

Una lección convincente del poder del enfriamiento por Convección



Figura 1. Tres fases de un Circuit Braker lleno de aceite (OCBs) visto desde la parte exterior (imagen izquierda) y desde la parte interior (imagen derecha) con el aceite drenado. En esta última se muestra la estructura y contactos del mismo.

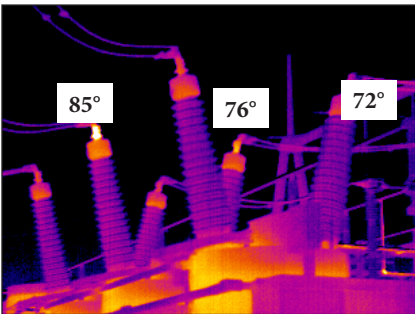


Figura 2. Tomada con una velocidad del viento de 19 km/h. Se puede observar dos problemas, el primero es obvio y el Segundo es más difícil de observar. El termógrafo les había asignado una prioridad de reparación baja.

Muchos factores tienen influencia sobre la temperatura superficial que observamos al realizar inspecciones con Termografía infrarroja. Uno de los factores más significativos es el enfriamiento por convección causado por el viento y las corrientes de aire. Si no entendemos la relación compleja que existe entre la temperatura de la superficie y la convección, esto puede llevarnos a cometer serios errores en la interpretación de los datos obtenidos. Aunque el enfriamiento por convección se da mayormente en exteriores, también muchas veces se tienen corrientes de aire en el interior de plantas por lo que se le debe prestar atención. A continuación se muestra un caso convincente que ofrece una buena lección de aprendizaje.

Lección

¿Cuántas veces aprendemos información pero fallamos al incorporarla en nuestros conocimientos? Habiendo estado involucrados en el entrenamiento de termógrafos por casi veinte años, hemos podido unir la información con experimentos para demostrar lo que se enseña en una forma convincente. Sabemos que cuando el estudiante regresa a su trabajo continuará con el proceso de aprendizaje pero ahora aplicándolo a la realidad.

Un excelente ejemplo llegó a nosotros por parte de uno de nuestros instructores que impartía un curso de entrenamiento de Nivel I, en una generadora eléctrica muy grande en las costas del Golfo de México. Durante la clase los estudiantes realizaron una práctica donde inspeccionaron una gran subestación eléctrica y como era común a lo largo de la costa al momento de realizar la misma se tenía corrientes de viento a 19 km/h.

Al inspeccionar un grupo de Equipos de desconexión de circuitos o Circuit Brakes llenos de aceite, muchos estudiantes encontraron un punto caliente en la parte de la carga en la base bushing de la fase B. Este mostraba claramente un aumento de temperatura (ΔT) de 7°C en comparación con las fases normales. Con las carga al máximo como se tenía en ese momento, este hallazgo produjo una preocupación en los estudiantes, pero no de una alta prioridad que requiriera una acción inmediata. Los estudiantes también notaron una anomalía casi imperceptible en el lado de la línea de la fase B y esta indicaba un aumento de temperatura ΔT de solo 2°C. Como se puede observar en la Figura 2, ambas anomalías aparentaban estar relacionadas con la conexión en la parte superior del bushing.

Los estudiantes dudaban acerca de la exactitud de la medición y realizaban preguntas durante el entrenamiento, pues ellos consideraban que asignar un grado de prioridad tan bajo a un equipo tan importante podría ser un error. Como parte del entrenamiento de Nivel I recientemente habían aprendido acerca del impacto de realizar inspecciones en días con mucho viento. También habían aprendido de la ley de enfriamiento

$$q = h \cdot A \cdot \Delta T$$

donde:

q = energía transferida por convección

h = coeficiente de convección

A = Área

ΔT = diferencia de temperatura entre el fluido y la superficie

Figura 3. Ley de Enfriamiento por convección

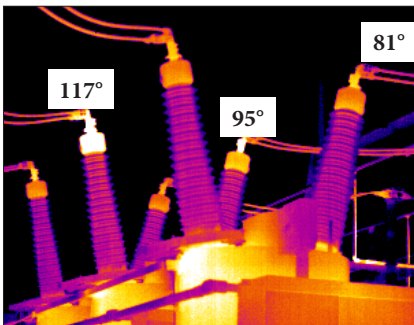


Figura 4. Tomado del circuito de desconexión o circuit breaker lleno de aceite al realizar una re-inspección la mañana siguiente sin viento. Los resultados son alarmantes y se programó una reparación lo antes posible.

de Newton que define el impacto de la convección en los cuerpos (ver figura 3). Comprendían que determinar el factor “h” que incluye la velocidad del viento, orientación, geometría y viscosidad es muy complejo. Era muy claro para ellos que cuantificar el impacto del enfriamiento con software sofisticado era muy complicado debido a las condiciones encontradas. El instructor también les había advertido que era una situación complicada de calcular.

Su entendimiento de los efectos del enfriamiento por convección aumentó cuando en clase realizaron un experimento donde se hizo pasar viento a 24 km/h a temperatura ambiente sobre una resistencia calefactora. Se pudo observar que la temperatura de dicha resistencia calefactora disminuyó de 160°C a 60°C en cuestión de unos minutos. ¿Se preguntaron si lo mismo podría estar sucediendo a los Circuit Breakers llenos de aceite?

El instructor de Snell Group analizó la situación con sus estudiantes y los reto a indagar más profundamente para encontrar la verdad acerca de estos puntos calientes en los Circuit Breakers. Muy temprano a la mañana siguiente, antes de la clase, tomaron sus cámaras infrarrojas y realizaron una nueva inspección. La velocidad del viento en esta ocasión era mucho menor y la condición de la carga era similar a la del día anterior, es decir, las condiciones eran perfectas para una inspección de verificación.

Aunque los estudiantes esperaban encontrar que la falla era mayor a la encontrada el día anterior, se asombraron de lo que encontraron (Figura 4). El ΔT del bushing del lado de la carga había aumentado de 7°C a 20°C y en el lado de la línea de la fase B ahora mostraba un ΔT de 4°C. Lo único que había cambiado en las condiciones del día anterior era la velocidad del viento y por eso se había reducido la temperatura de las anomalías el día anterior.

Ahora era obvio que ambos problemas eran provocados por una falla interna pues el patrón térmico anormal se localizaba en la base de los bushings y también que los problemas eran más serios de lo que aparentaban. Luego de realizar esta inspección, el grupo de estudiantes recomendó que se realizaran más pruebas como ultrasonido y gases disueltos en el aceite para que en base a los resultados se pudiera realizar la reparación lo antes posible.

Todos podemos aprender de esta experiencia aun cuando recientemente hayamos comenzado a utilizar la Termografía o que seamos termógrafos experimentados. Los termógrafos deben saber que el enfriamiento convectivo tiene un impacto, pero desafortunadamente no resulta sencillo como muchos piensan calcular el mismo. En la vida real la manera en que se transfiere el calor alrededor de un componente es muy complejo de entender, por dicha razón los termógrafos deben evitar utilizar programas informáticos simplistas que emplean factores de corrección sencillos para todas las situaciones. Estos programas producirán resultados que probablemente no serán exactos.

Para realizar correcciones de temperatura precisas de situaciones de la vida real, se requiere un análisis detallado, modelación matemática y confirmar los resultados de cada situación. Variables como la forma de los componentes, su orientación y condiciones locales precisas son necesarias para cálculos precisos. ¿Vale la pena realizar tan gran esfuerzo? Eso depende de las consecuencias de tener un resultado inexacto. Los ter-

Escala de la velocidad del viento de Beaufort

De 6 a 11 km/h

- Las hojas de los arboles susurran
- Las veletas se mueven

De 12 a 18 km/h

- Hojas en constante movimiento
- Pequeñas banderas ondeando

De 19 a 29 km/h

- Se levanta el polvo y papeles
- Las ramas de los arboles se mueven

Figura 5. Escala de la velocidad del viento de Beaufort



Figura 6. El Kestrel 3000 es una herramienta económica que mide las condiciones ambientales, lo cual es esencial al realizar inspecciones infrarrojas en exteriores.

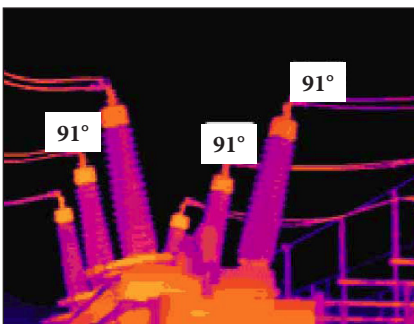


Figura 7. Se sugiere realizar inspecciones de seguimiento luego de realizar reparaciones. Se tomó esta imagen en condiciones adecuadas y se pudo constatar que las reparaciones fueron bien realizadas.

mógrafos deben tener siempre en mente que los componentes que inspeccionan en situaciones como la anterior están siendo enfriados por convección, aun cuando se tiene corrientes de aire tan pequeñas como de 8 km/h se puede indicar que una o ambas afirmaciones son ciertas:

- La temperatura de una conexión caliente aumentará al reducirse la convección.
- Pueden pasar desapercibidos problemas pues están siendo enfriados por convección.

Si se realizan inspecciones con vientos de 16 kms/h deben llevarse a cabo con extrema precaución y se deben reevaluar los resultados obtenidos en días con las condiciones ambientales correctas y por otros métodos de pruebas. Se debe mediar o estimar la velocidad del viento al realizar una inspección, no es suficiente escuchar el pronóstico del clima pues en algunas ocasiones hemos podido percatarnos que la velocidad del viento en una subestación puede ser de 32 km/h mientras que la velocidad del viento alrededor de la misma puede ser de 8 km/h. Es decir, solamente la estructura de la subestación tiene una gran influencia en la velocidad del viento.

Se puede medir o estimar la velocidad del viento por dos métodos muy sencillos:

- Utilizar un medidor de bolsillo que mide de manera precisa la velocidad máxima, mínima y promedio del aire, así como también la temperatura del aire, humedad relativa y otros parámetros.
- También se puede estimar usando la escala de Beaufort, la cual se basa en los efectos del viento en el entorno. A continuación presentamos una versión simplificada de la misma.

Por cierto, en el caso de nuestros amigos de la generadora en las costas del Golfo la historia tuvo un final feliz. Poco tiempo después del entrenamiento realizaron una parada no-programada debido a otras razones y se realizaron las recomendaciones que habían propuesto. Se encontró que la falla era peor de lo que se esperaba, confirmando lo que temían.

Luego de realizadas las reparaciones, los estudiantes tomaron una imagen térmica para verificar que las anomalías hubieran sido resueltas (Figura 7). Puede estar seguro que la imagen térmica fue tomada con muy poco viento soplando, ellos habían aprendido la lección! 