la temperatura ambiente.
- Evaluación del estado del sistema de refrigeración.

4.4) Condiciones ambientales y de seguridad.

- Refiere a la evaluación de las consecuencias de los efectos de cada falla que puede desarrollarse en un trafo.
- Comprende los análisis de:

♣ Consecuencias sobre la seguridad y el medio ambiente.
♣ Consecuencias operativas (afecta a los costos de producción).
♣ Consecuencias no operativas (afecta solamente a los costos de reparación).

4.5) Ensayos y monitoreo.

- El objetivo es el de diagnosticar el estado del transformador.
- Tener en cuenta que, muchos EyM miden síntomas y no la causa raíz de la falla.
- Se requiere de la intervención del especialista para correlacionar los resultados de los distintos EyM.
- Importante el aporte experto en las inspecciones del transformador.
- Tener en cuenta que no existe un único EyM que permita establecer un diagnóstico integral del estado del trafo.
- Considerar que existen al menos 4 razones para justificar los EyM:

♣ Determinar la condición del trafo y estimar el riesgo de falla.
♣ Priorización del mantenimiento.
♣ Ensayos de comisión y garantía.
♣ Determinación de las causas raíces.

4.6) Análisis de fallas y diagnósticos.

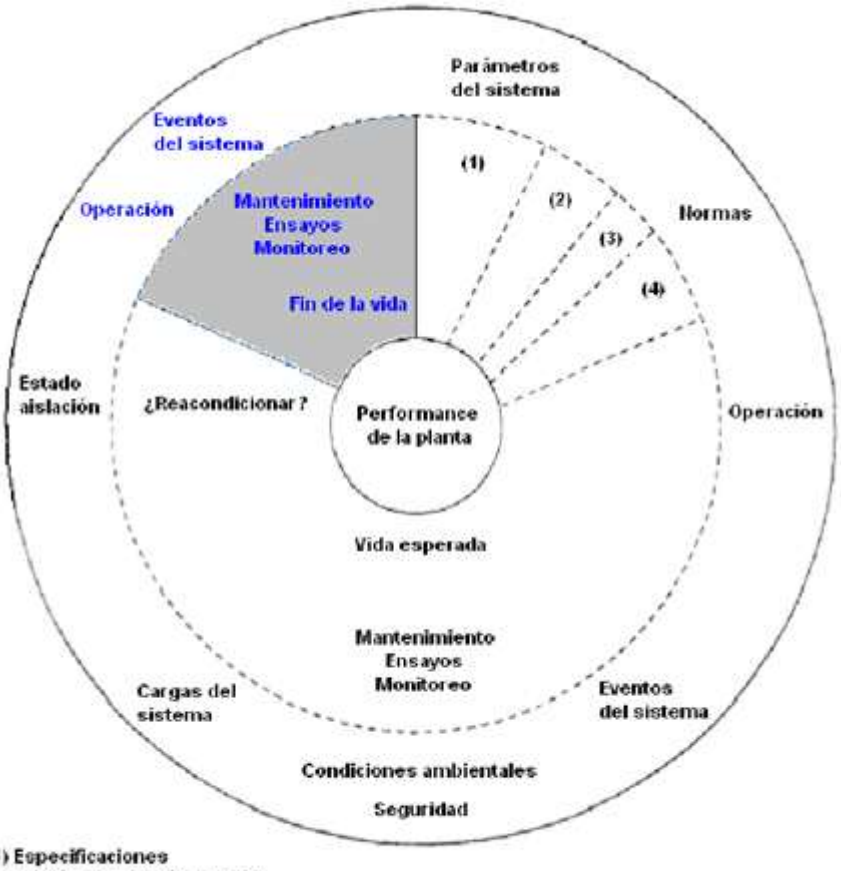
- Se deberán tener en cuenta tres clases de falla:

• Relacionadas con el envejecimiento: la probabilidad de falla se incrementa en algún punto en el tiempo.
• No relacionadas con el envejecimiento: no existe un punto cierto en el tiempo en donde la probabilidad de falla se incrementa.
• Ocultas: no se manifiestan bajo condiciones normales de operación.

- Importante tener presente que los transformadores poseen una mayor probabilidad de fallar por problemas derivados en el sistema de aislación.
- También será importante tener presente que no se puede predecir el tiempo de falla ni la vida remanente.
- Las inspecciones visuales son decisivas en la determinación del estado de condición del transformador

- Para las inspecciones se deberá tener en cuenta:
♣ El éxito de la gestión del transformador está asociada a las eficientes inspecciones realizadas.
♣ Las inspecciones deberán ser efectuadas, por lo menos, por un especialista.
♣ La planificación de las inspecciones está determinada por la táctica de mantenimiento adoptada.
♣ La inspección planificada debe identificar los recursos necesarios y el tiempo disponible (transformador fuera de servicio).
- Se distinguen tres clases de inspecciones:
♣ Por horas de operación.
♣ Después de una falla en servicio.
♣ Por tendencias EyM.
- Permite evaluar las razones de los EyM y establecer un criterio para adoptar los más adecuados.

5. Etapa de fin de la vida.



(1) Especificaciones
(2) Diseño, fabricación, calidad
(3) Ensayos de fábrica
(4) Transporte, instalación, comisión

En esta etapa el transformador posee un alto riesgo de falla, debido a un proceso de envejecimiento ya avanzado. Por lo tanto, el sistema de operación y mantenimiento

convencional, definido en la etapa de vida esperada, deberá modificarse a uno que requiera tener en cuenta la adaptación de los estados de carga, el reacondicionamiento o bien el reemplazo del trafo. Es en esta fase que se deberá ejecutar el Plan de Reacondicionamiento, previsto en la vida esperada.

Se deberá tener en cuenta:

- Adaptar condiciones de referencia en el análisis.
- Adaptar contexto operativo.
- Determinar si el reacondicionamiento es una opción económica para extender la vida.
- Evaluar requerimientos de un nuevo transformador eléctrico.
- Planificar y priorizar una estrategia de reemplazo.

- El envejecimiento no necesariamente es el criterio principal para determinar el reemplazo del transformador. En tal sentido, también se deberá considerar:

♣ Confiabilidad operativa.
♣ Historia clínica.
♣ Disponibilidad de repuestos.
♣ Tipo de defecto.
♣ Contexto operacional y ambiental.

Se requiere conocer:

- Solicitaciones a las cuales opera el trafo.
- Etapa del proceso de envejecimiento en que se encuentran.
- Cuáles opciones para mantenimiento / reparación / reacondicionamiento están disponibles y cuán efectivas pueden ser.

Se deberá recurrir a:

- Estudio de los procesos de envejecimiento de los trafos.
- Experiencia relevante en Gestión de Activos, acerca de decisiones realizadas en la Etapa de Fin de la Vida.
- Datos requeridos:

♣ Distribución N° de trafos/edad.
♣ De cargas aplicadas.
♣ De condición del estado.
♣ Criticidad.
♣ Análisis de los datos de fallas.