

# Punto caliente

Un nuevo sensor de infrarrojos mide la temperatura de los interruptores automáticos del generador

El interruptor automático del generador (GCB) es de gran importancia para el funcionamiento sin problemas de una central eléctrica moderna. Se coloca normalmente entre un generador y su transformador para proteger este equipo y maneja intensidades muy elevadas, normalmente de decenas de kA. Con dichas intensidades, basta un aumento pequeño de la resistencia en el recorrido de la corriente para causar un aumento muy elevado de la temperatura

del interruptor, lo que puede tener consecuencias muy graves. La supervisión de la temperatura es, por tanto, esencial. Pero esta puede ser una labor muy difícil en un entorno de alta tensión (AT), por lo que ABB emprendió un programa de desarrollo para crear un nuevo sistema de sensores de temperatura para GCB.

Los GCB se utilizan, por ejemplo, en turbinas de centrales eléctricas de combustibles fósiles, nucleares y de gas, de ciclo combi-

nado, hidroeléctricas y de bombeo. Desempeñan un trabajo muy duro: durante el funcionamiento normal de la central eléctrica, el GCB tiene que transportar toda la intensidad nominal del generador, que puede alcanzar fácilmente los 23 kA sin refrigeración del bus o más de 30 kA con refrigeración activa, a tensiones de hasta 32 kV ➔1.

Con intensidades tan elevadas, basta un aumento leve de la resistencia eléctrica en la trayectoria de la corriente para iniciar un fuerte aumento de la temperatura. El aumento de la resistencia puede deberse a la alineación defectuosa de las conexiones, a la acumulación de polvo dentro del GCB o al deterioro de las superficies de contacto. El calentamiento consiguiente puede dañar las zonas internas de contacto revestidas de plata, como las zonas de conexión de los conductos del bus, los seccionadores de línea y el sistema de contactos de la cámara de interrupción. La eliminación de calor del conductor principal se efectúa en parte



1) Aplicación de central eléctrica de reserva por bombeo con HECPS-3S.

por radiación, por lo que se aplica generalmente al conductor una pintura de alta emisividad; pero esto no basta para evacuar temperaturas muy elevadas (las temperaturas de funcionamiento normales oscilan entre 70°C y 90°C).

Una temperatura excesiva puede determinar la pérdida de la capacidad de interrupción o incluso provocar una descarga disruptiva por contorno si los componentes empiezan a fundirse.

### GMS600

El GMS600 de ABB es un sistema de vigilancia de GCB que indica la necesidad de mantenimiento y avisa con prontitud para evitar paradas imprevistas → 2. El GMS600 calcula el tiempo hasta la revisión general en función de los cortes acumulados de corriente, el número total de operaciones mecánicas, el tiempo transcurrido desde la última revisión, la supervisión del accionamiento principal del interruptor, la densidad de SF<sub>6</sub>, etc. Un aspecto que faltaba en su repertorio era la supervisión de la temperatura. Esto se debía a que ningún sistema comercial de detección de la temperatura cumplía todos los requisitos técnicos, comerciales y funcionales para la vigilancia precisa y fiable de la temperatura de los GCB durante el funcionamiento.

Esta falta de un sistema comercial no es sorprendente, pues la supervisión de la temperatura de componentes de alta tensión puede ser complicada. el sensor de temperatura debe soportar duras condiciones electromagnéticas y puede verse expuesto a gradientes de temperatura pronunciados debidos, por ejemplo, al clima del desierto.

Fue necesario desarrollar un nuevo sensor de temperatura.

### Desarrollo y diseño del sensor

Un análisis técnico detallado determinó que un esquema de medición de la temperatura basado en la detección de la radiación infrarroja (IR) era el mejor método. Decidido esto, el objetivo era tomar un sensor IR comercial y empaquetarlo para obtener lecturas fiables en el exigente entorno del GCB.

El componente esencial del sensor de temperatura IR es el propio elemento detector. Se eligieron detectores de termopila no refrigerados basados en Si por su buena relación coste/rendimiento. La única forma de garantizar el funcionamiento correcto del sensor en las duras condiciones del GCB –gradientes de temperatura espacial y temporal y potentes campos electromagnéticos con transitorios rápidos– era empaquetar adecuadamente el detector IR y la electrónica.

Además del detector ASIC se añadieron componentes electrónicos para convertir la señal digital de salida SMBus a Modbus. Estos componentes también deben soportar el riguroso entorno de EMI (interferencias electromagnéticas) de un GCB.

El paquete del sensor debe cumplir tres objetivos importantes:



2) GMS600 central para la supervisión del estado.

- Supresión de los fuertes gradientes espaciales de temperatura en el elemento sensor IR.
- Supresión de los fuertes gradientes temporales de temperatura en el elemento sensor IR.
- Supresión de EMI.

Para cumplir el primer objetivo, la carcasa del elemento sensor IR se recubrió con un material de alta conductividad térmica → 3. Esto garantiza el equilibrio inmediato de los gradientes de temperatura y la homogeneidad del campo térmico en torno al sensor.

El segundo objetivo puede alcanzarse eligiendo un diseño que determine una constante de tiempo térmica elevada (del orden de varios minutos). La constante de tiempo del paquete del sensor puede incrementarse aportando al sensor y a la abertura una masa térmica elevada y reduciendo la conductividad térmica alre dedor del sensor para retrasar la entrada de calor en el mismo.

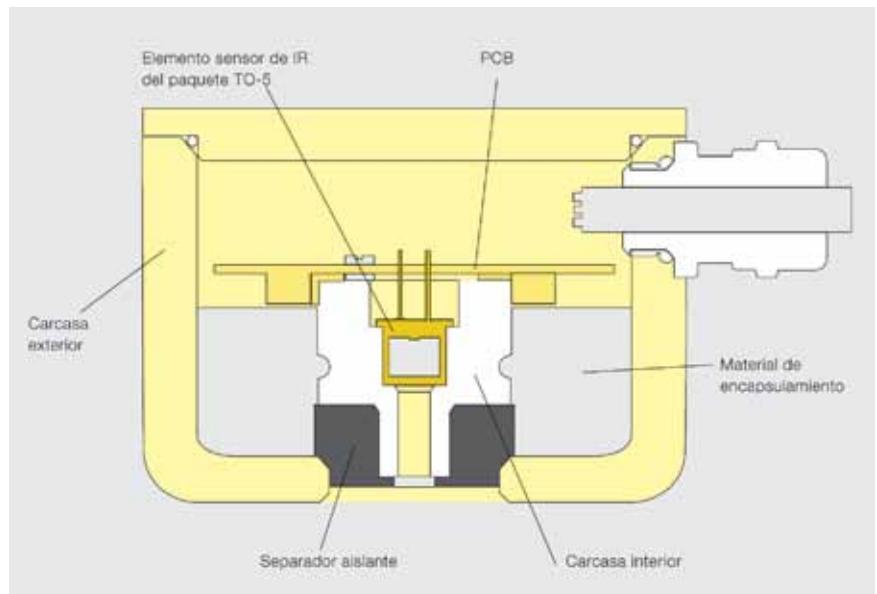
El paquete es, por tanto, una carcasa de dos partes con un acoplamiento térmico débil entre los componentes interior y exterior → 3. Este enfoque cumple intrínsecamente los requisitos dieléctricos y de EMI: la carcasa exterior actúa como jaula de Faraday y el

aislamiento térmico actúa como aislante eléctrico y como barrera de calor. Como contramedida EMI añadida, la carcasa exterior está conectada a tierra a través de la envolvente del GCB y la carcasa interior está conectada a un potencial de tierra local.

El dimensionamiento del paquete se definió mediante simulación por el método de elemento finitos (FEM) de transitorios térmicos de un modelo térmico simplificado → 4. El objetivo de diseño fue lograr una constante de tiempo térmica superior a 10 minutos. Esta duración se predijo por medio de la simulación y se verificó mediante pruebas experimentales.

### Prototipos y pruebas

Se realizaron experimentos de cambios bruscos de temperatura para comprobar el diseño térmico y verificar el buen acoplamiento térmico del sensor IR y su entorno. El sensor de temperatura IR se expuso a un cambio de temperatura ambiente de 25 a 70 °C. El ritmo de aumento de 5 °C/min estaba limitado por el potencial de calentamiento de la cámara climática utilizada. Durante el experimento el sensor de temperatura IR se colocó frente a un radiador de cuerpo negro mantenido a una temperatura constante de 80 °C. Se comprobó un muy buen comportamiento del sensor (error inferior a 2 °C) si el acoplamiento



3) Esquema de la sección transversal del paquete sensor que muestra los principales componentes funcionales.

térmico a la carcasa interior estaba garantizado por una grasa o adhesivo térmico.

Para verificar el comportamiento del sensor de temperatura IR se construyeron 21 prototipos de sensores y se sometieron a distintos escenarios medioambientales simulados por la cámara climática. Se ensayó la respuesta del sensor en un intervalo de temperaturas del radiador de cuerpo negro de 30 a 120 °C a una temperatura ambiente constante (sensor) de 25 °C. La respuesta del sensor mostró un comportamiento lineal. El error de linealidad se mantuvo por debajo de 3 °C en todo el intervalo de temperaturas estudiado. Las variaciones (desviación típica) entre los prototipos individuales fueron de 0,8 y 1,2 °C a una temperatura estudiada de 75 y 120 °C, respectivamente.

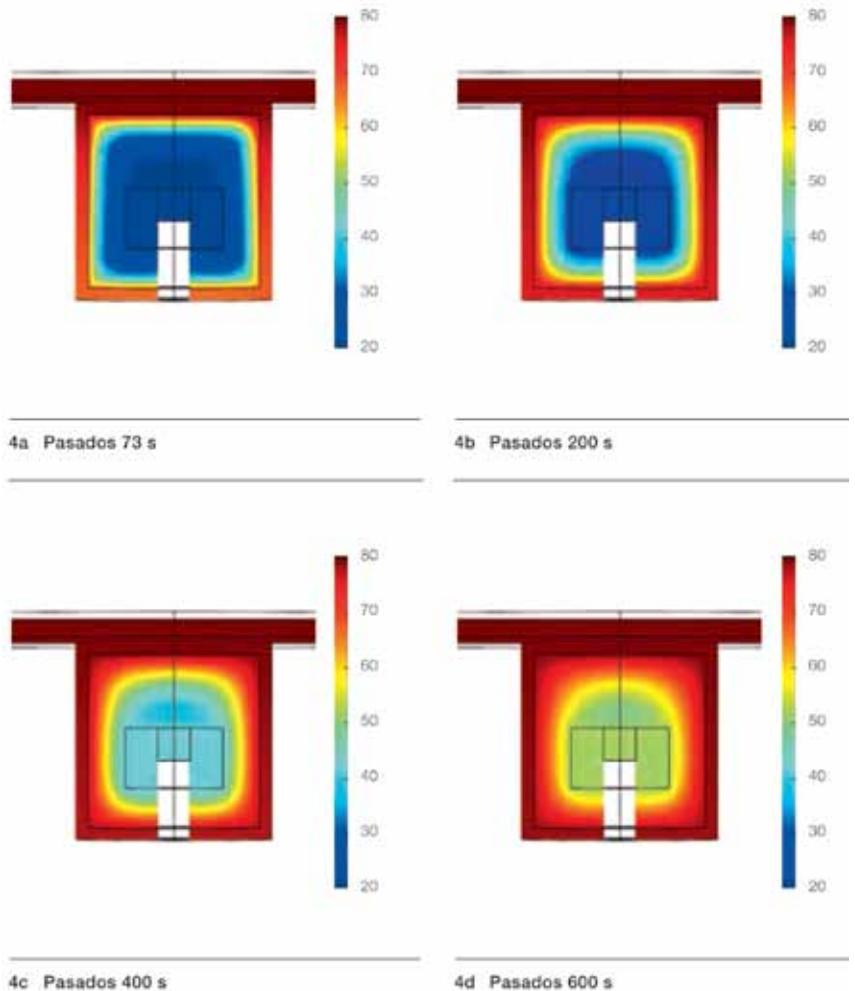
Una tarea muy importante para el sistema IR de vigilancia de la temperatura es la detección de sobrecarga del GCB, cuando la temperatura del conductor principal puede aproximarse a 120 °C. Esta situación se simuló cambiando el intervalo de temperaturas estudiado de 80 a 120 °C → 5. El sensor IR captó con precisión este cambio de temperatura y la desviación de la medición permaneció holgadamente dentro del intervalo de pre-

cisión requerido de  $\pm 3$  °C.

Para evaluar la influencia de los cambios de temperatura ambiente, los sensores de temperatura IR se expusieron a tres ciclos consecutivos de temperatura de -5 a 60 °C a un ritmo de 0,1 °C/min. Se eligió este ritmo de cambio de temperatura para simular un esce-

nario típico día/noche.

De nuevo, el error típico de medición del sensor se mantuvo por debajo de los 3 °C. Además, en las pruebas de humedad, el error de medición del sensor fue inferior a 2,5 °C hasta con un 90% de humedad relativa, a una temperatura ambiente de 60°C.



**4) Simulación FEM del calentamiento del paquete sensor. Proporciona una estimación inicial de la constante de tiempo térmica del paquete completo, utilizada para definir las dimensiones.**

Los sensores de temperatura IR también se probaron para otros factores perturbadores propios del entorno del GCB. Esto incluye una completa prueba de vibraciones para simular el impacto mecánico de las operaciones de conmutación del GCB. Se probó la inmunidad electromagnética según las normas IEC 61000-4 e IEC 61000-6, probando la inmunidad a los campos electromagnéticos de RF y las descargas electrostáticas, y se realizaron pruebas de transitorios eléctricos rápidos (se exigió un nivel de gravedad 3). Todas las pruebas se superaron de forma satisfactoria, por lo que el sistema sensor se homologó para funcionar en un GCB.

### Fase de conversión en producto

La participación de un posible fabricante desde el principio del proyecto se tradujo en un prototipo de tecnología muy maduro. Sólo fueron necesarios unos pocos cambios para la conversión completa en producto.

La conversión en producto se realizó en paralelo al trabajo de adaptación en el propio sensor. Esto cubría el conjunto del sensor, el diseño de los mazos de cables, la integración mecánica de los sensores en la envolvente del GCB, la canalización de los cables

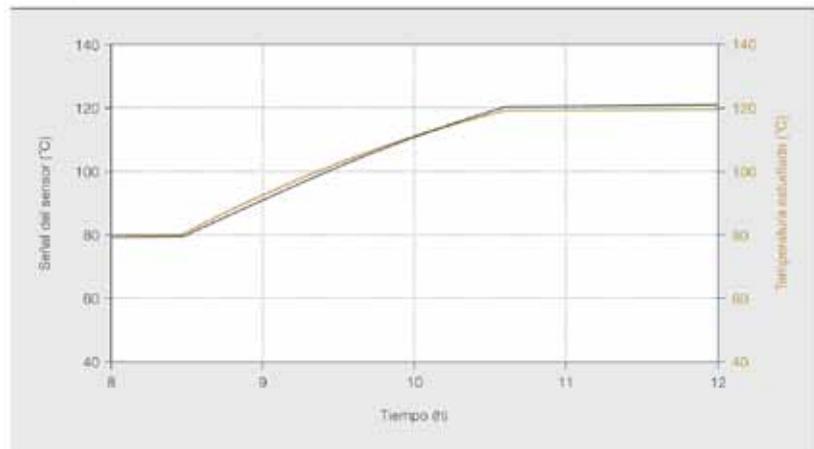
y una actualización del *software* de vigilancia GMS600 para registrar, guardar y presentar los datos de temperatura al cliente para nueve sensores (tres por fase). La cadena de suministro se implantó en colaboración con el fabricante, que también premonta los sensores y los cables en un bastidor de

montaje para acelerar la instalación en el GCB.

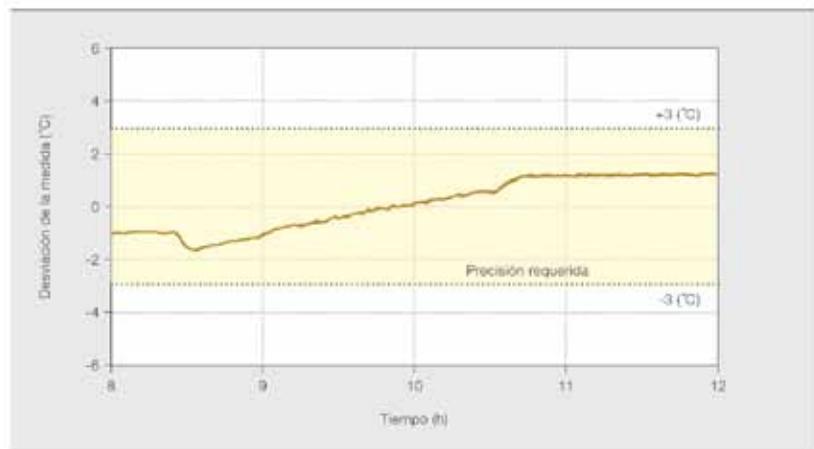
### Servicio ampliado

La rentabilidad puede mejorarse sustancialmente con un enfoque de servicio inteligente, como el mantenimiento predictivo. Pero un mantenimiento predictivo ef-

#### 5) Simulación en cámara climática del sobrecalentamiento del GCB: respuesta del sensor de temperatura IR.



a) Señal del sensor IR a una temperatura estudiada de 80°C a 120°C a lo largo de varias horas.



b) La desviación de la medida se mantiene claramente dentro del intervalo de  $\pm 3\text{°C}$  en toda la rampa de temperaturas.