



## **Implantación de un sistema de monitoreo de gas SF6 en la subestación aislada a gas de la Itaipu Binacional**

**Ariel Guerrero, Diego Gamarra, Tamatiá Colmán, Jorge Duré, Sergio Morel, Raúl Franco, Adrián Osorio**

**Fundación Parque Tecnológico Itaipu. Itaipu Binacional**

**Paraguay**

### **RESUMEN**

Con la introducción de nuevas tecnologías de sensores para la medición de parámetros, el mantenimiento predictivo se torna económicamente viable y demuestra ser una práctica a ser implantada en los equipos que componen el sistema eléctrico de potencia.

Este artículo trata de la implementación de un sistema de monitoreo de gas SF6 en la Subestación Aislada a Gas de la Itaipu Binacional. El sistema fue realizado como estrategia de actualización tecnológica donde anteriormente las mediciones se realizaban de manera manual. Con esta implementación se hace posible la medición online de parámetros tales como temperatura, presión, humedad y densidad. Esta característica permite al área de mantenimiento un mejor planeamiento e incluso anticiparse en la corrección de anomalías que en su fase inicial pueda evolucionar y causar problemas de interrupción en el sistema eléctrico.

Entre los desafíos encontrados durante el proceso, uno de los principales era la comunicación de datos, donde el Centro de innovación en Automatización y Control (CIAC) del Parque Tecnológico Itaipu – Paraguay (PTI-Py) propuso la utilización de la tecnología PLC (Power Line Communication) basada en el uso del mismo par de cables de alimentación para la transmisión de datos, que de esta manera permite una reutilización de la infraestructura existente.

Se expondrán los desafíos en el desarrollo del sistema, pruebas de campo, puesta en servicio, la adquisición de datos para diagnóstico y los resultados obtenidos.

### **PALABRAS CLAVES**

Monitoreo de Gas, mantenimiento predictivo.

## 1. INTRODUCCIÓN

El *Gas Hexafluoruro de Azufre (SF<sub>6</sub>)* es utilizado como material dieléctrico aislante en los compartimientos de la Subestación Aislada a gas de la Itaipu Binacional. El control del estado del gas es realizado de manera periódica mediante *Relés de Densidad de Gas (RDG)* que miden de forma permanente la densidad de este gas. Estos sensores solamente señalizan los niveles críticos de la densidad de gas, indicando que hubo pérdida o descarga. En algunos compartimientos, como los Tipo 5, entre los transformadores elevadores y la GIS, es posible realizar la lectura manual de la presión del gas.

## 2. PROBLEMÁTICA

### 2.1 Imposibilidad de lectura de los sensores manuales en ciertos sectores

En el año 2006, para una mayor seguridad física, fue adoptada la solución del cierre hermético de las celdas de los transformadores en la cota 108. Esto ha ocasionado la restricción de acceso al lugar de lectura manual de la presión de gas SF<sub>6</sub> en los compartimientos tipo 5 que conectan los aisladores pasantes a la GIS.



**Figura 2.1: Antes y después del cierre hermético de los transformadores elevadores**

### 2.2 Posibles soluciones

La Itaipu Binacional ha consultado a fabricantes de subestaciones blindadas como así a fabricantes de sensores para obtener informaciones respecto de una solución viable tanto técnica como financiera para esta demanda. No obteniendo solución a corto plazo por a las particularidades del asunto, debido a las condiciones del entorno, entre otros: imposibilidad de lanzamiento de nuevos cables para alimentación y comunicación de los sensores; blindaje mínimo para el sensor y respectivo sistema de comunicación; capacidad de resistir a interferencias electromagnéticas, temperaturas variadas y agua (ensayo de sistema contra incendios), etc.

XII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ  
25 y 26 de Agosto de 2016

El problema fue formulado a nuestra institución, para la elaboración de una posible solución de comunicación juntamente con un sistema de supervisión de la función de Monitoreo del Gas SF<sub>6</sub> de los compartimientos tipo 5 de las blindadas en las celdas de los transformadores en la cota 108, y se presentaron dos propuestas: una comunicación vía inalámbrica, utilizando la tecnología *Wireless Sensor Network (WSN)* y otra utilizando tecnología *Power Line Communication (PLC)*.

### 2.3 Solución adoptada

Fue adoptado el uso de la tecnología PLC en los compartimientos por no requerir lanzamientos de más cables. Teniendo en cuenta que eran esperadas otras barreras, tales como el comportamiento del conjunto sensor más el módulo de comunicación en las condiciones normales de operación de un transformador energizado.

El sistema adoptado utiliza el cableado existente de la Itaipu, tanto el cableado de cobre que conecta los Nodos Esclavos a los Nodos Bases, como el cableado de cobre que conecta los Nodos Bases al Servidor a través del Switch óptico.

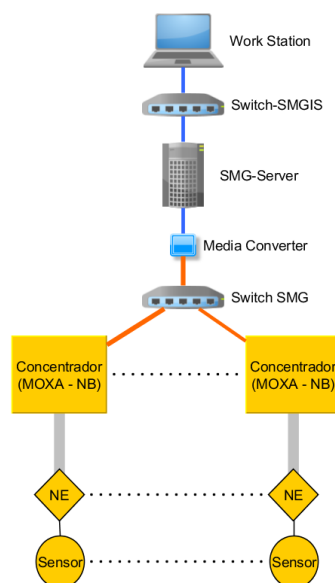


Figura 2.3.1: Diagrama general del Sistema de Monitoreo de Gas SF<sub>6</sub>

### 3. DESAFÍOS EN EL DESARROLLO

Ante la problemática citada anteriormente se debió desarrollar un sistema con la capacidad de detectar la pérdida de densidad con sensibilidad que permita estimar una pérdida por día y extrapolar los datos de manera a generar una alarma predictiva. De esta manera el personal de la Itaipu tiene la posibilidad de programar de antemano y de forma a optimizar los mantenimientos, así también anticipando las situaciones de contingencia, actuando correctivamente de forma programada.

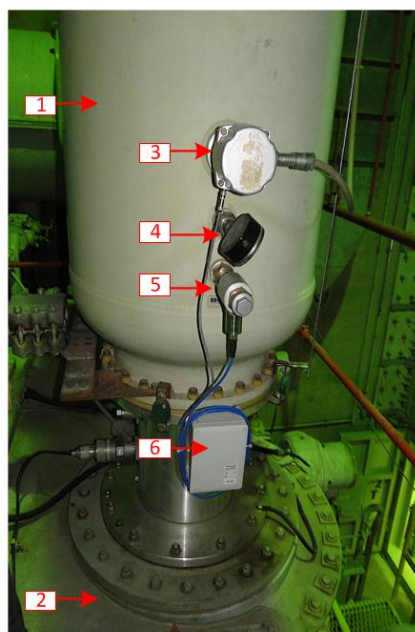
Para ello el sistema a ser desarrollado debió cumplir como mínimo con las siguientes cualidades: transmisión de datos y configuración remota sin la necesidad de acceder físicamente a la celda con el transformador energizado; estabilidad de las informaciones a ser emitidas por el sensor; reducir la necesidad de intervención en el sistema de sensores por parte del mantenimiento y coleccionar por lo menos las mismas variables que el RDG existente (Densidad compensada por temperatura).

## 4. PRUEBAS DE CAMPO

### 4.1 Primeras pruebas

Se realizó una instalación piloto en los compartimientos tipo 5 de uno de los bancos de transformadores elevadores de una unidad generadora para evaluar las condiciones reales del conjunto. Para ello se utilizó los sensores adquiridos por la Itaipu, los cuales poseen una comunicación RS-485. El Centro de Innovación en Automatización y Control (CIAC) del PTI-Py implementó un sistema formado por una placa remota por cada sensor, ubicado cerca de él como se muestra la figura 4.1, esta Placa Remota era capaz de obtener los datos de los sensores, y transmitirlos por la misma línea de alimentación DC hasta una Placa Base, ubicado cerca de la estación de monitoreo. Cada placa remota se alojó en una caja hermética de plástico, cerca de los sensores, a los cuales se conectó por medio de cables. Tres Placas Remotas fueron conectadas por la misma línea DC hasta una Placa Base.

Los resultados de esta prueba fue exitosa por lo que se decidió dar continuidad al proyecto.



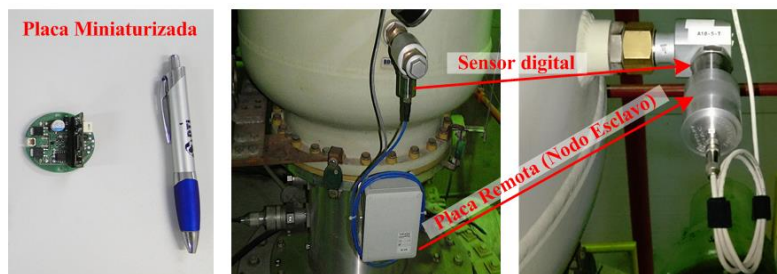
- 1 – Compartimiento Tipo 4
- 2 – Transformador Elevador
- 3 – Sensor RDG
- 4 – Sensor de lectura manual
- 5 – Sensor digital
- 6 – Prototipo de comunicación PLC desarrollado

**Figura 4.1: Primeras pruebas**

## 4.2 Modificaciones del sistema para adaptar a los requerimientos

Según la prueba piloto donde se hizo una comprobación del concepto, se ha rediseñado y adaptado tanto el software como hardware.

A nivel de hardware se ha diseñado sobre medida una carcasa y se ha miniaturizado la placa electrónica, esto para permitir la conexión directa de la placa remota al sensor, evitando la utilización de cables y reduciendo los puntos de posibles fallas, dando de esta manera mayor robustez al sistema. Además se expandió el sistema de medición de 3 puntos (3 placas remotas y una placa base) a 60 puntos (60 placas remotas y 10 placas bases, los cuales a partir de aquí se los denominó *Nodos Esclavos (NE)* y *Nodos Bases (NB)* respectivamente).



**Figura 4.2: Antes y después de las mejoras**

A nivel de software se ha realizado el levantamiento y análisis de requerimientos del sistema, para luego implementar las funcionalidades solicitadas, cuyas características principales son:

- Acceso remoto al sistema, mediante una aplicación web
- Visualización de datos en línea
- Visualización de datos históricos en forma de gráficos
- Visualización de análisis tendencial de datos
- Gestión de alarmas
  - Alarma de valor absoluto
  - Alarma predictiva mediante tendencia
  - Alarma de variación proporcional
- Control de captura de datos, periodo de obtención de datos, entre otros.

XII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ  
25 y 26 de Agosto de 2016

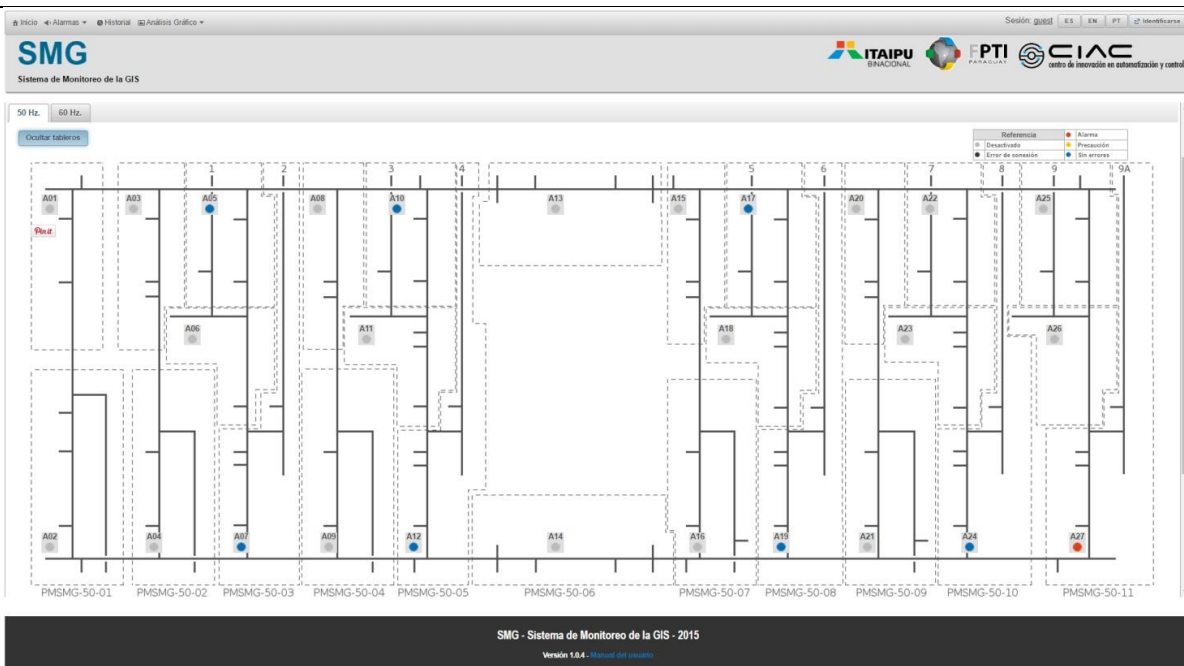


Figura 4.3: Pantalla principal del sistema, con una visión del estado de alarmas del mismo

## 5. PUESTA EN SERVICIO

El resultado de las pruebas realizadas, representa la garantía para su puesta en servicio. Por lo tanto antes de la puesta en servicio del sistema en la GIS, se realizó una puesta en servicio de todo el sistema en el laboratorio del CIAC.

### 5.1 Pruebas en el laboratorio

Para ello se ha montado los 10 concentradores (10 NB) con 60 NE, como lo estaría en la GIS.

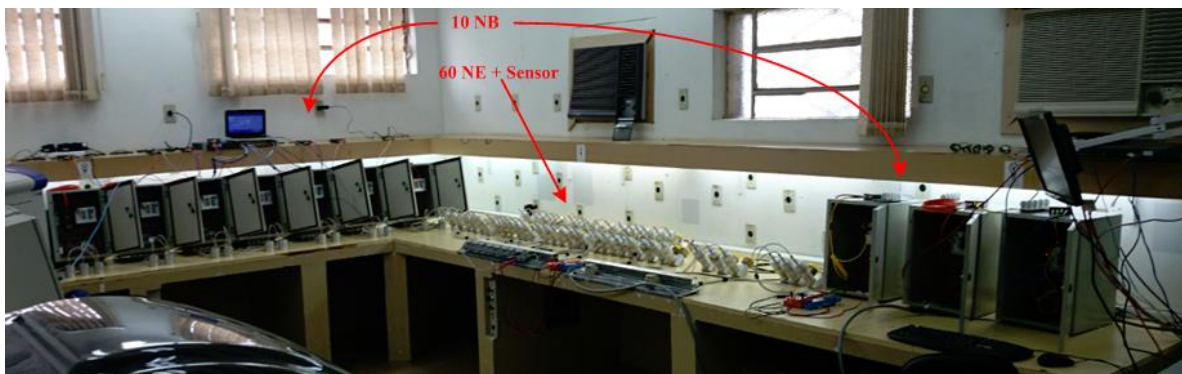


Figura 5.1.1 Prueba del sistema en el laboratorio del CIAC

## 5.2 Pruebas en la GIS

Luego de la realización de la prueba de inspección y test por parte de Itaipu del sistema completo montado en el Laboratorio del CIAC se ha llevado a la GIS, no teniendo comportamientos distintos significativos al generado en el laboratorio.

## 6. ADQUISICIÓN DE DATOS

Para realizar la adquisición de datos se decidió desarrollar un *daemon* (SMG\_DAEMON), el cual se encarga de realizar los pedidos de lectura a cada sensor en un intervalo de tiempo configurable. Cada pedido es enviado al Nodo Base correspondiente, el cual envía al Nodo Esclavo la orden para realizar el pedido de datos al sensor. Todas las tramas de comunicación contienen un campo de comprobación para que el receptor pueda asegurar que los datos recibidos no contengan valores corruptos. En figura 6.1 se puede visualizar el camino recorrido por el pedido desde el daemon hasta el sensor.



**Figura 6.1: Pedidos al sensor**

Los sensores utilizados para la adquisición de datos son de la empresa alemana WIKA. Cada sensor se conecta con un Nodo Esclavo utilizando el estándar RS-485 de comunicación serial; los sensores utilizan el protocolo Modbus para la interacción con el sensor. Para obtener los datos del sensor, se realiza un pedido por Modbus en donde se especifica el primer registro que se desea leer y la cantidad de registros consecutivos. Los datos brutos obtenidos del sensor contienen los valores medidos de diferentes variables, en donde los datos de cada medición se encuentran en dos registros diferentes. La respuesta del sensor también contiene un campo de comprobación, lo cual permite asegurar que las tramas recibidas no contengan valores corruptos.

Cuando el nodo esclavo recibe tramas de respuestas del sensor, este verifica el campo de comprobación. En caso de que el cálculo de comprobación no coincida con el valor recibido, la trama es descartada. Caso contrario, se realiza un filtrado de los campos recibidos para trabajar solo con las variables de interés. Con esto se genera una nueva trama con su propio campo de comprobación, la cual es enviada al Nodo Base.

El nodo base recibe los valores de las mediciones de los Nodos Esclavos y luego envía dichas mediciones al daemon de adquisición. El daemon de adquisición se encarga de interpretar los datos recibidos y almacenarlos en la base de datos. En forma adicional, el daemeon mantiene actualizado el estado de los nodos y sensores en la base de datos de acuerdo a los mensajes de error recibidos y los tiempos de última actividad registrada.

XII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ  
25 y 26 de Agosto de 2016

El manejo de alarmas también es realizado por el daemon, el cuál verifica las mediciones recibidas de acuerdo a parámetros configurados para determinar la necesidad de activación de alguna alarma.

Entre alarmas que se verifican se tienen, alarma de valor absoluto, variación proporcional, pérdida de masa, alarma predictiva, alarma fuera de límites, y de tiempo de inactividad superado.

En la figura 6.2 se puede visualizar el camino que toma cada trama de respuesta de los sensores.



**Figura 6.2: Respuesta del sensor**

La comunicación con los sensores se realiza exclusivamente a través del daemon, el cuál disponibiliza un puerto TCP para realizar la retransmisión de paquetes. La aplicación web (SMG\_WEB) utiliza dicho puerto para realizar pedidos de acuerdo a los comandos del usuario. En la figura 6.3 se puede visualizar el camino tomado por los pedidos cuando son realizados desde la interfaz web.



**Figura 6.3: Pedidos al sensor desde web**

El daemon también cuenta con un puerto disponibilizado para la configuración y depuración a través de telnet.





## 7. RESULTADOS OBTENIDOS

Se ha logrado la implementación de una solución con resultados esperados por el área cliente, la cual responde a la necesidad técnica lo que implica la demanda. Además de esto luego de la implementación del sistema, la Itaipu Binacional posee un control más preciso de pérdidas del gas SF6. Entre las que se puede citar:

- Registro de datos automático.
- Análisis de datos en línea.
- Gráfico de tendencia que permite una mejor programación de los trabajos técnicos en sitio por el área cliente.

## 8. BIBLIOGRAFIA

[1] Itaipu Binacional. Prueba de Aceptación y Test, Junio 2015