

NOVA MIRON

Comparación de características de transformadores en aceite y secos

Parte 1

1. Introducción

Los transformadores de distribución, son activos físicos muy importantes en los sistemas eléctricos, como consecuencia del ciclo de vida asociado y la criticidad operativa que tienen asignada en el Sistema de Gestión de Activos.

Lo anterior refiere a un aspecto clave en la gestión del Ciclo de Vida del trafo, relacionado con el proceso de adquisición. Esta etapa deberá considerarse como estratégica para la compañía.

Es decir, con el objetivo de evitar gestionar un conjunto de riesgos que generen un gran impacto negativo en los objetivos estratégicos (en especial la Confiabilidad del sistema), la adquisición del trafo, deberá integrar, junto a los costos asociados, un análisis integral de las características de las alternativas que pueden presentarse.

La comparación específica de las características de los trafos a evaluar (eléctricas, térmicas, económicas, etc.), se basará en considerar valores nominales estándar y opcionales.

Será muy importante, en esta etapa, que el analista haga uso de la descripción general de las normas técnicas y sus enfoques predominantes, así como referencias específicas a las normas aplicables o guías técnicas o recomendaciones prácticas, o de referencia.

En la Parte 1 del presente escrito, nos enfocaremos a describir las categorías de trafos (centradas en los inmersos en líquido dieléctrico y secos) que podemos encontrar en las aplicaciones prácticas de los sistemas eléctricos.

En la Parte 2 detallaremos las comparaciones de las características de los trafos inmersos en aceite mineral y de los trafos secos encapsulados en resina epoxi.

2. Consideraciones en el análisis

NOVA MIRON

Nuestro objetivo principal, será el de representar información que permita proporcionar los criterios de decisión para analizar, evaluar, seleccionar y adquirir el tipo de transformador adecuado para los requerimientos de la utilización en el sistema eléctrico, ya sea en aislación líquida (aceite mineral) o de tipo seco.

A los fines, se dispone en la práctica de un conjunto de trafos, cuyos diseños se adecúan a aplicaciones generales y también específicas, en un rango que va desde las pequeñas potencias hasta las medianas.

Sin pretender ser exhaustivos, a continuación, se listan algunas clases o tipos de trafos.

- Inmersos en aceite mineral dieléctrico.
- Inmersos en líquidos dieléctricos con alto punto de inflamación (silicona, etc.).
- Inmersos en esteres naturales o esteres sintéticos.
- Secos convencionales en tecnología VPI.
- Secos encapsulados en resina epoxi/poliéster.
- Secos con relleno de gas.

A los fines de proceder con la adquisición más adecuada, será fundamental disponer toda la información del contexto operativo y ambiental de la instalación, así como de todos los detalles que conforman la Etapa de Pre Puesta en Servicio del trafa.

En el sentido indicado previamente, no solamente deberán tenerse en cuenta las especificaciones, sino también el perfil del fabricante (diseño y fabricación) o proveedor de la máquina, así como las consideraciones que atañen al transporte, al emplazamiento definitivo, al comisionamiento y a la puesta en servicio.

En relación a la decisión en la selección de un fabricante en particular, se tendrá que evaluar el diseño y proceso de fabricación (calidad) y los resultados de la Confiabilidad y Mantenibilidad derivados.

Siguiendo con este lineamiento, ante la ausencia de un historial de compras previo, con un fabricante determinado, se deberá disponer, como mínimo, de una lista de clientes que cuenten con equipos instalados "similares", así como un análisis del Tiempo Medio a la Falla

NOVA MIRON

(MTTF), el cual representa una medida indirecta de la Confiabilidad del trafo, por parte del fabricante.

De igual manera, será importante disponer de una medida de la Mantenibilidad de trafo, a través de una evaluación del Tiempo Medio de Reparación (MTTR).

Se pueden realizar ciertas verificaciones para evaluar a un fabricante o proveedor determinado, con respecto a la calidad de su fabricación.

A los efectos, será importante considerar el desempeño previo del fabricante, atendiendo, en primera instancia, al posicionamiento en el mercado de éste, a través de los años de experiencia en el sector industrial de fabricación, en una o varias categorías particulares de trafo.

3. Categorías y Estándares

Antes de abordar los detalles específicos y de comparación de cada clase de trafo indicada, será importante reconocer que cada una de ellas presenta ciertas ventajas y desventajas en comparación con las demás.

Veamos algunas de las características principales.

1. Transformadores inmersos en aceite mineral dieléctrico

Esta clase de trafos representaron, originalmente, las aplicaciones principales, orientadas en el rango de pequeñas a medianas potencias.

Importante destacar que estas máquinas poseen un sistema de aislación conformado por papel (celulosa) y aceite dieléctrico.

A través de los años de aplicación, este sistema de aislación ha conferido una excelente capacidad dieléctrica, además de muy buenas propiedades térmicas. Todo lo anterior implementado a un costo relativamente bajo.

Lo anterior está muy relacionado con las decisiones de compromiso en la fase de Especificación y Diseño del trafo (Etapa de Pre Puesta en Servicio del Ciclo de Vida),

NOVA MIRON

ya que por lo general entrarán en conflicto los parámetros de característica dieléctrica con los correspondientes térmicos.

No podemos olvidar que, de lo dicho previamente, también influirá el factor de costos (directamente involucrado por la selección de los materiales) y en este sentido, podemos decir que los trafos inmersos en aceite mineral, presentarán el menor costo de adquisición de todas las opciones que se disponen.

Lo anterior se integra con las menores dimensiones (para la misma potencia y niveles de tensión) y las menores pérdidas.

También hay que tener muy en cuenta que estos trafos poseen una muy buena capacidad para operar en condiciones adversas, las cuales se encuentran presentes en diversos contextos operativos y ambientales.

Atendiendo a las regulaciones medioambientales, así como a los riesgos materializados en incendios, las pérdidas de aceite mineral (fugas) y la implementación del mantenimiento, se han desarrollado otras tecnologías de trafos.

2. Transformadores Inmersos en líquidos dieléctricos con alto punto de inflamación

Estos trafos surgieron ante la necesidad de afrontar los riesgos asociados a eventuales incendios en las instalaciones.

Por tal motivo, la característica fundamental será la de contener un líquido dieléctrico, pero con la propiedad de poseer un alto punto de inflamación, con valores específicamente superiores al del aceite mineral dieléctrico.

En tal sentido, se han diseñado e implementado fundamentalmente, los trafos en silicona dieléctrica y en menor proporción (con tendencia a la disposición) de los trafos inmersos en percloroetileno (o también basados en mezclas de este componente con aceite).

Durante años, el transformador con aislamiento de PCB, fue una solución práctica para afrontar los problemas de aislación (capacidad dieléctrica similar a la del aceite mineral), refrigeración e inflamabilidad (posee un punto de inflamación superior al

NOVA MIRON

aceite mineral), pero los efectos a la salud y al medio ambiente, hicieron que este componente resultara inaceptable para el uso y comenzara a ser retirado de los trafos.

En cuanto al percloroetileno, podemos decir que posee muy buenas propiedades dieléctricas, térmicas (refrigerante) y de no inflamabilidad (reducción significativa de riesgos de incendios), pero su desventaja principal radica en presentar una alta toxicidad (si bien en los inicios fue introducido como una alternativa a los PCB) y efectos negativos sobre el medio ambiente.

Entre los efectos negativos a la salud se destacan la afectación al sistema nervioso y de ser un agente cancerígeno.

Debido a la toxicidad y a los riesgos de contaminación, muchos de estos transformadores antiguos han sido retirados del servicio o reemplazados por alternativas más seguras y ecológicas, como ser el uso de líquidos dieléctricos basados en ésteres naturales o transformadores de tipo seco.

3. Transformadores Inmersos en esteres naturales o sintéticos

Estos trafos surgieron como consecuencia de los efectos negativos al medio ambiente, derivados de los riesgos asociados a los correspondientes en aceite mineral y líquidos dieléctricos sintéticos siliconados.

El factor clave es la baja biodegradabilidad de los líquidos aislantes citados (aceite mineral y siliconas), por lo que se desarrollaron los diseños de trafos que utilizan fluidos dieléctricos a base de aceite vegetal (éster natural y éster sintético), los cuales poseen una mayor biodegradabilidad.

Importante destacar que, estos trafos, son comparables en dimensiones y rendimiento eléctrico, a los correspondientes embebidos en aceite mineral.

Las ventajas de los transformadores con fluidos biodegradables, incluyen puntos de inflamación y de combustión más elevados, lo que reduce los riesgos de incendio.

NOVA MIRON

Estos fluidos poseen propiedades amigables con el medio ambiente y, como ya citamos previamente, una alta biodegradabilidad (de hasta el 98 % en 21 días de exposición). Además, se agrega, como ventaja, que tienen su origen en recursos naturales renovables y no tóxicos.

Esta característica cobra aún mayor importancia, para el caso de instalar trafos en zonas densamente pobladas, así como cerca de cursos de agua, ya que las legislaciones y regulaciones han reconocido que los aceites de grasa animal y vegetal, son sustancialmente menos peligrosos al medio ambiente que los aceites basados en hidrocarburos.

En una primera instancia, los aceites vegetales han encontrado resistencia de uso en los trafos, debido a la falta de disponibilidad de un fluido adecuado que resulte estable en el entorno del transformador (gran inestabilidad ante el contacto con el oxígeno) y por el alto valor de la viscosidad, ya que obstaculiza una eficaz refrigeración de la máquina.

Además, hay que tener en cuenta el eventual ataque químico sobre ciertos componentes del trafa (basado en el diseño y materiales convencionales).

4. Transformadores de tipo seco

El trafa convencional de tipo seco posee una existencia previa a los inmersos en aceite mineral, usándose, en los comienzos, en el nivel de BT, siendo, de tal forma, máquinas con dimensiones pequeñas.

Con el paso del tiempo, las mejoras en el diseño y los materiales, permitió lograr un trafa capaz de solucionar los principales problemas de las unidades inmersas en aceite, a saber, la inflamabilidad y las pérdidas del fluido dieléctrico.

Sin embargo, se destaca que la principal desventaja de los trafos secos se encuentra en que el medio dieléctrico externo a los bobinados es el aire ambiente, lo cual influye en el sistema dieléctrico de éstos.

Debido a que las propiedades dieléctricas del aire ambiental circundante están sujetas a la contaminación (humedad, polución, etc), estos trafos tienen asociada

NOVA MIRON

una alta probabilidad de fallar en entornos operativos contaminados (en especial operando a niveles altos de tensión).

En tal sentido, los diseños han evolucionado hacia el objetivo de afrontar este problema (VPE, encapsulados en resina epoxi/poliéster, llenos de gas), si bien a expensas de algunas de las propiedades beneficiosas del transformador seco convencional.

Por lo tanto, el trafo seco actual consta de un sistema de aislación, conformado por materiales resistentes a la alta temperatura (220 °C), recubiertos con un sellador de resina (poliéster o epoxi), resistente a la humedad y a las altas temperaturas.

El sellador de resina es aplicado a través de un proceso de impregnación a presión de vacío, denominado VPI (por sus siglas en inglés).

A lo largo del tiempo se han utilizado con excelentes resultados en entornos industriales y comerciales, con tensiones nominales de 13,2 kV y 33 kV.

Importante destacar que, atendiendo al Costo del Ciclo de Vida, considerando todas las etapas, desde el diseño hasta la disposición final, los trafos secos poseen la característica de ser la opción más económica en aplicaciones de MT (hasta valores nominales de 13,2 kV y 10 MVA).

Entre las características a resaltar, podemos nombrar: son muy resistentes a la mayoría de los contaminantes químicos (pueden instalarse prácticamente en cualquier emplazamiento apto para la ocupación humana), poseen la clasificación de resistencia al fuego más alta de todas las opciones disponibles, las dimensiones son comparables o bien mayores a las de los trafos en aceite mineral y con un peso instalado menor, son muy resistentes a la humedad del medio ambiente (aptitud operativa en contextos a la intemperie).

El avance en la Ingeniería de Diseño y de materiales, llevó a una mejora de la capacidad térmica de los trafos secos, con un consecuente incremento de los niveles máximos de tensión y potencia.

Asimismo, los materiales aislantes de los bobinados han evolucionado, pasando de ofrecer protección contra la humedad a brindar protección en condiciones más adversas (polvos abrasivos y ambientes corrosivos).

NOVA MIRON

En este sentido se desarrolló la tecnología VPE (Encapsulado a la Presión de Vacío), la cual se basa en la impregnación de resina de silicona bajo vacío, la cual confiere una aislación de mayor espesor y mayor resistencia, con las consecuencias de resistir los efectos de la humedad, ambientes salinos y ambientes ácidos.

Se desprende, que el aumento de la capacidad térmica de los trafos secos VPE, resultará en una mayor vida útil, en comparación con los trafos VPI (poliéster/epoxi).

Otra ventaja significativa, es que también se mejora la capacidad de soportar sobrecargas de corta duración.

5. Transformadores secos sellados y llenos de gas

Esta clase de trafos secos, se desarrollaron para ofrecer las ventajas de los trafos secos convencionales, pero incorporando la capacidad de utilizarse en cualquier entorno.

Es decir, son trafos secos convencionales instalados en un recipiente a presión con gas, el cual se encuentra herméticamente sellado.

Los gases que se emplean en estos diseños son N_2 , C_2F_6 (hexafluoroetano) y SF_6 (hexafluoruro de azufre).

Estos gases proporcionan el medio dieléctrico externo a los bobinados, actuando además como el medio térmico que permite transferir el calor de los bobinados a las paredes del recipiente contenedor.

Una desventaja se presenta por la limitada capacidad térmica de los gases, ya que, por tal motivo, la potencia nominal de estos trafos se encuentra restringida.

Se encuentra en las aplicaciones que, por lo general, los trafos inmersos en C_2F_6 no superan la potencia nominal de 3750 kVA y los inmersos en N_2 no superan los 2000 kVA.

Otra desventaja la encontramos en las dimensiones, en donde estos trafos pueden estar en el orden del 20 % al 30 % de tamaño que el correspondiente a un transformador comparable inmerso en aceite.

NOVA MIRÓN

En la Parte 2 vamos a describir las comparaciones de las características principales de los trafos inmersos en aceite y de los trafos secos VPI en resina epoxi.

En tal sentido, nos enfocaremos fundamentalmente en las siguientes características: dimensiones y pesos, eficiencia, instalación/emplazamiento/montaje, comisionamiento, mantenimiento, refrigeración, sobrecargas, niveles básicos de impulso y confiabilidad/vida útil.
Departamento de Ingeniería.

Nova Mirón S.A.