

Sistema inteligente basado en IIoT-IEC61850 integrado al monitoreo de gas SF₆ (SMARTIEC – SF₆)

Yessica Monges, Jacqueline Cabañas, Mario López, R. Bhagchandani, Jorge Dure

Fundación Parque Tecnológico Itaipu Paraguay

Paraguay

1.1. Resumen

Este artículo presenta un sistema inteligente integral aplicado al monitoreo del gas SF₆ convencional basado en el estándar IEC 61850 y el entorno IIoT (Industrial Internet of things). El uso de la norma IEC 61850 contribuye a la funcionalidad de los modernos sistemas de comunicación, control, protección y seguridad en el ámbito eléctrico además de la facilidad de mantenimiento resultante de la adopción de esta norma. Por otra parte, aprovechar el potencial de IIoT para lograr que un dispositivo tenga inclusión en escenarios con plataformas de análisis avanzadas y servicios en la nube. En subestaciones convencionales, los interruptores de potencia aislados a gas SF₆ en general son instalados con un medidor de temperatura y presión de gas SF₆, que permite monitorear la condición de operatividad del equipo, que por lo general son señales de estado bajo nivel, bloqueo y en condición para operación, sin comunicar los valores analógicos de temperatura y presión. Para el caso de estudio, se propone la inspección de señales analógicas y digitales de temperatura y presión del gas SF₆, lo que implica la solución propuesta mediante el procesamiento de señal de estas variables e integrarlo a un sistema IoT-IEC 61850.

De esta manera, se demuestra la potencialidad de expandir el uso de esta tecnología que permite integrar elementos de sensores o dispositivos inteligentes (IED) tratarlos y comunicar al sistema supervisorio de manera estandarizada.

1.2. Palabras clave

Industrial Internet of things, IEC 61850, Smart Grids, SF₆, Subestación, Interoperabilidad, SCADA.

1.3. Cuerpo del trabajo

1. Introducción

La necesidad de obtener informaciones de funcionamiento de los equipos de maniobra, transformadores y sistemas de alimentación es esencial para prever casos de fallas o planificar mantenimientos. La facilidad de asistencia es resultante de la adopción de normas o estándares para interoperabilidad de todos los elementos de la red.

La norma IEC 61850 es un estándar para la automatización de subestaciones eléctricas que mantiene la interoperabilidad del protocolo de comunicación y la transmisión de información en tiempo real. Esto se logra mediante los servicios de comunicación como la transferencia rápida de eventos

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE
23 y 24 de Junio 2022

GOOSE (Generic Object Oriented Substation Event), mensajes MMS (Manufacturing Message Specification) y los Sampled Values, [1][2].

El uso de la norma IEC 61850 actualmente se ha extendido en términos de automatización desde las subestaciones hasta el área de la red de distribución. Sin embargo, en escenarios de aplicaciones asociados a la comunicación en la nube y ampliación a otros procesos relacionados no ha sido factible la unificación debido a su compleja implementación de software y alto consumo de recursos, [2][3]. La integración de varios protocolos de comunicación en un solo enfoque proporciona un alto grado de interoperabilidad para equipos que interactúan entre sí y la escalabilidad a otros procesos. Es aquí donde, aprovechando el potencial de redes inteligentes IIoT para lograr una arquitectura de comunicación flexible, logra la integración de datos entre los procesos eléctricos y otras aplicaciones para la automatización de sistemas como análisis de datos y mejoras en el rendimiento de los procesos.

En IoT, el protocolo MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) es una extensión ligera de TCP/IP que utiliza un modelo de publicación-suscripción. Esto implica que un cliente MQTT puede publicar un mensaje destinado a un servidor MQTT que luego será reenviado por el servidor a todos los clientes MQTT que están suscritos a una información dada, [3].

Mientras que, los datos IEC 61850 están en una estructura orientada a objetos y se describen mediante un archivo de configuración de la subestación, lo que significativamente simplifica la verificación in situ, la gestión y el mantenimiento de la base de datos.

Arquitectura de comunicación entre ambos protocolos implica que para asignar IEC 61850 a MQTT es necesario un método de mapeo de los objetos de datos y los servicios de comunicación abstractos definidos por IEC 61850 a los objetos de datos y servicios del protocolo MQTT en la capa de aplicación (IEC 61850-8-1 mapeo MMS). En este proyecto se aborda la arquitectura de integración de ambos protocolos, las generalidades y los diversos puntos de discusión mediante su inclusión en una aplicación práctica del monitoreo de variables analógicas de gas SF₆.

1.1 Caso de estudio

Para lograr la correcta transición a sistemas eléctricos inteligentes, es necesario que cada área de un sistema eléctrico tenga la capacidad de adaptarse y migrar a lo que se lo denomina “Smart grid”. Las subestaciones eléctricas juegan un importante rol en los sistemas eléctricos y la automatización de la gran mayoría de ellos está basado en el estándar IEC 61850 en donde la exitosa implementación de este estándar brinda la posibilidad de tener dispositivos eléctricos inteligentes con una arquitectura escalable [3].

Actualmente, existen subestaciones convencionales en donde se tiene instalados equipos de medición que manejan su propio protocolo, lo que dificulta la integración y control de todos los equipos de una forma estandarizada. El caso de estudio utilizado son los sensores del gas SF₆ de los interruptores de potencia en hexafluoruro de azufre instalados en el patio de 220 KV de la subestación margen derecha de la Itaipú Binacional- SEMD figura 1.

El gas hexafluoruro de azufre (SF₆) es ventajoso para los interruptores de potencia debido a sus

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE
23 y 24 de Junio 2022

excelentes propiedades para apagar el arco y a sus elevadas características de aislamiento eléctrico [4]. Un método convencional del control de la densidad de gas sigue las características del gráfico de presión-temperatura ilustrado en la Figura 2. El switch que controla la presión del gas está basado en la compensación de temperatura y sigue la línea constante-densidad.

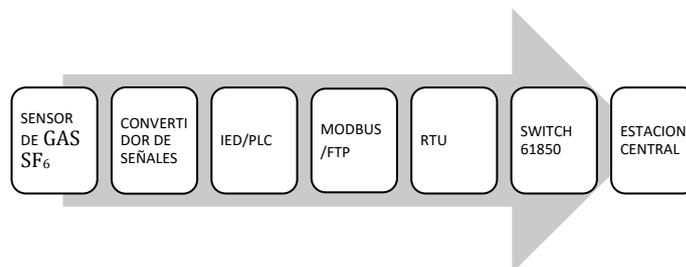


Figura 1. La arquitectura general de un sistema de monitoreo de interruptor del caso de estudio.

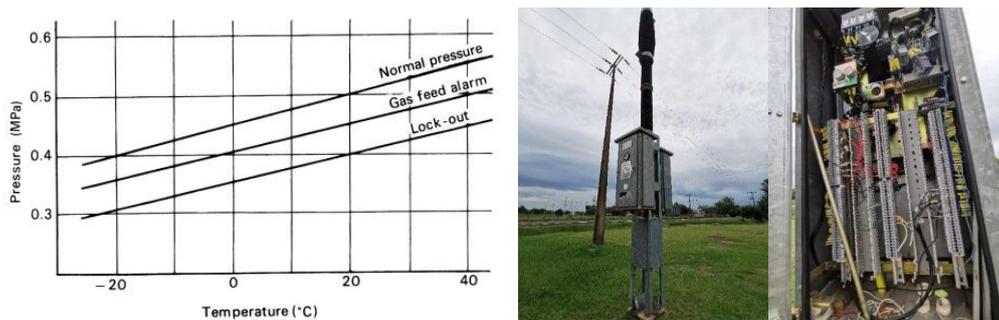


Figura 2. Característica de la Presión- Temperatura del gas SF₆ a un volumen constante específico [4]. Interruptor de potencia de 220KV utilizado como caso de estudio.

Existen diferentes tipos de sensores de gas SF₆, entre ellos se encuentran los sensores con salida analógica y los que utilizan el protocolo de comunicación R485/MODBUS. Para este caso de estudio se eligieron los sensores con salida R485/MODBUS.

El sensor de gas es instalado en la cámara de gas del interruptor de donde se extraen las señales a ser monitoreadas. En los próximos capítulos se detalla la implementación de la plataforma IoT a la arquitectura convencional presentada. El prototipo de interruptor utilizado, las conexiones de los sensores van al tablero de control (Figura 2) de donde se pueden extraer las señales de monitoreo.

2. Implementaciones de la plataforma IoT-IEC61850

El desafío principal del trabajo es la capacidad de convertir dispositivos convencionales que se componen de diversos protocolos al estándar IEC-61850 y combinarlos con las bondades de la tecnología IoT. Como se ha mencionado el caso práctico realizado es la medición de señales analógicas de temperatura, presión y humedad del gas SF₆ convencional e integrarlo a un sistema IoT-IEC61850.

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE
23 y 24 de Junio 2022

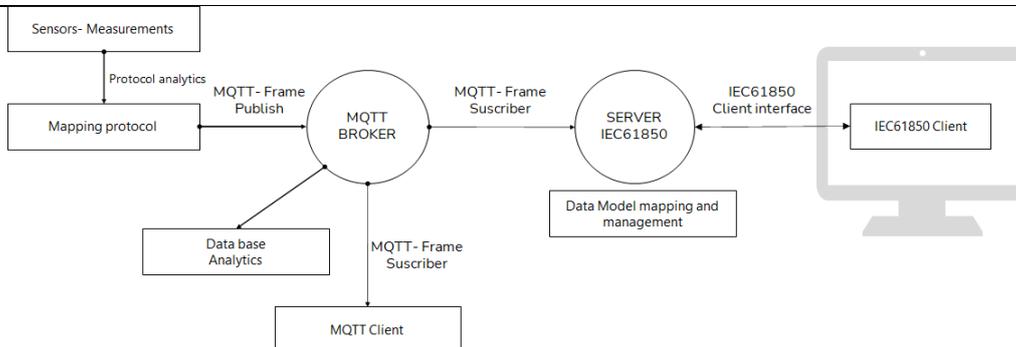


Figura 3. Arquitectura de la plataforma IoT – IEC61850. Se muestran los procesos de conversión y etapas principales utilizando los protocolos MQTT – IoT y IEC 61850: GOOSE, SV y MMS.

La arquitectura se muestra en la Figura 3 y describe el Gateway IoT-IEC 61850 con las siguientes etapas:

- a. Módulo de medición: Sensores o dispositivos para medición analógica y en el caso de estudio mediciones de gas convencional SF₆.
- b. La Unidad de procesamiento (Mapping protocol) es el elemento del sistema que realiza la conversiones o mapeo de protocolos y transmite los datos en MQTT para su posterior traducción a la norma IEC61850. Actualmente existen diferentes estándares de comunicación para la monitorización y el control de los sistemas eléctricos como, por ejemplo: DNP, IEC-60870-5-101, IEC 60870-5-104 o Modbus (TCP o RTU).
- c. Sistema de monitoreo, supervisión y reclutamiento de datos IEC 61850 en el servidor (Data Model mapping and management) para modelados de la infraestructura que será convertida a un dispositivo Gateway. Para estructurar estos dispositivos basados en IEC 61850 y brindar una compatibilidad dentro de la subestación, el estándar define un lenguaje de configuración del sistema (SCL) que son determinados en esta etapa de conversión.
- d. Un cliente IEC 61850 es capaz de acceder a datos y servicios del servidor IEC 61850 a través de interfaces sobre una red TCP-IP (MMS). Cada vez que una información cambia en el servidor IEC 61850 o se actualiza el valor de ciertos atributos definidos, este cambio debe ser detectado por el sistema y registrado posteriormente; De esta manera, cada cambio en IEC 61850 puede estar disponible para cualquier dispositivo y aplicación IoT que cumpla con MQTT. En la figura 4 se observa una captura de tráfico con Wireshark de intercambios de paquetes del sensor de gas SF₆.

La solución propuesta tiene como objetivo permitir que los dispositivos y aplicaciones de IoT en el dominio MQTT accedan a los datos e invoquen los servicios disponibles en el dominio IEC 61850. Es decir, mapear la representación digital de cada recurso eléctrico IEC 61850 en otra representación digital compatible con el estándar MQTT de IoT. Además, la arquitectura permite que un dispositivo y/o aplicación de IoT genérico basado en el estándar acceda a la información mantenida por el servidor IEC 61850 y relacionada con los dispositivos de red inteligente. En la figura 5 se presentan la representación digital del tablero de prueba SF₆.

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE
23 y 24 de Junio 2022

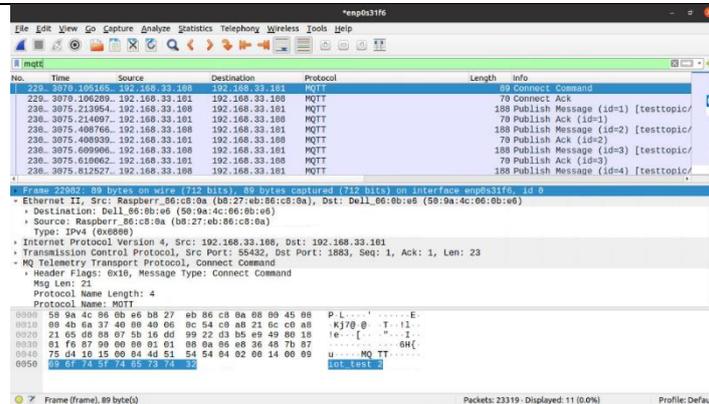


Figura 4. Captura de un paquete encriptado MQTT de los datos enviados por el sensor de SF₆.

Se debe tener en cuenta ciertas consideraciones para la implementación de una plataforma integrada IoT- IEC 61850 dado que la estabilidad, seguridad y aplicación a la que van destinadas cambian las condiciones de requerimientos y funcionalidad.

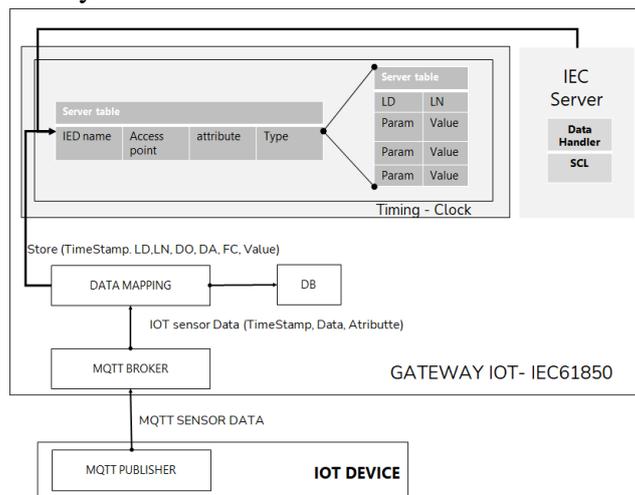


Figura 5. Se muestra el bloque del proceso de mapeo de Gateway IoT-IEC 61850 y representación en el dominio IEC61850 de dispositivos conectados por MQTT.

Por una parte, el protocolo MQTT- IoT presenta limitaciones cuando se precisan de mediciones en tiempo real con altas tasas de rendimiento. En casos prácticos, el protocolo GOOSE y SV de IEC 61850 [3], generalmente se adoptan para establecer control sobre operación crítica del interruptor y mediciones de parámetros analógicos en la subestación. También, la marcada inestabilidad de la comunicación inalámbrica de TCP que el protocolo SV y GOOSE superan mediante el envío de datos por UDP/IP por direccionamiento multicast.

La siguiente arquitectura experimental de figura 6, propone la incorporación del protocolo IEC 61850 - 9-2 SV y GOOSE para la plataforma IoT basado en la placa de desarrollo real time para envíos de los datos o tramas bajo WIFI 2,4 GHz. Cabe mencionar, que esta estructura es necesaria cuando el

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE
23 y 24 de Junio 2022

parámetro medido con alta tasas de muestreo va destinado a medidas críticas o actuación por parte de otros elementos.

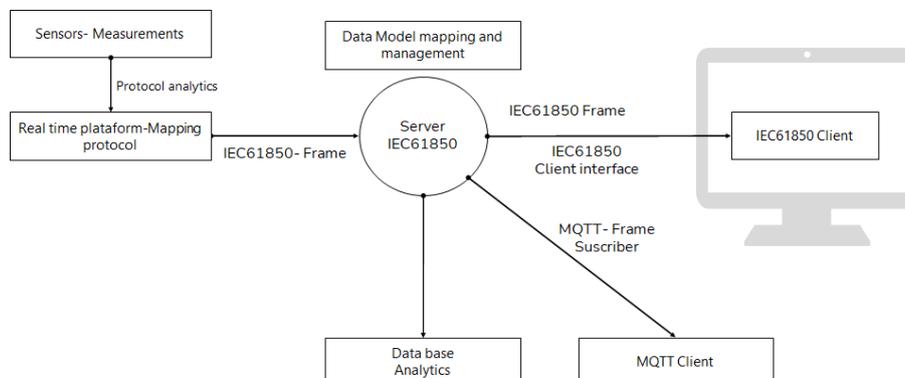


Figura 6. Arquitectura de la plataforma IoT- IEC 61850. Se muestran los procesos de conversión y etapas principales utilizando los protocolos MQTT – IoT y IEC 61850: GOOSE, SV y MMS.

La arquitectura describe el Gateway IoT-IEC 61850. a) módulo de medición: Sensores o dispositivos para medición analógica y en el caso de estudio mediciones de gas SF₆ de los interruptores de potencia convencional; Unidad de procesamiento: Elemento más crítico del sistema que realiza la conversiones o mapeo de protocolo IEC 61850 y transmite los datos. Contiene los requerimientos en tiempo real; Sistema de monitoreo y reclutamiento de datos IEC 61850 donde se configuran los datos mediante SCL. Así también, el Servidor/Suscriptor forma parte del dispositivo Gateway IEC 61850 y se encarga de la gestión del modelo de datos IEC 61850 y sus clases asociados, que muestran las variables reales del sistema y actualiza el modelo de datos bajo el estándar IEC 61850 así como la gestión de los comandos enviados vía SV y se mapea a comando MQTT IoT.

Los paquetes de comunicación son analizados por Wireshark, que verifica la composición de datos y el protocolo IEC 61850 del esquema, figura 7.

Es fundamental analizar la carga total de los mensajes que contienen informaciones de las cantidades analógicas y digitales transmitidos por SV o GOOSE-IEC 61850 y que son de alta frecuencia para dispositivos IoT con procesamiento de datos limitados. El uso de SV y GOOSE requiere una tasa de muestreo considerablemente alta; esto con el objetivo de evitar una inadecuada operación de los dispositivos dependientes.

Dado los factores antes mencionados, y algunos aspectos relevantes en la implementación de IEC 61850; es posible definir que en el proceso de implementación será crucial los tiempos asociados al procesamiento de la señal y muestras por segundo para cumplir con el mencionado estándar y para las operaciones muy críticas de tiempo real es necesario sustituir las operaciones en hardware especializados de alto rendimiento como FPGA o DSP. Mientras que, el protocolo MMS no necesita de una alta tasa de transmisión.

El objetivo principal de esta arquitectura es establecer estos requerimientos y manejo para los procesos de conversión de los dispositivos convencionales con los distintos protocolos de la norma IEC 61850 (SV, GOOSE y MMS) y su integración a una plataforma IoT- IEC 61850.

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE
23 y 24 de Junio 2022

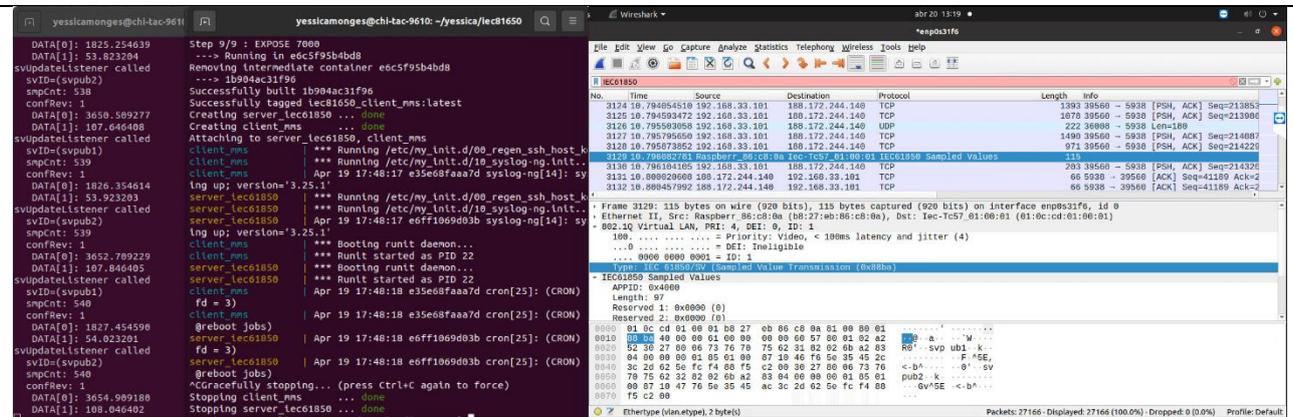


Figura 7. Se verifican los datos recibidos en trama IEC 61850 enviados por el sensor conectado al sistema de monitoreo de gas SF₆ analizados por Wireshark.

El sistema permite que un dispositivo/aplicación MQTT invoque un servicio en un servidor IEC 61850, especificando los datos de entrada asociados al servicio invocado (por ejemplo, un comando). Es posible que el servidor IEC 61850 reaccione al servicio invocado con una respuesta (por ejemplo, el resultado del estado de un parámetro o variable de medición), devolviendo esta respuesta después de haber completado el servicio invocado.

3. Discusiones y conclusiones

La plataforma presentada es capaz de integrar IEC61850 con una pila de protocolos IoT, usando MQTT a través de pruebas de experimentación y aplicabilidad en caso práctico de monitoreo de gas SF₆ en un tablero exterior, además la potencialidad de representación de la información. Esto hace hincapié para establecer como trabajos futuros la integración de sistemas eléctricos actualmente en operación e infraestructura de equipos y software ya instalados, mediante una solución Gateway, de modo a integrarlos con sistemas inteligentes actuales.

Un aspecto fundamental en la integración de redes inteligentes IoT al sistema eléctrico es la seguridad de los datos. En este sentido, MQTT implementa métodos de seguridad de la capa de transporte (TLS) para transmisiones de datos seguras y para verificar la integridad de clientes y servidores. Es indispensable considerar todos los mecanismos y métodos para que los clientes sean autenticados por el servidor. Las etapas de seguridad son procesos de implementación de este trabajo que son abordados dentro de desarrollos futuros.

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE
23 y 24 de Junio 2022

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Kumar, S., N. Das y S. Islam, "Performance analysis of substation automation systems architecture based on IEC 61850", in Australasian Universities Power Engineering Conference (AUPEC), Sept. 2014, pág. 1-6.
- [2] B.K. Yoo, "Communication Architecture of the IEC 61850-based Micro Grid System," in Journal of Electrical Engineering and Technology. 1-Sep-2011, pág. 605–612.
- [3] Q. Lu, Y. Sun, and G.K.F. Lee, "Nonlinear optimal excitation control for multi-machine systems", in IFAC Symposium on Power System Modeling and Control Application, Brussels, Sept. 1988.
- [4] J. Zheng, "Development and application of smart communication gateway based on IEC 61850 and IEC 61970", in Maschinen Markt. Oct 2015.