

Pruebas, diagnóstico y monitoreo de plantas y equipos de alta tensión

Resumen



John Hutchinson,
Consultor, EA Technology

*¿Cuánto sabe sobre el estado de sus equipos eléctricos?
¿Y usa esa información para priorizar el mantenimiento y los
recambios para poder reducir las interrupciones en el
suministro de energía, aumentar la confiabilidad y la
seguridad, e incluso disminuir sus costos operativos?*

*La importancia de comprender el estado de los equipos
eléctricos resulta evidente por la creciente adopción de
PAS 55 en todo el mundo.*

Esta especificación disponible para el público en general conforma la base del nuevo Estándar Internacional ISO 55000, a emitirse en octubre de 2013, para las mejores prácticas en la administración de equipos físicos, y la compañía del autor (que tiene más de cuarenta años de experiencia de trabajo con propietarios y operadores de equipos eléctricos a nivel global en el establecimiento de cómo, por qué y cuándo fallan los equipos eléctricos) ha participado muy de cerca en su desarrollo. En este artículo se explican las técnicas disponibles más recientes para probar, diagnosticar y monitorear defectos en plantas de alta tensión.



Las nuevas generaciones de instrumentos para evaluar el estado de una planta son cada vez más valiosos y fáciles de usar. Por ejemplo, este nuevo PD Hawk™ puede analizar con seguridad playas de distribución con corriente en busca de problemas de potencia, en solo minutos.

qué técnicas se usan para proporcionar información de alta calidad que permita realizar diagnósticos y tomar decisiones basadas en fundamentos sólidos.

La recopilación de información varía; pueden ser desde simples mediciones como resistencia de aislamiento, Descarga Parcial (DP) o

pruebas del ángulo de pérdida, hasta diagnósticos completos; en la forma de extensas recopilaciones de datos, que proporcionan información a través del estudio de otras características. Esto puede incluir un historial de fallas, un examen visual, condiciones ambientales, actividades, etc.

La administración de una red eléctrica requiere seguridad en todos los equipos, incluida la calidad de la planta recientemente instalada. Esto se puede lograr en parte mediante un cuidadoso control de cada parte del proceso de instalación, desde el diseño hasta la fabricación y la instalación. Una prueba de tensión no disruptiva de CA o CC al momento de la puesta en servicio ofrecerá cierta tranquilidad. Sin embargo, una prueba de diagnóstico al momento de la puesta en servicio brindará un nivel de seguridad adicional y, en el caso del mapeado de descarga parcial en cables eléctricos, puede identificar áreas sospechosas que se pueden investigar o reparar antes de emitir la aceptación.

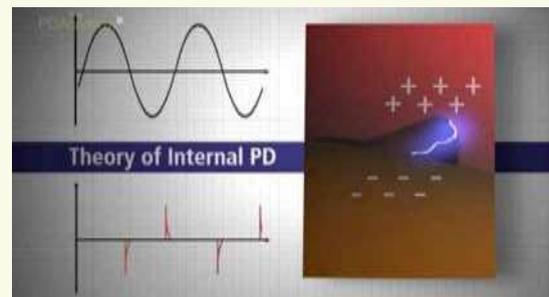
INTRODUCCIÓN

En los últimos años, los propietarios y operadores de redes eléctricas se han interesado cada vez más en el monitoreo del estado de equipos eléctricos de alta tensión. Se han obtenido importantes beneficios al evitar fallas, reducir el mantenimiento, disminuir los costos operativos y, en definitiva, extender la vida útil de la planta. El uso de sistemas de prueba, diagnóstico y monitoreo de su condición ha permitido evaluar el estado de equipos de distribución existentes usando diversas técnicas aplicadas durante procedimientos rutinarios de inspección o mantenimiento, o durante fases de puesta en servicio inicial. También se ha reconocido que el mero hecho de aumentar la frecuencia del mantenimiento puede tener un efecto negativo y aumentar los índices de fallas.

La capacidad para recopilar información sobre el estado de los equipos ha dado al personal clave la posibilidad de tomar decisiones bien fundamentadas y de garantizar la operación efectiva de la red de distribución eléctrica.

Varias características ofrecen información acerca de un equipo de alta tensión en particular, y cada una de ellas se puede usar para proporcionar cierta forma de diagnóstico de su estado. Sin embargo, no hay ninguna técnica que, por sí sola, responda todas las preguntas. Se ha descubierto que la habilidad real del administrador de equipos es elegir la características que se deben estudiar y

MONITOREO DE CONMUTADORES



El daño ocasionado por actividad de DP es una de las principales causas de fallas

Se puede monitorear el estado del aislamiento de alta tensión en conmutadores eléctricos bajo techo y en exteriores mediante la detección de actividad de descarga parcial (DP) (que deriva en el deterioro y en subsiguientes fallas en dicho aislamiento). La ruptura por DP del aislamiento produce luz, calor, olor, sonidos y ondas electromagnéticas.



Medición de DP superficial como sonido ultrasónico con un UltraTEV Plus+™.

Los métodos más prácticos de detección de DP en conmutadores eléctricos implican la detección de sonido (ultrasónico) o de ondas electromagnéticas (tensiones transitorias a tierra o TEV, por su sigla en inglés). La detección de descargas parciales puede hacerse usando instrumentos tipo *máximo/mínimo*

que miden ambos fenómenos, como el UltraTEV Detector™, o mediante equipos mucho más sofisticados que permiten que el usuario mida, localice y registre la DP en el equipo que se está monitoreando. Entre algunos ejemplos de estos últimos podemos mencionar el UltraTEV Plus+™, el UltraTEV/Locator™ y el UltraTEV Monitor™.

El sonido producido por la ruptura por DP del aislamiento se puede monitorear con detectores ultrasónicos. Para que estos detectores capten el sonido ultrasónico, deben estar en medios de densidades similares porque la propagación de las ondas ultrasónicas entre un medio poco denso y uno muy denso es deficiente, debido a que se refleja gran parte de la energía. Por ende, los detectores ultrasónicos de ondas aerotransportadas logran



Los instrumentos de doble sonda pueden usar mediciones del tiempo de vuelo para localizar actividad de DP interna con una exactitud de 10cm.

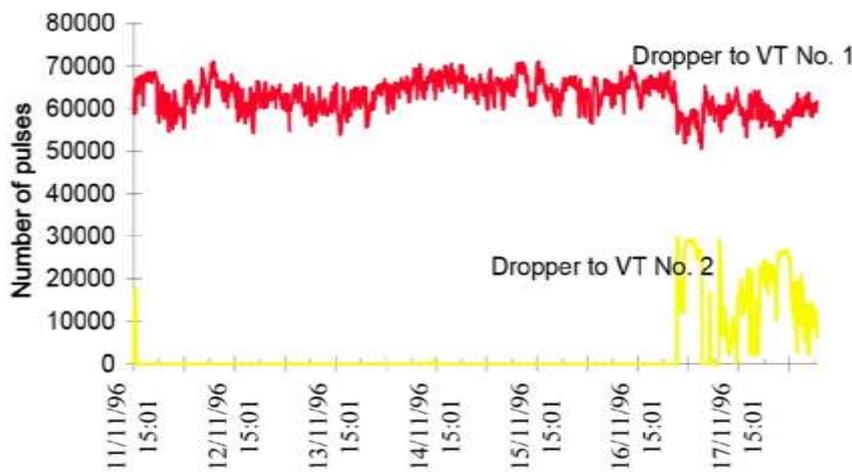


Figura 1 Actividad de descarga parcial en una playa de distribución de 11KV



Los sistemas de monitoreo permanentes con capacidades web pueden recopilar, registrar y analizar información sobre el estado de varios equipos simultáneamente, y actuar como alarmas de fallas.

detectar actividad de descarga superficial, p. ej.: en un aislante en el aire, y actividad en la que haya una buena ruta acústica, p. ej.: en una terminación seca de una caja de cables ventilada.

Varios instrumentos disponibles en el mercado permiten realizar la detección no intrusiva de la onda electromagnética proveniente de la actividad de DP.

En el caso de mediciones puntuales en un conmutador eléctrico, una inspección localizará fuentes de actividad de DP continua. Se pueden colocar una o varias sondas capacitivas en las estructuras metálicas conectadas a tierra del exterior del conmutador para detectar cualquier tensión transitoria a tierra (TEV) que se genere sobre la superficie de metal cuando las ondas electromagnéticas se propaguen hacia el espacio libre en cualquier apertura del revestimiento de metal. Los instrumentos en los que se utiliza una sola sonda pueden medir la amplitud de la actividad de descarga mientras que instrumentos más sofisticados determinan la ubicación de la fuente usando una segunda sonda y circuitos de precedencia dentro del instrumento. También existen instrumentos con una sola sonda para medir descargas tanto ultrasónicas como de TEV.

La actividad de DP puede ser intermitente por naturaleza. Un sitio con descarga puede permanecer inactivo durante varias horas y reiniciarse por cambios

en la temperatura, por la humedad o por una sobretensión transitoria. Entonces el sitio puede permanecer activo durante minutos u horas antes de volver a desactivarse. Esta forma de actividad de descarga es muy difícil de detectar durante una inspección del sitio porque el período de medición es demasiado breve. Por ende, existen instrumentos que pueden monitorear conmutadores eléctricos durante períodos prolongados de hasta tres meses o más.

Otros instrumentos están diseñados para quedar instalados en forma permanente en una subestación que monitoree continuamente fenómenos de descarga

parciales, tanto electromagnéticos como ultrasónicos, y también debidos a la humedad, la temperatura, el estado de la batería de respaldo, etc. El UltraTEV Monitor™, por ejemplo, puede registrar simultáneamente actividad en más de 100 sondas y efectuar análisis internamente. Tiene plenas capacidades web, lo que permite monitorear el estado de los conmutadores eléctricos en cualquier lugar del mundo. La unidad también tiene alarmas inteligentes que pueden detectar tendencias en los datos y emitir advertencias tempranas sobre posibles problemas a través de la web.

EVALUACIÓN DEL ESTADO DE LOS CABLES

Las pruebas de diagnóstico que se ejecutan en los cables suelen hacerse en circuitos de cables instalados completos e incluyen accesorios como uniones y terminaciones. Pueden efectuarse por diversos motivos como, por ejemplo, puesta en servicio, reinstauración o evaluación y monitoreo del estado. Sin embargo, también es importante tener en claro por qué se está efectuando la prueba y qué información se obtendrá de ella, para poder tomar las medidas correctas.

Contar con información exacta sobre el estado de una red de cables es de vital importancia cuando planificamos estrategias de recambio o, incluso, de expansión. De esta manera se evitan gastos innecesarios y se permite que los recursos

se enfoquen en la partes de la red que requieren más atención. La información de calidad para generar un panorama claro de la situación probablemente se pueda obtener mediante una combinación de investigación de fallas, exámenes de muestras y pruebas en el sitio.

Existen diversas técnicas de diagnóstico para probar cables. En consecuencia, la calidad y el detalle de la información que se genera, varían ampliamente, al igual que la complejidad de las mediciones y los equipos necesarios.

Los métodos de prueba para CC ofrecen simplicidad debido al reducido tamaño físico del equipo de prueba. Las pruebas de resistencia o de presión se han usado tradicionalmente para garantizar que no exista ningún riesgo al energizar el circuito en la red de distribución. Se puede obtener cierta información del nivel de corriente de fuga observado durante una prueba, aunque esto tiene una utilidad limitada y la prueba suele efectuarse como un test de aprobación o no aprobación. Otras pruebas de CC (medición de la polarización, pruebas de fundas o de resistencia del aislamiento) pueden ofrecer información adicional.

Las pruebas de CA, por el contrario, proporcionan un mayor nivel de flexibilidad de diagnóstico pero traen aparejado un aumento en los tamaños y los gastos, aunque la capacidad para efectuar pruebas de diagnóstico, particularmente el mapeo de DP, proporciona beneficios adicionales.

Para medir la actividad de DP, se debe energizar el cable con un nivel de voltaje al menos equivalente al valor de trabajo normal (U0). Los eventos de DP se detectan entonces a través de un filtro de acoplamiento de alta tensión conectado al extremo del cable que se está sometiendo a la prueba. Las señales se muestran en un osciloscopio digital y se transfieren a una computadora para almacenarlas y analizarlas.

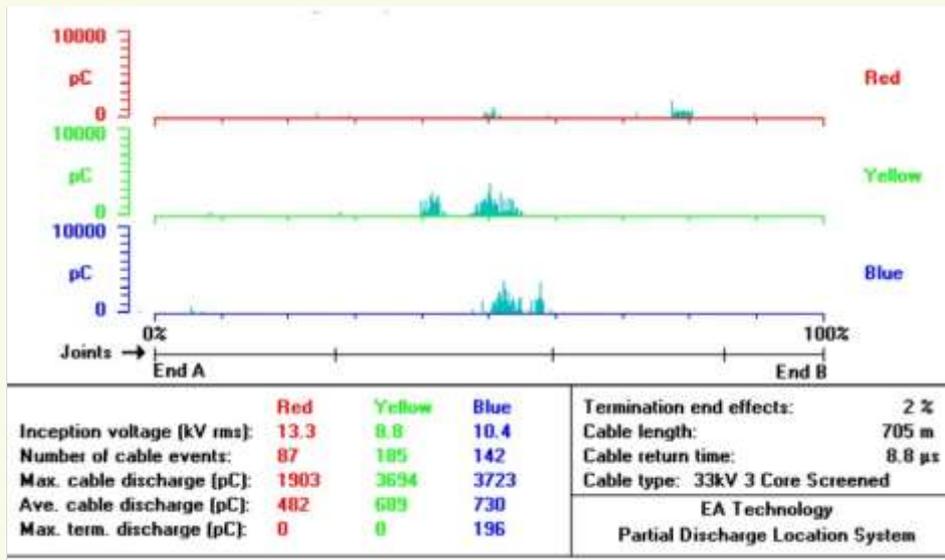


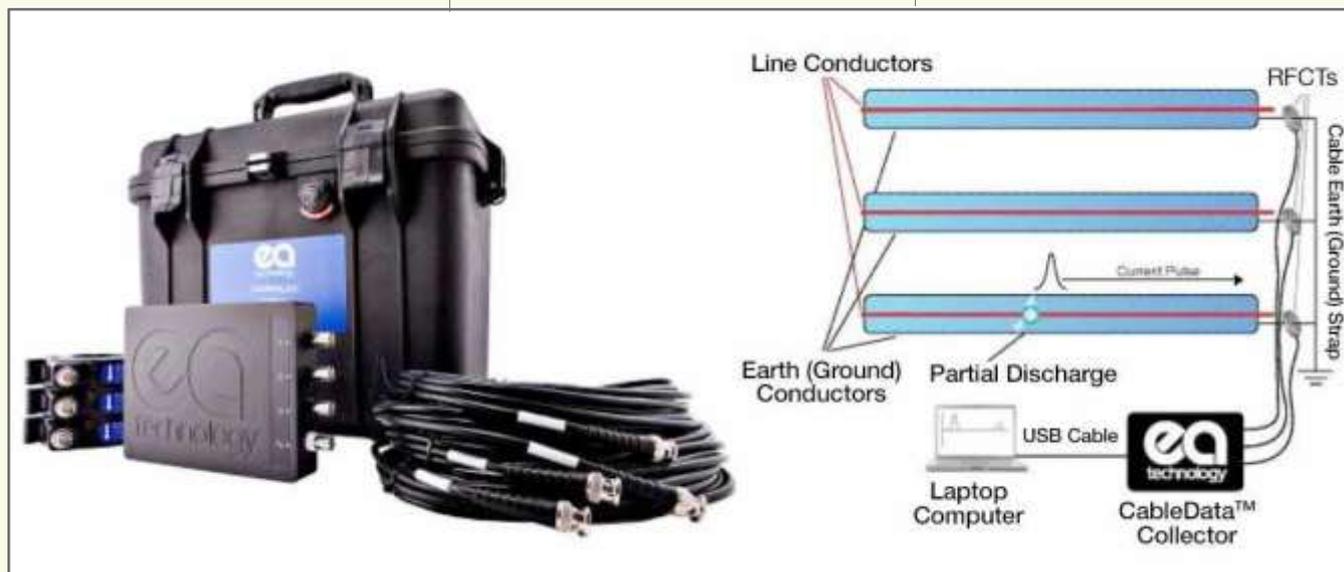
Figura 2. Mapa de descarga parcial de un cable de 33kV

El mapa de descarga parcial que se muestra en la Figura 2 también permite hacer comparaciones entre fases y posiciones de uniones y destaca áreas potencialmente problemáticas del circuito del cable. También demuestra que, en general, las áreas de cable afectadas por el deterioro del aislamiento son limitadas. Sin esta información detallada sobre el estado del aislamiento es posible que el cable pasible de reparación sea reemplazado durante los programas de recambio.

Las mediciones del ángulo de pérdida permiten alcanzar diagnósticos más profundos del estado del aislamiento durante una prueba de CA. En un capacitor perfecto, la corriente dirige al voltaje a 90°. En el caso de una carga perfectamente resistiva, la corriente estará en fase con el voltaje. En realidad, un sistema de aislamiento tendrá ciertas pérdidas resistivas, por lo que la corriente dirigirá al voltaje en un ángulo de 0 a 90°. El ángulo de pérdida, conocido como ϕ , es el ángulo entre la corriente real

y 90°. La prueba es útil para monitorizar deterioros a más largo plazo o en un evento en el que haya ingresado agua a un aislamiento de papel; las pérdidas resistivas aumentarían y eso nos diría que hay un problema con el aislamiento del cable. La desventaja de la técnica para las pruebas de cables es que la medición corresponde al aislamiento como un todo y no ofrece ninguna indicación con respecto a áreas defectuosas individuales, por lo que los resultados tienen una utilidad limitada. Sin embargo, la técnica se usa ampliamente durante las pruebas de los bobinados y los terminales de los transformadores.

Las pruebas de diagnóstico que se analizaron hasta el momento se concentran primordialmente en la evaluación del estado del aislamiento. Sin embargo, también es útil contar con información sobre otras partes de la estructura del cable. Esto se puede lograr recuperando muestras de cables para exámenes destructivos cuando ya ha ocurrido una falla en servicio. La acumulación gradual



El CableData Collector™, de reciente desarrollo, identifica defectos en cables con corriente de hasta varios kilómetros de largo; para lograrlo mide emisiones de radiofrecuencia.

de información proveniente de un programa de exámenes proporciona una útil herramienta de administración de red

PRUEBAS DE TRANSFORMADORES

Generalmente, los transformadores son equipos de planta confiables y es poco común que un transformador falle catastróficamente poco después de que aparezcan las primeras señales de advertencia. Lo que es más probable es que su estado se deteriore gradualmente, lo que se puede monitorear adecuadamente mediante el mantenimiento periódico y el monitoreo de su estado.

Existen diversas técnicas de monitoreo del estado en línea y fuera de línea que pueden aplicarse a los transformadores. Las técnicas fuera de línea como el Análisis de respuesta de frecuencia, las Pruebas del factor de potencia y las Pruebas del espectro de polarización generalmente solo se pueden aplicar a transformadores más grandes o a transformadores de importancia estratégica.

Una práctica más común implica muestreos y análisis de rutina del aceite aislante del

aislamiento de papel, se puede medir el nivel de furaldehído en el aceite. La relación entre el furaldehído y la fuerza estructural del papel está bien establecida

y, en consecuencia, se puede evaluar el nivel de degradación del papel así como el estado del aceite a partir de la misma muestra de aceite que se tomó del transformador.

FALLAS

Si bien los índices de falla de los equipos de distribución eléctrica son afortunadamente bajos, las causas y los mecanismos involucrados son numerosos. En un examen de fallas se intenta por todos los medios identificar la causa y comprender el mecanismo. A menudo, el daño por fallas es extenso pero, prestando atención a los detalles y usando técnicas forenses, suele ser posible obtener suficiente evidencia durante un examen para identificar el incidente que desencadenó la falla.

Los parámetros que afectan a diversos puntos

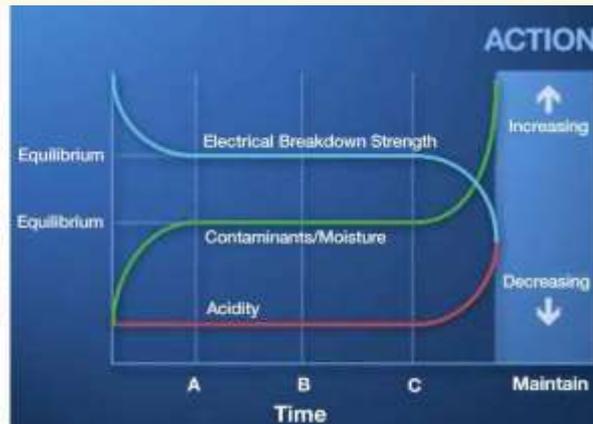


La información sobre el estado se puede usar para crear un Índice de estado para cada equipo: una técnica útil para priorizar las estrategias de mantenimiento y recambios.

técnicas que se han delineado aquí, es posible determinar que ha habido un deterioro y que se espera que ocurran fallas. En cables con mapeo de DP también es posible predecir dónde es más probable que se registren esas fallas. Sin embargo, el eslabón perdido para toda la planta es poder predecir cuándo es más probable que ocurran las fallas.

Para resolver este problema, a menudo se registran los resultados de las pruebas de diagnóstico y se los combina con información sobre el rendimiento en servicio para poder examinar la relación entre ambos. Además, cada vez hay más interés

en el monitoreo continuo de los equipos, que se espera proporcione información más detallada sobre cualquier deterioro y que vuelva a relacionarlo con las fallas en servicio. El costo de instrumentación correspondiente al monitoreo continuo puede ser un factor limitante para operadores de redes pequeñas, pero la introducción de un régimen periódico de pruebas y monitoreo puede



El muestreo y el análisis de aceite son efectivos para determinar el estado y decidir las medidas correctas.

transformador. Esta información indica el estado general de un transformador y puede ayudar a predecir su índice de envejecimiento en relación con las condiciones de carga. Se pueden usar diversos métodos para determinar el estado del aceite, por ejemplo: medición de la fuerza y la resistividad dieléctrica junto con pruebas más especializadas para la evaluación del agua, la acidez, los gases disueltos y el furaldehído.

La degradación térmica del aceite deriva en la producción de hidrógeno, oxígeno, nitrógeno

metano, etano, etileno, acetileno, CO y CO₂. El Análisis de gases disueltos (DGA, por su sigla en inglés) detectará los niveles de estos gases en el aceite.

Las proporciones de estos gases diversos se usan para extraer conclusiones acerca del estado del aceite y la presencia de cualquier fenómeno de formación de arco eléctrico.

Para evaluar el índice de degradación del

de la planta diferirán dependiendo de su función en la red, es decir, transformadores, convertidores eléctricos, cableado, etc. Sin embargo, cuando estos componentes fallan todos comparten un aspecto en común: la falla final se debe predominantemente al deterioro, o a una restricción, de la función del dieléctrico, aunque el mecanismo que inició el deterioro observado pueda atribuirse a la corrosión, a daños ocasionados por terceros o incluso a la instalación o al montaje. Comprender los procesos y las propiedades involucradas en las fallas que son resultado de la ruptura

del dieléctrico es crucial para la futura administración de la red de las instalaciones.

Cómo usar la información

Es muy difícil predecir fallas en servicio; eso se debe a la gran cantidad de variables involucradas. Con algunas de las

proporcionar una herramienta de administración de equipos rentable y valiosa.

CONCLUSIÓN

Las pruebas, el diagnóstico y el monitoreo de plantas y equipos de alta tensión ya están desarrolladas, lo que nos permite disponer de una amplia variedad de técnicas. Si se las elige, aplica e interpreta cuidadosamente, pueden proporcionar un notable kit de herramientas para aumentar la confiabilidad, reducir los costos y priorizar los programas de recambio.

Para obtener más información, consulte: eatechnology.com/improving-network-performance.

Para ponerse en contacto con el autor: john@bcnet.co.uk