



XXVIII CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS

22 AL 24 DE ABRIL DE 2026. Bogotá - Colombia



TRANSFORMANDO LA GESTIÓN DE ACTIVOS, INTEGRACIÓN DE SENSORES, PROTOCOLOS IEC Y ANÁLISIS DE DATOS

ISA ENERGIA

Calle 12 Sur No. 18 - 168., (4) 3157590

E.mail: alsanta@intercolombia.com - afrua@intercolombia.com - currea@intercolombia.com -
wcadavid@intercolombia.com - gacardenas@intercolombia.com - mahernandez@intercolombia.com
Bogotá, D.C. – Colombia

Declaración de la oportunidad / problema / situación:

Los interruptores de tanque muerto con gas SF₆ de la SE San Carlos 230 kV han presentado, en los últimos años, eventos operativos y hallazgos de mantenimiento que evidencian la necesidad de mejorar el monitoreo de la condición del gas aislante. En junio de 2016 se registró el disparo de un interruptor por baja presión de SF₆ en Etapa 2, en la subestación San Carlos, en Antioquia; al verificar en sitio, las presiones en cada polo se encontraban alrededor de 6,2–6,3 bar por fase, valores cercanos al umbral de actuación del esquema de baja presión. Este tipo de eventos, aun cuando el equipo se mantiene en rangos operativos, revela la sensibilidad del sistema frente a variaciones del gas y el riesgo de indisponibilidad asociada a la ausencia de una supervisión y continua de sus parámetros de detalle en tiempo real.

De manera complementaria, debido a fallas recurrentes en interruptores de tanque muerto, se estableció como práctica realizar pruebas de calidad de SF₆ aproximadamente cada dos meses sobre equipos de forma aleatoria. Con esta actividad, nos permitió identificar condiciones anómalas del gas, entre ellas un caso con alto contenido de SO₂ en la fase A, que motivó el cambio completo del SF₆ del equipo y la recomendación de extender las pruebas a las fases B y C. Posterior al recambio se obtuvieron parámetros de referencia adecuados (masa de gas, pureza cercana al 99,8 % y ausencia de SO₂), lo que nos confirmó que la degradación del gas se

había detectado de manera tardía, a partir de resultados de laboratorio y no mediante un seguimiento en línea de su comportamiento.

En paralelo, el análisis del historial de fallas llevó a seleccionar al interruptor de tanque muerto asociado a la bahía de línea 2L160 como candidato para la instalación de un sistema de monitoreo de gas SF₆, realizándose levantamientos de información en campo para definir puntos de instalación, distancias de cableado y posibilidades de integración con la infraestructura de comunicaciones existente. Estas actividades, si bien fortalecieron el seguimiento de la condición del gas mediante pruebas periódicas, mantuvieron un esquema reactivo y basado en mediciones puntuales, con costos adicionales, utilización de recursos de laboratorio y ventanas de intervención en los equipos.

En este contexto, la instalación de un sensor de monitoreo de calidad de gas en un interruptor de tanque muerto, para el monitoreo continuo de presión, temperatura y humedad y el cálculo de densidad y punto de rocío con comunicación Modbus RTU sobre RS-485, posterior realizamos su integración mediante un gateway que convierte a IEC 61850 para el SAS y a IEC 60870-5-104 para el SCADA, es una oportunidad para transformar la forma en que se gestiona la condición del SF₆. Lo anterior permite que la transmisión de datos se haga de forma continua hacia el software histórico PI, esta arquitectura habilita un monitoreo que entregue información y se pueda anticipar condiciones anómalas, también



XXVIII CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS

22 AL 24 DE ABRIL DE 2026. Bogotá - Colombia



estandariza la integración multimarca de sensores y sistemas de automatización, y soporta una gestión de activos basada en datos, cerrando el ciclo entre la detección temprana de desviaciones, la toma de decisiones informada y la ejecución oportuna de estrategias de operación y mantenimiento.

Objetivos

1. Integrar las variables medidas en tiempo real de presión, temperatura, humedad, densidad y punto de rocío provenientes del sensor en la arquitectura existente del sistema de automatización de subestación (SAS), por medio de un gateway que convierta de Modbus RTU a IEC 61850 para el SAS y a IEC 60870-5-104 para el SCADA, asegurando la interoperabilidad y en un entorno multimarca.
2. Validar el ciclo completo de transmisión de datos, iniciando desde el sensor, pasando por el Gateway hasta llegar al SCADA y posterior al software histórico PI. Verificando la consistencia de las variables medidas y su disponibilidad para análisis histórico, como base para la detección temprana de condiciones anómalas del SF6 en interruptores con historial de fallas.

Metodología

El trabajo realizado se delimita como empírico-aplicado, basándonos en un estudio de caso en la subestación San Carlos 230kV. En el cual se integran antecedentes de fallas, un diseño de una arquitectura de comunicación para el servicio del monitoreo, pasando por una validación in situ de las señales y finalmente, el desarrollo de una interfaz que aporta valor para la toma de decisión del especialista en la gestión de activos.

Resultados cuantitativos o cualitativos

La implementación del sistema de monitoreo nos permitió llegar a resultados cuantitativos y cualitativos sobre la viabilidad técnica de la solución y su aporte a la gestión de activos de interruptores de tanque muerto con SF6.

Desde el punto de vista cuantitativo, se logró la integración y visualización en línea de las variables más importantes del gas SF6 en las tres fases del interruptor 2L160, a lo largo de toda la cadena desde el sensor, pasando luego al Gateway, saldo al SAS, luego al software histórico PI.

Ahora bien, desde el punto de vista cualitativo, cambia la forma de tomar decisiones, antes de la implementación, la condición del SF6 se evaluaba mediante pruebas puntuales de calidad cada dos meses, ahora con la implementación del sistema de monitoreo en línea, la información está disponible en tiempo real, y con esto se permite configurar umbrales, tendencia o alarmas para anticipar situaciones que pongan en riesgo el activo.

La integración de los datos basada en protocolo Modbus RTU, IEC 61850 e IEC 60870-5-104 muestra que es posible incorporar sensores de una marca A que reporte en un protocolo en una arquitectura que incluye un Gateway marca B, se integran en un SAS marca C, y finalmente lleguen a un Histórico marca D, es decir una integración de datos de distintos fabricantes, manteniendo la interoperabilidad y evitando soluciones de una sola marca. Esta solución muestra la versatilidad de ser escalable a otros interruptores tanque muerto con configuración similar, reutilizando el modelo de datos, la lógica de integración y la arquitectura de comunicación, que se probó en la bahía 2L160.



XXVIII CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS

22 AL 24 DE ABRIL DE 2026. Bogotá - Colombia



Asociación Colombiana
de Ingenieros

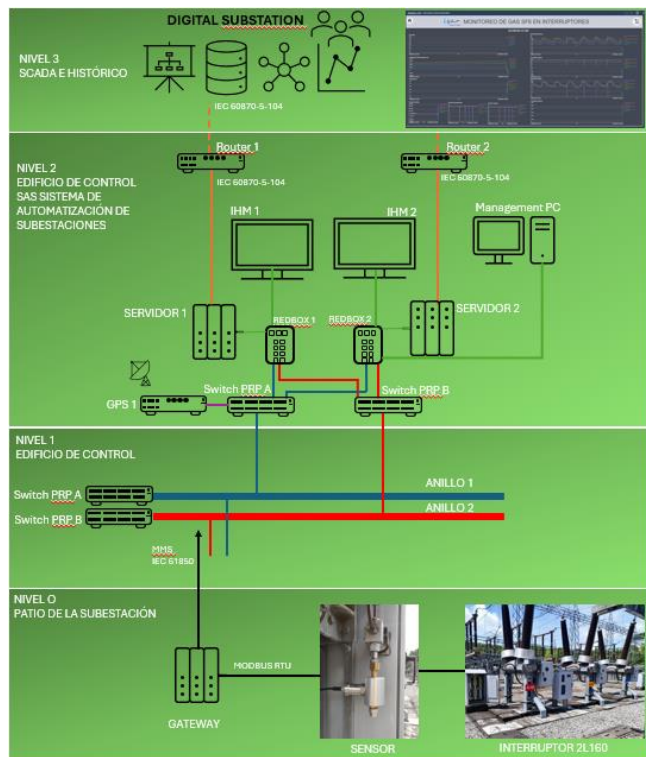


Fig. 1. Esquemático de la topología.

Discusión técnica

Desde el punto de vista técnico, el caso desarrollado en la SE San Carlos 230 kV demuestra que es viable integrar un sensor de monitoreo de SF₆ con protocolo nativo Modbus RTU (GDHT-20) dentro de una arquitectura de automatización basada en estándares IEC, utilizando un RTAC-AXION como gateway para la conversión a IEC 61850 en el SAS y a IEC 60870-5-104 en el SCADA, sin modificar de forma intrusiva la infraestructura existente y manteniendo la interoperabilidad multimarca.

La validación de los datos desde el sensor hasta el SCADA mostró coherencia numérica en variables como presión, densidad y contenidos de humedad, que se observaron con valores equivalentes en el Gateway RTAC-AXION, en las tramas IEC-104 y en los puntos analógicos asociados a la posición del interruptor 2L160, ya con esto garantizamos la

integridad de las magnitudes físicas que luego serán suscritas en el software histórico PI. En el contexto de antecedentes como disparos por baja presión y detección tardía de degradación del gas mediante pruebas de laboratorio, también esta arquitectura ofrece una propuesta técnica consistente para evolucionar desde un enfoque reactivo hacia esquemas de monitoreo predictivo apoyados en datos en series de tiempo.

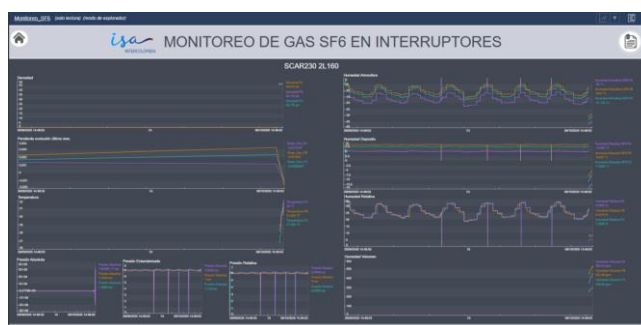


Fig. 2. Interfaz del monitoreo de SF₆ en histórico.

La solución también tiene otras consideraciones sobre capacidad de comunicaciones, mediante la configuración de reportes y prioridades de señales en SAS para evitar saturar los canales al agregar nuevas variables, lo que resultaría crítico si se quiere escalar el monitoreo a otros interruptores tanque muerto con historial de fallas similar.

Conclusiones vinculadas a impacto o gestión de activos

La implementación del sistema de monitoreo en línea permitió establecer la infraestructura necesaria para pasar de un esquema de pruebas puntuales de calidad de SF₆ y acciones reactivas ante disparos por baja presión o resultados de laboratorio adversos, a un enfoque de gestión de activos basada en condición.

La disponibilidad continua de variables como presión, densidad, humedad y puntos de rocío del SF₆ en el interruptor 2L160 entrega información



XXVIII CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS

22 AL 24 DE ABRIL DE 2026. Bogotá - Colombia



para anticipar desviaciones y planear intervenciones antes de que se materialicen fallas.

Al integrar las señales del GDHT-20 en el SCADA y, posteriormente, en el software histórico PI, la organización cuenta ahora con información estructurada y trazable para la toma de decisiones en activos críticos. Esto facilita que las decisiones de cambio de gas, ajuste de programas de mantenimiento o priorización de recursos no dependan únicamente de eventos ya ocurridos como disparos o hallazgos de SO_2 elevado.

El piloto se circunscribe a un estudio de caso en la bahía 2L160, la capacidad de monitorear en línea la condición del SF_6 tiene un impacto directo en la gestión del riesgo operativo de los interruptores de tanque muerto.

La arquitectura desarrollada, basada en la conversión Modbus RTU-IEC 61850-IEC 60870-5-104, es técnicamente robusta e interoperable en un entorno multimarca (sensor WIKA, gateway SEL, SAS SIEMENS, SCADA y PI-Histórico), lo que facilita su escalabilidad a otros interruptores tanque muerto con características y antecedentes similares

La implementación habilita el desarrollo posterior de indicadores de salud del interruptor y de modelos de diagnóstico o pronóstico soportados en analítica de datos.

REFERENCIAS

[1] Fu, H.; Huang, J.; Luo, Y.; Li, R.; Liang, J., "Research on Online Monitoring Methods for the Closing Point of 12 kV Air Load Switch", 2024 7th International Conference on Electric Power Equipment - Switching Technology (ICEPE-ST). IEEE. 2024.

[2] Gao, Q.; Yuan, F.; Dai, J.; Zhao, D.; Li, Z.; Pan, F.; Pan, J., "Research on Condition Monitoring Technology of Modular Reactive Power Compensation Control System", 2023 International Conference on Power, Electrical Engineering, Electronics and Control (PEEEEC). IEEE. 2023.

[3] Schweitzer Engineering Laboratories (SEL), "SEL-2240 – Página de producto".
Disponible en:
<https://selinc.com/es/products/2240/>