

Un Examen Exhaustivo del Estado de un Interruptor

Por Olivier Turcotte y Robert Gauthier, Hydro-Québec TransÉnergie

Hydro-Québec TransÉnergie explora métodos alternativos en su programa de mantenimiento de interruptores de alta tensión.

LA FILOSOFÍA DETRÁS DEL MANTENIMIENTO DE INTERRUPTORES SE ENFOCA EN EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO para maximizar la longevidad del aparato eléctrico. La división de transmisión de Hydro-Québec TransÉnergie (Québec, Canadá) divide las actividades de este campo en tres categorías: correctiva, condicional y sistémica. Es más, el mantenimiento es una parte integral de un proceso continuo de mejora de las prácticas, métodos y herramientas en colaboración con los fabricantes de interruptores y de instrumentos de prueba.

DESCRIPCIONES DEL MANTENIMIENTO

El mantenimiento correctivo y el condicional están relacionados a tareas realizadas para reparar un equipo luego de una falla o un desperfecto. En el primer caso, no se puede realizar un mantenimiento la función principal del equipo, mientras que en el segundo caso, aún es posible operar el equipo. Sea un mantenimiento correctivo o condicional, el impacto de estas intervenciones es significativo ya que se relacionan con la seguridad del personal y la operación de la red eléctrica.

El mantenimiento sistémico se basa en un marco de tiempo o de número de operaciones del interruptor predefinidas específicamente, dependiendo de la primera ocurrencia. El contenido y la frecuencia de estas inspecciones se adaptan continuamente a los aspectos técnicos, tales como la confiabilidad de la tecnología y la posición del equipo en la subestación (líneas, plantas de potencia, bancos capacitores e

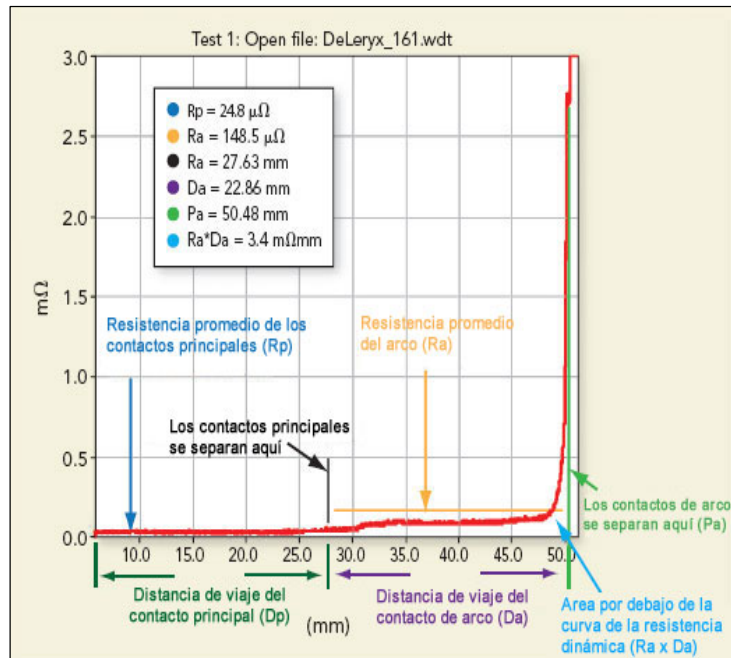


Fig. 1. Una curva típica de la resistencia dinámica



Fig. 2. Una curva anormal de la resistencia dinámica

inductores), así como los problemas experimentados anteriormente con el mismo tipo de equipo.

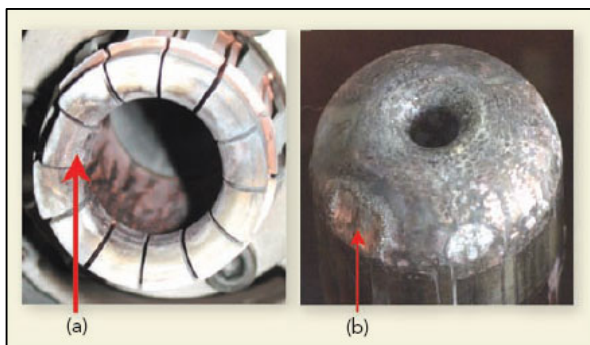


Fig. 3. El contacto de arco de la parte móvil está desalineada (a) y la parte fija está gastada (b)

La inspección preventiva de los interruptores de alta tensión incluyen las pruebas tradicionales tales como el aislamiento de corriente alterna, la medición estática de la resistencia de contacto y las pruebas de tiempo con las curvas del viaje del contacto. Adicionalmente, se debe inspeccionar una de las cámaras de interrupción, basado en los resultados de las pruebas antes mencionadas. Debido a los procedimientos específicos relacionados al manejo y recuperación del gas SF₆, estas intervenciones por medio de un examen completo pueden volverse bastante complejos y demandantes. Por ello, la idea es limitar el número de intervenciones intrusivas y, a la vez, minimizar su costo.

MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA DINÁMICA DE CONTACTO

El enfoque original para la resistencia dinámica de contacto era de medir la resistencia durante una operación lenta de apertura del interruptor. Las pruebas se realizaban a baja velocidad, para que no estuviera presente la separación parcial del contacto, haciendo que sea más fácil medir la resistencia con una corriente continua de 100 A. Sin embargo, durante una prueba de campo, ocurría un incidente menor durante el mecanismo de operación del resorte debido a la lenta operación del interruptor. Es más, se medían valores extremadamente altos de resistencia debido a la adición de los subproductos en los contactos. Aunque este método fue interesante debido a la simplicidad de su implementación, la medición a 100 A no podía aplicarse universalmente a todo tipo de interruptores.

Se realizó un estudio complementario para validar la medición a la velocidad nominal y a alta corriente. Por un lado, las pruebas en la red eléctrica confirmaron que una fuente de corriente

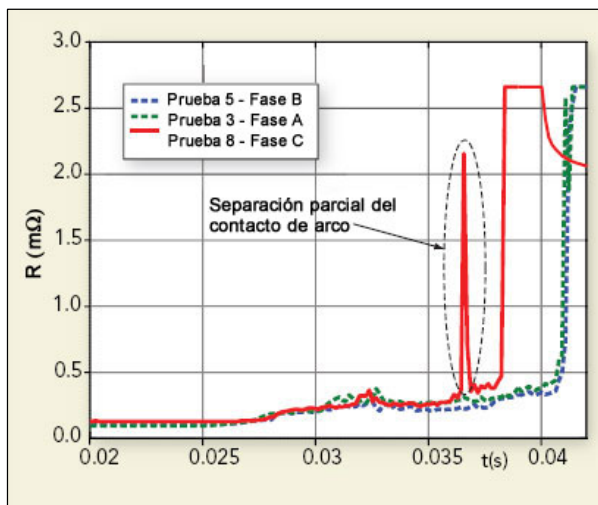


Fig. 4. Separación parcial del contacto de arco de la Fase C

continua de 2800 A podía quemar los polvos de SF₆, verificando la condición real de los contactos del interruptor. Por otro lado, las pruebas de validación a velocidad nominal de apertura se realizaron en varios tipos de interruptores de SF₆. Se determinó que una corriente continua de 700 A era suficiente para evitar la separación parcial de contacto y producir una limpia curva dinámica de la resistencia. La medición de la resistencia dinámica permite una precisa evaluación del desgaste de los contactos principales y del arco sin necesidad de abrir al interruptor. La medición de la resistencia estática nos brinda información sobre el estado de los contactos permanentes, pero el desgaste ocurre principalmente en los contactos de arco, los cuales son sometidos al calor y a la energía producida por el arco durante cada operación del interruptor. Esta medición es pertinente para los interruptores aislados de alta tensión (desde 69 kV hasta 735 kV) con SF₆ y equipados con dos juegos de contactos paralelos (principal y de arco). Para los interruptores de tanque muerto, este método sólo es aplicable si se toman precauciones necesarias para evitar la magnetización de los transformadores de corriente. La Figura 1 muestra una curva típica de la resistencia dinámica de contacto.

DESALINEAMIENTO DEL CONTACTO DE ARCO

Una serie de pruebas permitieron a Hydro-Québec TransÉnergie establecer los niveles de umbral que son fáciles de interpretar para los usuarios del equipo. Por ejemplo, la empresa eléctrica puede detectar una anomalía en un



Fig. 5. Desenroscado de la punta de tungsteno

interruptor de 120 kV colocado en un banco de capacitores. Los resultados de la medición de la resistencia dinámica de contacto se presentan en la Figura 2. Una inspección interna de este interruptor confirmó el diagnóstico determinado durante la prueba. De hecho, uno de los dedos del contacto de arco del lado móvil estaba desalineado, mientras que el lado fijo mostraba claramente un desgaste anormal debido a un excesivo arqueo (Figura 3).

PUNTA DE TUNGSTENO DESENROSCADO DEL CONTACTO DE ARCO

En otro caso, un interruptor de 120 kV de un banco de capacitores acumuló cerca de 4000 operaciones. La medición indicó una separación parcial del contacto de arco antes que en la otra

fase (Figura 4). Una inspección interna mostró que la punta del arco de tungsteno había empezado a desenroscarse como se ilustra en la Figura 5. En los dos casos anteriores, un diagnóstico interno de las cámaras de interrupción permitió una intervención necesaria y bien planificada, lo que evitó una falla eventual del interruptor.

ANÁLISIS DE VIBRACIÓN

De acuerdo a una reciente encuesta del CIGRÉ sobre interruptores de alta tensión, el 44% de las fallas principales y 39% de las fallas menores tienen un origen mecánico. Estas figuras reflejan la situación real que prevalece en Hydro-Québec TransÉnergie. De hecho, las nuevas regulaciones del mercado dan como resultado operaciones adicionales para aplicaciones específicas de los interruptores (plantas de potencia, bancos de capacitores e inductores shunt).

Se puede lograr la mejora de la confiabilidad mecánica por dos medios por separado. Para los productos en proceso de certificación, se pueden mejorar los requerimientos de resistencia mecánica. Con respecto al equipo existente, la estrategia descansa en tener herramientas con mejores capacidades de detección para hallar los problemas antes que se produzcan grandes defectos.

La estrategia inicial consta de un análisis para

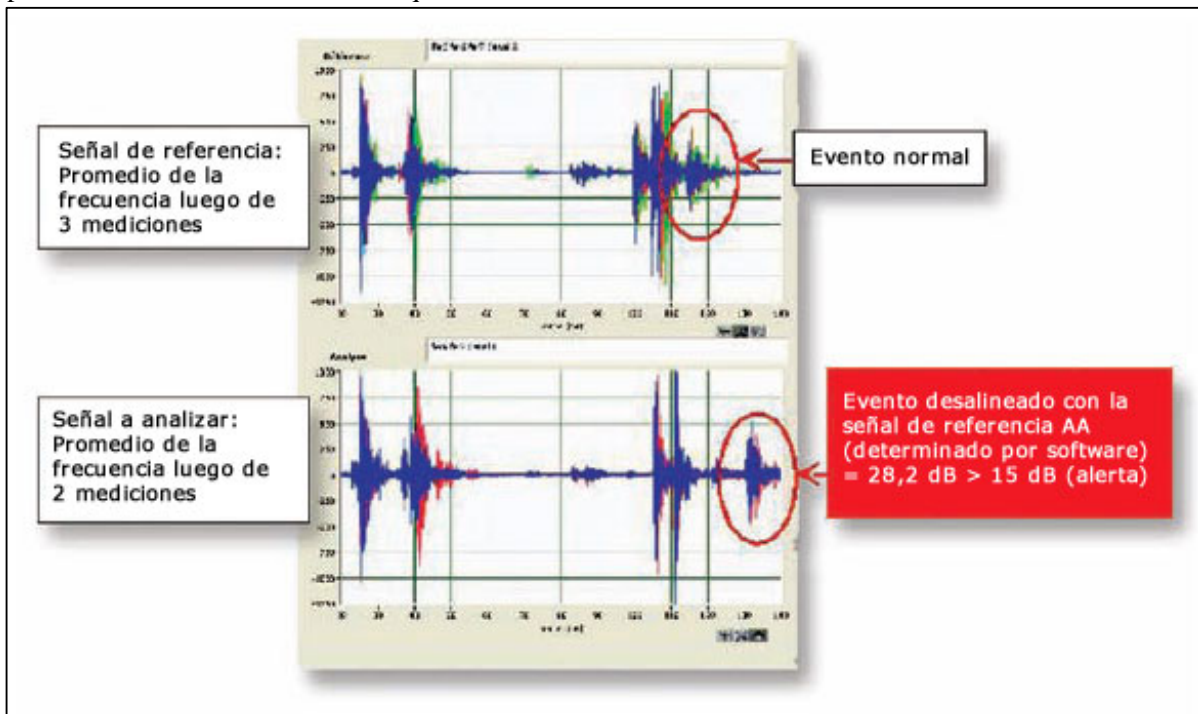


Fig. 6. Las señales de vibración medidas detectan un engranaje deformado en un mecanismo tipo de resorte

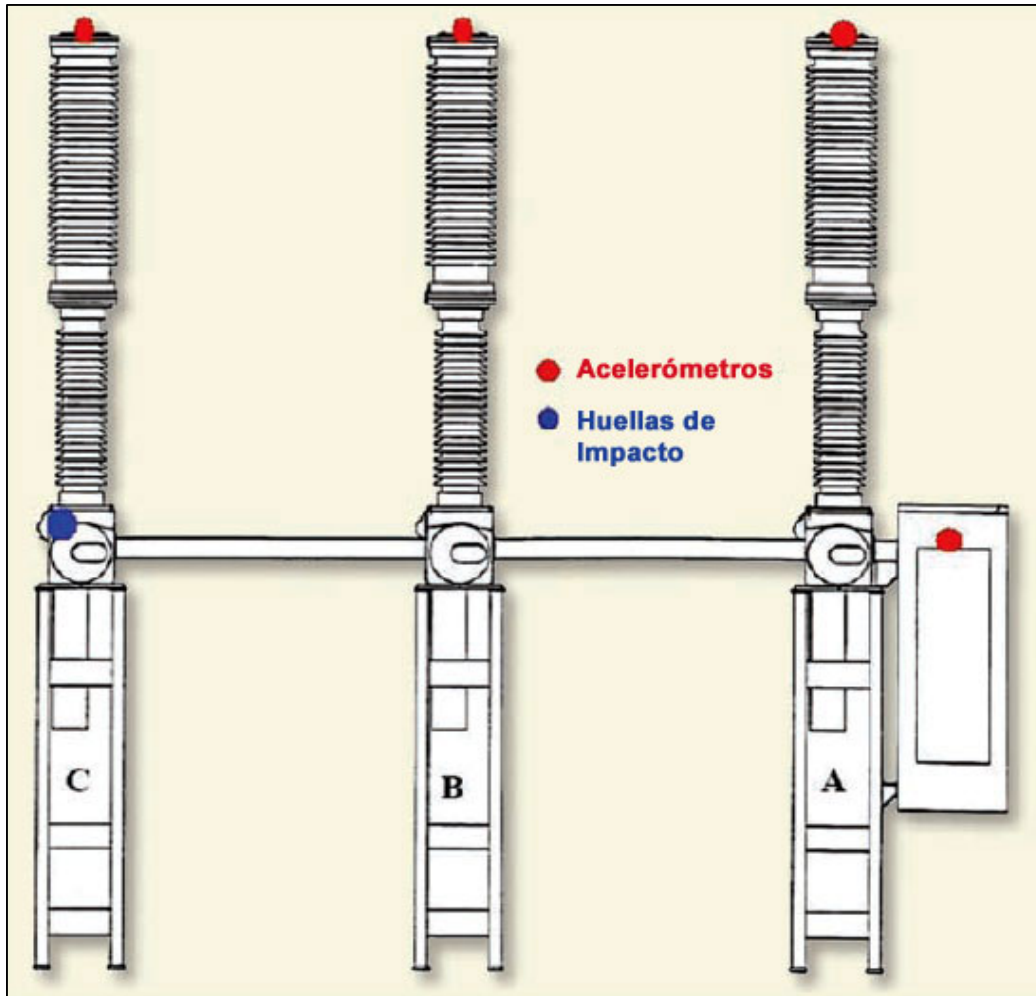


Fig. 7. Ubicación de los acelerómetros y las huellas del impacto

conocer lo que está disponible en el mercado. En este caso, los productos ofrecidos no cumplieron las necesidades de Hydro-Québec TransÉnergie. De hecho, el software para analizar la vibración, la frecuencia de muestreo y la resolución fueron inadecuadas para diagnosticar la condición mecánica de los diversos tipos de interruptores de SF6. Por estas razones, se le dio a IREQ, el centro de investigación de Hydro-Québec la orden de desarrollar el prototipo de un dispositivo de medición. Se validó el método y los algoritmos por medio de la simulación de casos reales en un laboratorio así como de pruebas de campo. A menudo tales pruebas de campo fueron seguidas por una inspección interna para validar el diagnóstico. Una vez que se probó la eficiencia del dispositivo, el socio industrial de Hydro-Québec TransÉnergie, Zensol Automation Inc. (Québec) desarrolló una versión industrial del analizador de vibración. De nuevo, la validación se realizó con pruebas de campo.

El análisis de la vibración permite la detección de anomalías mecánicas en el mecanismo o en la cámara de interrupción de los interruptores SF6 de alta tensión. El sistema de medición incluye acelerómetros, módulos de acondicionamiento y un sistema de registro de los datos, el cual incluye el software correspondiente de Zensol. Además de las señales de vibración, el sistema puede registrar cualquier señal analógica relevante al análisis de la condición del interruptor, tal como el desplazamiento y la posición del contacto. Se usaron dos parámetros para evaluar la condición del interruptor: la desviación en la amplitud medida en decibeles y la desviación del tiempo medida en milisegundos. Se determinaron los valores universales de umbral basados en los trabajos de investigación de otros autores en ese campo y fueron validados a través de las pruebas en el laboratorio y en el campo.

IMPACTO ANORMAL DEL FIN DE VIAJE

En el caso siguiente, se posicionaron los acelerómetros en el extremo superior de cada cámara de interrupción y dentro del mecanismo de operación (Figura 7) de un interruptor SF6 de 120 kV de polo alternado, de operación conjunta, que acumuló más de 4000 operaciones.

La comparación entre los datos registrados dos años antes realizada por Hydro-Québec TransÉnergie para identificar la presencia de un impacto anormal de un fin de viaje en la fase C. La inspección interna demostró huellas de un impacto en la manivela ubicada en el extremo inferior del aislante de soporte (Figuras 7 y 8). Aún si se ubicaron los acelerómetros lejos del desperfecto, fue posible la detección. Entonces se reajustó el interruptor para evitar una mayor degradación del enlace mecánico.

ESTRATEGIA DEL DESARROLLO DE LA HERRAMIENTA DE MANTENIMIENTO

Emergió la necesidad de herramientas que suministren la condición real de los componentes de la cámara de interrupción con la llegada de los interruptores SF6 dado que las inspecciones internas eran complejas debido al manejo y a la recuperación del gas. La búsqueda de soluciones potenciales debe pasar por un análisis de los productos que se ofrecen en el mercado. Cuando los productos disponibles no satisfacen las necesidades de la empresa, se vuelve necesario el desarrollo de nuevas herramientas de diagnóstico.

Luego de la fase de desarrollo, Hydro-Québec TransÉnergie determinará la necesidad de asociarse con un socio industrial. El socio está en cargo de la evolución de la instrumentación tomando en cuenta las necesidades y de las reacciones de diferentes usuarios, mejorando de esta manera la confiabilidad y la precisión del diagnóstico. Esto también facilita la suave transición agregando nuevos métodos al plan de mantenimiento tradicional.

Las pruebas de mantenimiento tradicionales aún son útiles cuando el envejecimiento del interruptor es progresivo. Sin embargo, en los casos donde las anomalías aparecen repentinamente en una familia de interruptores, los nuevos métodos de diagnóstico como la resistencia dinámica y el análisis de la vibración definitivamente pueden ayudarlo a evaluar de forma precisa la condición de los equipos y mejorar la determinación del nivel de prioridad de una intervención dada. En resumen, es claro que definiendo sus necesidades y desarrollando las herramientas que las cumplan que Hydro-Québec

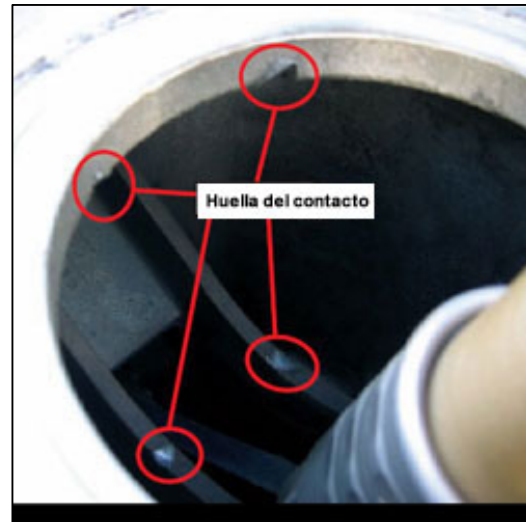


Fig. 8. Huellas del impacto en el extremo inferior de la manivela

TransÉnergie pueden mantenerse al filo de la tecnología asegurando al mismo tiempo la longevidad de su equipo eléctrico. TDW

Olivier Turcotte recibió su grado de BEEE de la Universidad de Sherbrooke en 2003. Desde 2004 ha trabajado para la división de transmisión de Hydro-Québec, Hydro-Québec TransÉnergie, en el grupo de Artefactos Eléctricos, donde trabaja en la certificación y el mantenimiento de interruptores y en la certificación y mantenimiento de interruptores y de pararrayos y está a cargo de los proyectos de investigación y de desarrollo de nuevos métodos de diagnóstico para los interruptores de SF6. Es un miembro canadiense del Comité Técnico 37 de la IEC (pararrayos) y un ingeniero registrado profesionalmente en Québec.

Turcotte.Olivier@hydro.qc.ca

Robert Gauthier recibió su grado de BEEE de Ecole Polytechnique en 1980. Empezó su carrera en Hydro-Québec en 1981 y ha trabajado para el departamento comercial de la división de transmisión de Hydro-Québec, Hydro-Québec TransÉnergie, desde 1999.

Gauthier.Robert@hydro.qc.ca

TRANSMISSION & DISTRIBUTION WORLD

www.tdworld.com