

Monitor de Gases Disueltos en aceite de transformadores Vaisala Optimus™ DGA OPT100



Los transformadores de potencia se encuentran entre los activos más caros de una subestación y representan típicamente en el orden del 60% de la inversión total. También son fundamentales para garantizar un suministro eléctrico fiable en toda la red eléctrica, desde la generación hasta la distribución.

Para garantizar el funcionamiento a largo plazo de estos activos, el monitoreo en línea y la evaluación automática de la condición se están convirtiendo en una parte crucial de las estrategias modernas de mantenimiento basadas en la condición para las empresas de servicios públicos de energía. Los monitores DGA (Disolved Gas Analysis) confiables se han convertido en herramientas esenciales para proporcionar datos precisos sobre el estado del transformador.

El Análisis de Gases Disueltos (DGA) en transformadores de potencia es un componente crítico para el mantenimiento basado en condiciones (CBM), para la identificación de fallas y para la prevención de interrupciones imprevistas del transformador. Los niveles de concentración de los gases en el aceite del transformador pueden indicar una falla y las tasas de cambio en las concentraciones pueden usarse para determinar la severidad de las fallas. Los gases de falla claves en DGA son hidrógeno, metano, etano, etileno, acetileno, monóxido de carbono y dióxido de carbono.

Sin embargo, con la amplia gama de monitores DGA disponibles, puede resultar difícil para los usuarios distinguir entre dispositivos de diferentes fabricantes.

Esta nota técnica analiza los últimos avances en monitores DGA y cómo pueden reducir significativamente las incertidumbres asociadas con las tecnologías de medición utilizadas en monitores de generaciones anteriores, especialmente la extracción de gas del aceite y la sensibilidad cruzada en la detección de diferentes gases basada en infrarrojos.

Extracción de gas del aceite

Con el monitor Vaisala Optimus™ DGA, los gases se extraen del aceite del transformador bajo un vacío parcial, lo que significa a una presión absoluta muy baja y a una temperatura controlada. La extracción al vacío da como resultado una separación de gases más completa que con los métodos tradicionales de espacio superior al nivel de aceite libre o membrana; por lo tanto, depende mucho menos de los valores de solubilidad del gas en el aceite, también conocidos como coeficientes de Ostwald, y es más confiable en una amplia gama de aceites.

En comparación, los coeficientes de Ostwald son necesarios cuando se utiliza el método tradicional de extracción con espacio superior libre para calcular las concentraciones de gas en el aceite a partir de gases extraídos sólo parcialmente. Los coeficientes son diferentes para diferentes gases y dependen de la temperatura, la calidad del aceite y el tipo de aceite base (nafténico o parafínico, por ejemplo). Con la extracción de vacío parcial del monitor Vaisala Optimus™ DGA, la incertidumbre de medición relacionada con las diferencias en los coeficientes se puede reducir a un tercio de la observada con el método del espacio superior libre.

Para crear vacío, el monitor Optimus™ DGA no utiliza una bomba de vacío. Más bien, utiliza un método patentado que utiliza el volumen de aceite como un pistón dentro el cilindro, creando el vacío por encima del volumen del nivel de aceite moviendo el aceite con una bomba de engranajes magnéticos. Luego, la muestra de aceite se pulveriza a través del vacío para extraer los gases (Figura 1).

El método de la extracción al vacío da como resultado una separación de gases más completa, lo que aumenta la confiabilidad de la medición incluso cuando la presión del total de los gases disueltos en el aceite del transformador es muy baja. Esto puede suceder, por ejemplo, con transformadores sellados o después de un proceso de desgasificación del transformador donde la presión total del gas puede estar muy por debajo de 100 mbar.

Detección de gases basada en absorción de radiación infrarroja

Cuando las moléculas de gas extraídas se exponen a luz infrarroja no dispersiva (NDIR), absorben energía a medida que pasan a un estado molecular excitado (Figura 2). Las longitudes de onda absorbidas son únicas para cada gas y forman una “huella digital” específica de cada mezcla gaseosa que se puede utilizar para identificar los gases individuales componentes de la mezcla de gases extraída (Figura 3). La intensidad de absorción depende de las concentraciones de los distintos gases, por lo que la cantidad de cada gas específico presente se puede determinar midiendo la intensidad de la luz.

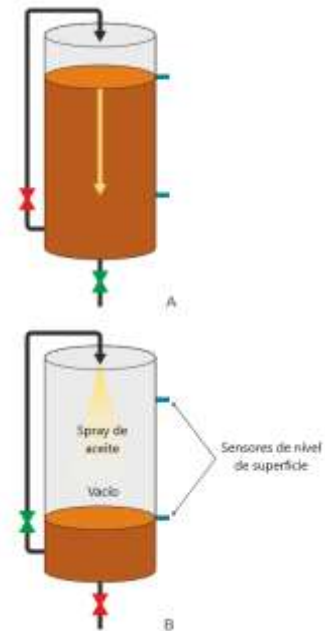


Figura 1. Aplicación de vacío por encima del nivel de aceite bombeando el aceite con una válvula cerrada en la parte superior del cilindro (A). El gas se extrae pulverizando aceite a través del vacío (B)



Figura 2. Esquema de la absorción de luz IR causada por moléculas que pasan a un estado excitado.

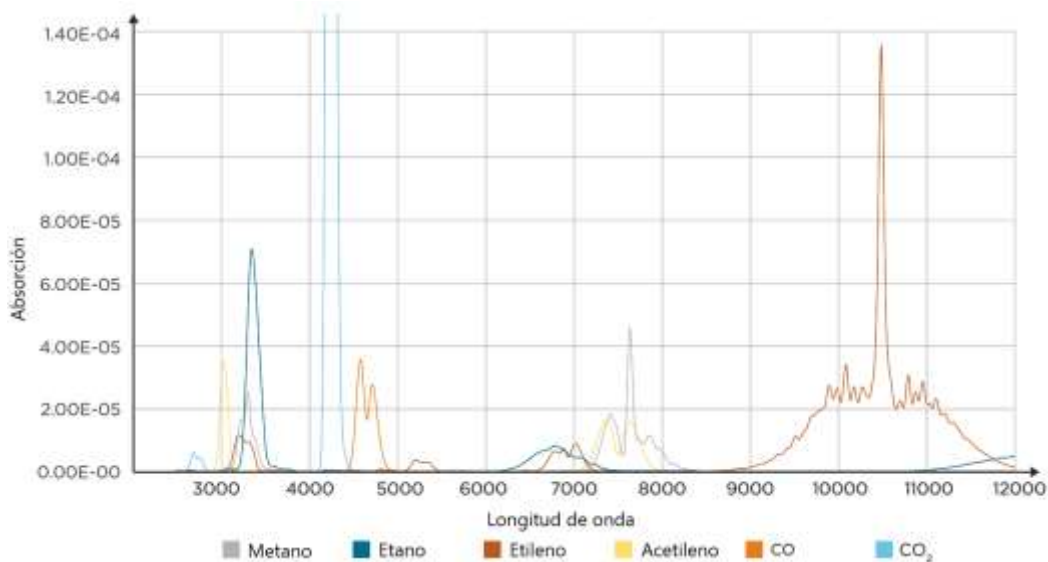


Figura 3. Bandas de absorción de luz IR de gases CO₂, CO, acetileno, etileno, etano y metano.

Uno de los beneficios clave de la medición IR (InfraRoja) es que se trata de un método fundamental de análisis de gases en el que las longitudes de onda de absorción específicas de cada gas y las absorbancias (coeficientes de absorción) de los distintos gases de falla no cambian con el tiempo. Esto permite un funcionamiento libre de calibración durante un largo período de tiempo, asumiendo que todos los demás posibles mecanismos de deriva son conocidos y son compensados por el monitor DGA basado en IR.

El módulo IR con temperatura controlada del monitor Optimus™ DGA consta de fuentes de luz, filtros de paso de banda, la celda de gas, un espejo y detectores (Figura 4). Las longitudes de onda medidas se seleccionan con filtros de paso de banda, que sólo dejan pasar una determinada banda de longitud de onda. Una parte clave de este módulo son los filtros sintonizables, que permiten un rango más amplio de escaneo IR, revelando la forma de las regiones de absorción y los valores máximos. Dado que el módulo analiza la absorción IR así como la forma de los picos de absorción, puede proporcionar una excelente selectividad para los diferentes gases detectados y sus concentraciones. Es así que, el análisis final de gases se basa en señales recopiladas utilizando un amplio rango de longitudes de onda.

Todos los elementos del sensor de luz infrarroja, incluidas las fuentes de luz microbrillantes, los filtros y los detectores, son sistemas microelectromecánicos (MEMS) fabricados en obleas de silicio monocristalino. Estos elementos están diseñados y optimizados para el monitor Optimus™ DGA y fabricados en salas limpias de propiedad del mismo fabricante Vaisala. Para maximizar aún más la confiabilidad, no hay piezas móviles en el módulo de medición óptica.

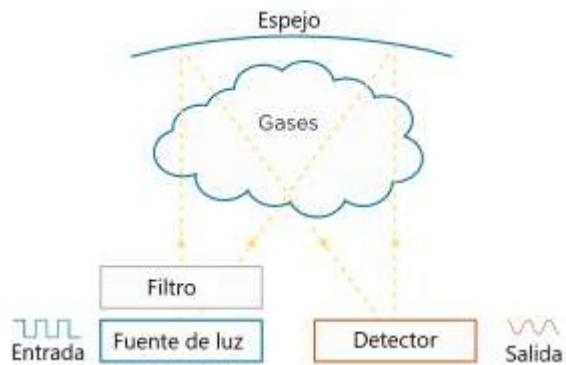


Figura 4. Esquema del módulo IR del monitor Optimus™ DGA

Eliminando las derivas

Aunque las características de absorción de los diferentes gases de falla no cambian con el tiempo cuando se utiliza un análisis basado en IR, las señales de medición aún pueden verse afectadas por otros factores. Por lo tanto, un monitor DGA debería compensar o eliminar dichos efectos de deriva.

Los mecanismos de deriva típicos en las tecnologías IR incluyen la contaminación o el envejecimiento de los componentes del sensor, como fuentes de luz y detectores (disminución en la intensidad de la fuente de luz o cambios en la transmisión del filtro). Los sistemas DGA deberían tener formas de compensar estos mecanismos para lograr mediciones estables a largo plazo. Esto es crucial ya que las tendencias de concentración de los distintos gases de falla son una de las fuentes de información más importantes para revelar el estado o condición de un transformador.

Vaisala ha desarrollado y patentado múltiples métodos únicos para superar la deriva y garantizar mediciones estables sin recalibración. Con el monitor Optimus™ DGA, los mecanismos internos de extracción de gas y manejo del aceite se construyen y controlan de tal manera que los compuestos contaminantes del aceite no puedan acumularse en las superficies ópticas y causar deriva a largo plazo. Además, se evita cualquier contaminación externa mediante el uso de una estructura mecánica totalmente hermética, lo que significa que ningún compuesto del aire ambiente no puede alcanzar la óptica y afectar la medición.

Proporcionando una medida o valor de referencia

El monitor Optimus™ DGA crea una medición de referencia para la calibración interna utilizando un sistema patentado durante cada ciclo de muestreo de aceite. El escaneo y la medición de rangos de longitud de onda predefinidos se realizan tanto con los gases extraídos presentes como luego al vacío después de que los gases se hayan retirado del módulo óptico. Esta última medición actúa entonces como la referencia. La relación de estas dos señales de exploración (barrido en bandas de longitudes de onda) determina las absorciones reales y, por tanto, las concentraciones de los distintos gases.

Esto permite que el sistema compense las posibles desviaciones en los componentes ópticos, ya sea debido al envejecimiento o la contaminación. La Figura 5 muestra un ejemplo de señales de transmisión de infrarrojos cuando hay gas presente y bajo vacío (sin gas), tanto durante la medición estable como si se produjo una desviación del 10% en la intensidad de la fuente de luz (debido a una deriva en la fuente IR por ejemplo).

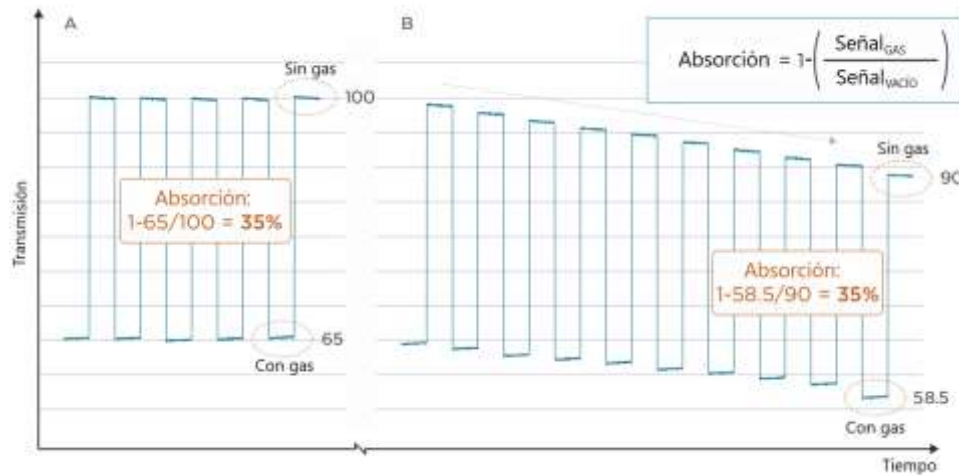


Figura 5. Principio de funcionamiento de la señal de referencia IR durante la fase de vacío en óptica. A) Medición estable, B) Deriva del 10 % en la intensidad de la fuente de luz

Autocalibración del aceite: rendimiento a largo plazo y eliminación de la deriva

Los aceites de transformadores en servicio tienen una composición química muy compleja, incluyendo los gases de falla clave utilizados para el diagnóstico de transformadores, así como gases de hidrocarburos más pesados y otros compuestos orgánicos volátiles (VOCs en inglés). Las bandas de absorción IR de los gases de hidrocarburos y de los VOCs – vienen a ser los gases de interferencia - pueden superponerse con las de los gases de falla e interferir con la señal de absorción y, por lo tanto, con el análisis de gases, a menos que se identifiquen y compensen.

Sin embargo, estos compuestos tienen características físicas diferentes en comparación con los gases de falla clave. El monitor Optimus™ DGA utiliza estas diferencias físicas entre los VOCs y los gases de falla clave para compensar el efecto de los VOCs. Cuando los gases se extraen en diferentes condiciones, se extrae una cantidad significativamente menor de gases de hidrocarburos más pesados. La reducción de los gases de interferencia se detecta en cada paso de extracción con las mediciones de absorción IR (Figura 6). Con este método se puede calcular la proporción relativa de los gases perturbadores y restarla de las señales de medición reales.

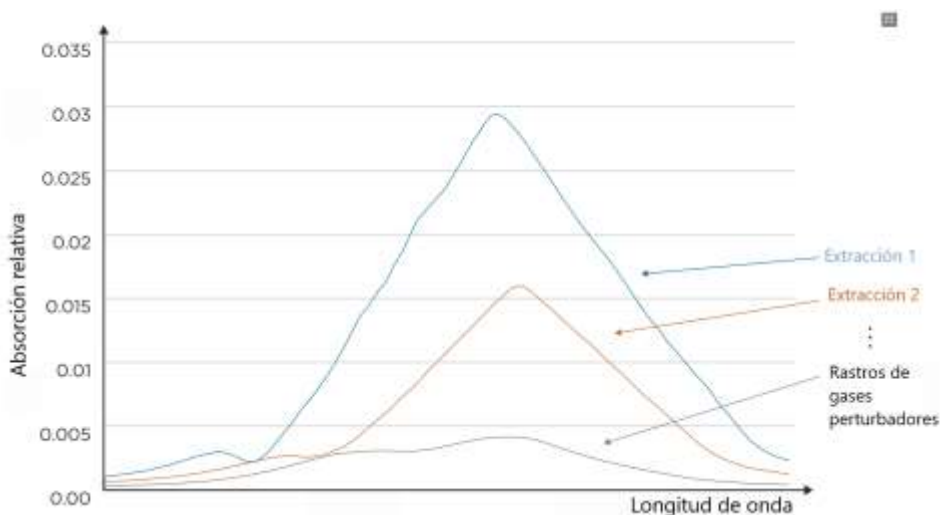


Figura 6. La extracción de gas en diferentes condiciones reduce la proporción de gases que interfieren en el escaneo de absorción.

Esta funcionalidad se llama "autocalibración del aceite". El monitor de DGA Optimus™ lo ejecuta en los primeros ciclos de medición después de la instalación, para que el monitor pueda identificar y "aprender" sobre la mezcla de gases de hidrocarburos y VOCs presentes en el aceite. En funcionamiento normal, la función de autocalibración del aceite se ejecuta de forma regular, aproximadamente mensualmente. Vuelve a ejecutar los cálculos para garantizar que pueda compensar eficazmente los cambios en la composición del aceite, garantizando así la operación y mediciones precisas y estables a largo plazo.

Medición de la humedad en el aceite del transformador

La humedad se mide directamente en el aceite con nuestro sensor capacitivo de polímero de película delgada HUMICAP®, que se ha utilizado para monitorear transformadores durante 20 años. El hidrógeno también se mide directamente en el aceite con la misma tecnología de sensor de estado sólido que se usa en el transmisor Vaisala MHT410, al igual que la temperatura.

La importancia de medir la humedad mediante la saturación relativa de agua en el aceite

El aislamiento sólido seco garantiza una larga vida útil de los transformadores, ya que minimiza la degradación del papel aislante causada por la humedad. Por lo tanto, la humedad es uno de los factores clave que afectan la rigidez dieléctrica y el envejecimiento del aislamiento del transformador. La mayor parte del agua en un transformador se encuentra en el aislamiento sólido y existe un intercambio dinámico de agua entre el aceite y el papel aislante a medida que la temperatura dentro del transformador fluctúa durante la operación. Es importante mantener el aislamiento sólido lo más seco posible y monitorear la humedad continuamente para garantizar el funcionamiento seguro de los transformadores en todas las condiciones de carga posibles.

El valor de saturación relativa (%RS) bajo las condiciones de operación del transformador es el dato más importante. La saturación relativa depende de la temperatura, por lo tanto se debe utilizar la temperatura del aceite en el transformador al determinar el valor de saturación relativa. Para ejemplificar esta situación: suponiendo un contenido de agua en el aceite por debajo de 20% de saturación relativa a una temperatura del aceite de 50 grados Celsius, en caso que el transformador se enfríe debido a las condiciones de carga y temperatura ambiente a 30 grados Celsius, esto implicaría que la saturación relativa puede cambiar a un valor cercano a 40% de saturación relativa lo que implica una disminución del orden del 50% del voltaje de ruptura del aceite.

El método de muestreo y análisis en laboratorio, tiene el gran problema que la muestra es fácilmente contaminada y no se toma en general en cuenta la temperatura de operación para llegar al valor de saturación relativa en el momento que fue tomada la muestra, que es lo que realmente muestra el riesgo de voltaje de ruptura.

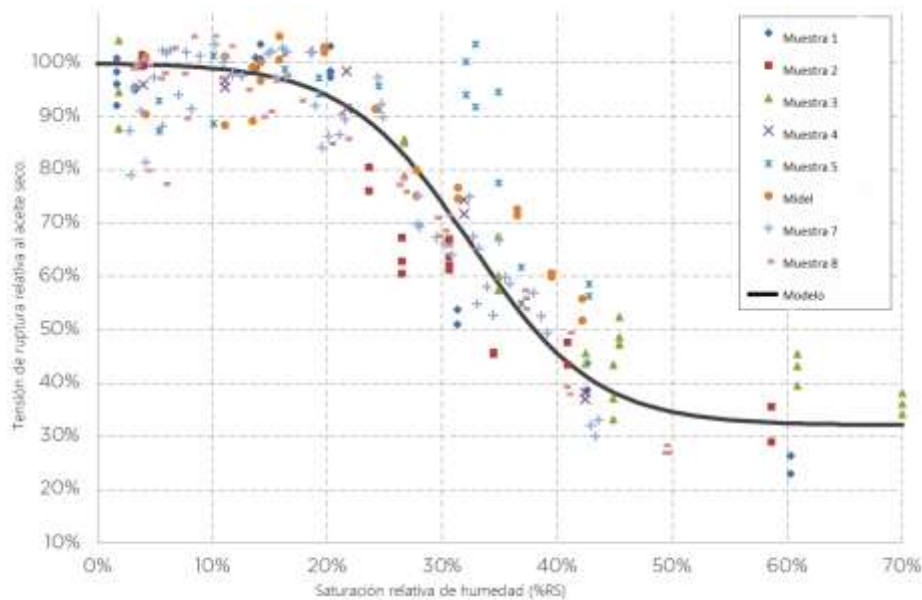


Figura 7. Dependencia medida del voltaje de ruptura de la saturación de humedad relativa con un modelo aproximado ajustado a los datos. Cada punto corresponde al promedio de seis mediciones de ruptura de tensión realizadas según la norma IEC 60156

Mantener un transformador seco maximiza su vida útil. Es comúnmente sabido que el estado del aislamiento del papel determina la vida útil del transformador. El grado de polimerización (DP) del papel en transformadores nuevos es mayor a 1000 y en la fase de final de vida es menor a 200 debido a que la humedad acelera la degradación del papel, disminuyendo su DP. Un aumento del 1% en el contenido de agua en el papel reduce a la mitad la vida útil residual del transformador.

Al mantener un transformador seco, puede mantener la saturación de humedad relativa muy por debajo del 20% y mantener la rigidez dieléctrica del aceite a un nivel tan bueno como el del aceite seco.

Los principales beneficios de medir la saturación relativa del agua en el aceite del transformador son:

- El valor de la saturación relativa, y no así el contenido absoluto de humedad, es el que afecta el voltaje de ruptura del aceite.
- La saturación relativa facilita identificar si el voltaje de ruptura se ve comprometido debido a la humedad
- Los riesgos aumentan cuando el valor de la saturación relativa está por encima del 20 %RS
- La medición de la saturación relativa %RS se realiza directamente con el sensor capacitivo HUMICAP de Vaisala, sin necesidad de conversión alguna
-

Presión total de gases disueltos en el aceite del transformador

Como el monitor DGA en línea OPT100 emplea vacío parcial para extraer gases del aceite del transformador, puede medir la presión total de todos los gases disueltos con su sensor de presión integrado dentro de la cámara de extracción de gases donde se produce el vacío. La presión total del gas (TGP) es la suma de las presiones parciales de todos los gases disueltos en el aceite. Esta medición de la presión total de los gases disueltos en el aceite del transformador, se logra gracias a un sensor de presión muy estable instalado en la cámara de extracción de los gases (a no confundir con la presión reinante en el tanque de aceite del transformador).

El incremento de esta presión total de los gases disueltos dentro el aceite es una indicación temprana de una fuga o más bien ingreso de aire en el tanque sellado del transformador. En caso de un ingreso de aire en el tanque del transformador, la mayor parte de los gases medidos serán nitrógeno y oxígeno. Ambos pueden extraerse completamente del aceite debido a su muy baja solubilidad. Adicionalmente, la proporción de gases de falla en el valor la presión total viene a ser insignificante.

Incluso si se hubiera consumido todo el oxígeno (ya que puede reaccionar con una variedad de componentes del transformador, proceso de oxidación), el valor de la presión daría una indicación fiable de una fuga. Se puede identificar una fuga porque el valor del nitrógeno dominará y aumentará con el tiempo, ya que este gas no se forma ni se consume dentro del transformador.

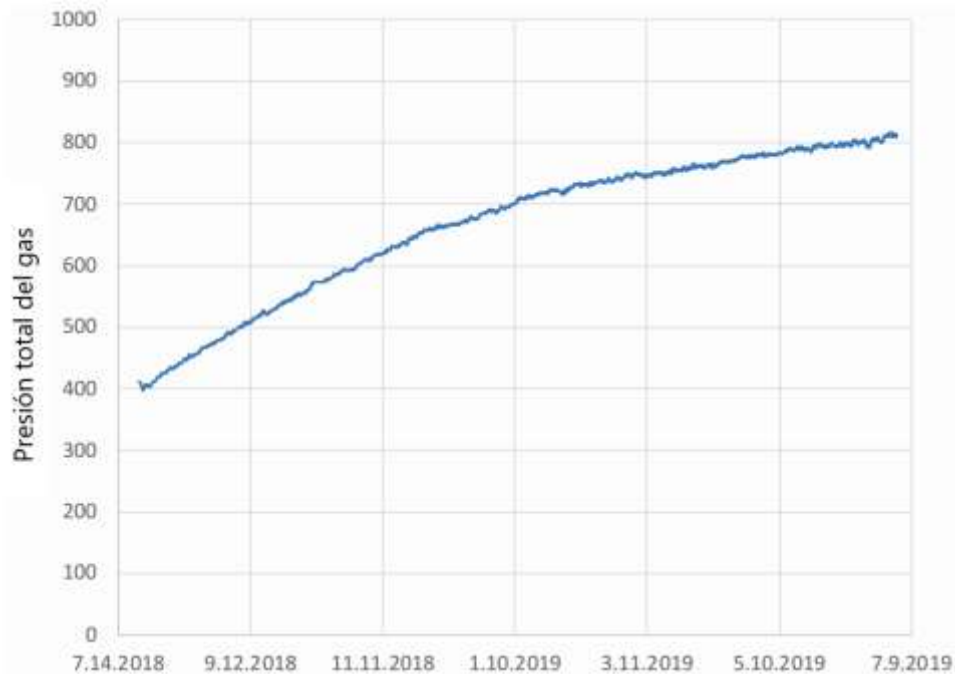


Figura 8. Presión total de gases disueltos en el aceite aislante de un transformador de potencia medida con un monitor DGA en línea Vaisala OPT100

Gases de disolución. Estructura Mecánica Hermética

Una vez que se han analizado los gases extraídos, se disuelven nuevamente en el aceite. El proceso de disolución automática se controla y supervisa cuidadosamente. Hay estructuras mecánicas secundarias especiales para evitar que cualquier burbuja de gas salga del monitor y entre en el transformador. Una vez disueltos los gases, el aceite se devuelve al transformador en las mismas condiciones en que se tomó. El proceso de disolución y la estructura hermética de las piezas de manejo del aceite y gas también eliminan el riesgo de que se acumulen gases inflamables en la carcasa del instrumento.

Todas las partes mecánicas y estructuras en contacto con el aceite y el gas están hechas de aluminio o acero inoxidable y no hay tuberías de plástico en contacto con el aceite. Como la estructura completa está sellada herméticamente, ni el oxígeno ni la humedad del aire ambiente pueden entrar en el sistema y contaminar el aceite del transformador,



Figura 9. La unidad de manejo de aceite para el monitor Optimus DGA está hecha de aluminio y acero inoxidable, lo que brinda una estructura robusta y confiable incluso en los entornos operativos más duros y exigentes.

incluso en el caso improbable de que falle el dispositivo. El riesgo de fugas de aceite también se minimiza en todas las circunstancias.

Variables medidas por el monitor DGA Optimus OPT100

En resumen, el monitor Optimus OPT100 de Vaisala permite medir en tiempo real los siguientes parámetros: temperatura en el aceite, humedad en el aceite (H₂O) así como las concentraciones de los siguientes gases: hidrógeno (H₂), metano (CH₄), etano (C₂H₆), etileno (C₂H₄), acetileno (C₂H₂), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂) y finalmente la presión total de los gases contenidos en el aceite.

Conclusiones del monitoreo en línea de transformadores y otros activos en una subestación

El monitor Vaisala Optimus™ DGA es único en el mercado porque puede crear condiciones de vacío de una manera muy sencilla, utilizando solo una bomba de aceite y válvulas magnéticas. Esto aporta dos ventajas principales para la precisión y la estabilidad de la medición:

- La eficiencia de extracción de gas por vacío es muy superior a la de los monitores típicos basados en el muestreo en el espacio superior libre o de membrana, y el potente método de medición de referencia de vacío se puede utilizar para compensar todos los principales mecanismos de deriva observados en las tecnologías de medición IR.
- Los mecanismos de procesamiento de aceite y gas están completamente cerrados, por lo que el riesgo de una fuga de aceite es insignificante y se evita cualquier contaminación del aceite por la humedad ambiental y el oxígeno.

Estas ventajas, combinadas con la funcionalidad de calibración automática del aceite, significan que el monitor Optimus™ DGA puede garantizar muchos años de funcionamiento con mediciones precisas, confiables y libre de mantenimiento. El monitor DGA Optimus™ de Vaisala brinda rendimiento desde el primer momento, elimina por completo las falsas alarmas y le proporciona las mejores mediciones estables a largo plazo para los gases de falla clave que se usan en los diagnósticos del transformador.

Un monitor multigas, como el monitor Optimus OPT100, es la mejor opción para sus transformadores críticos, ya que proporciona un mejor entendimiento de la condición actual de su transformador en tiempo real. Para transformadores en aplicaciones menos críticas donde no se justifica un monitoreo en tiempo real multigas, Vaisala ofrece el transmisor MHT410 que mide la concentración de hidrógeno (H₂), así como el contenido de humedad y la temperatura del aceite en tiempo real por lo que puede emplearse como un indicador de alerta temprana (el gas hidrógeno es producido en todas las fallas de tipo eléctrico como descargas parciales y arcos en diferentes componentes y ubicaciones internas de un transformador de potencia). También es posible solamente monitorear el contenido de humedad en línea del aceite del transformador mediante una gama de transmisores para este propósito, así como un monitor de la calidad (Punto de rocío y otros parámetros) del gas SF₆ en celdas de interruptores de alta energía que emplean SF₆.



Puede confiar en Vaisala

Vaisala crea dispositivos de medición desde hace 80 años. Nuestros instrumentos y sistemas se usan en más de 150 países, en sectores en los que el fracaso no es una opción, incluidos aeropuertos, productos farmacéuticos y generación de energía. De hecho, más de 10.000 empresas de sectores donde la seguridad y la calidad son esenciales, ya confían en Vaisala. Los sensores de Vaisala son tan confiables que se usan en los lugares más hostiles de la Tierra, como entornos árticos, marítimos, desérticos y tropicales, e incluso en Marte.



3-3433818



Av. Beni, C/ Mururé, 2055.
Santa Cruz, Bolivia.



HELIOS