

## **Experiencia en Implementación de un Sistema de Supervisión Multi-fabricante basados en IEC 61850**

**Charles Soder, Mario López, Hernán González, Frank Lindstrom**

**Centro de Innovación en Automatización y Control - CIAC**  
**Fundación Parque Tecnológico Itaipu**

**Paraguay**

### **RESUMEN**

Las subestaciones eléctricas, son sistemas complejos con grandes cantidades de variables que deben ser procesadas, de modo a mantener constantes los índices de operación y así garantizar su principal cometido, la cual es proveer suministro de energía eléctrica con alta confiabilidad a los consumidores. Con la introducción de la norma IEC 61850 se manejan distintos criterios de configuración de los fabricantes de IEDs y software de supervisión.

El propósito de este artículo es presentar la experiencia en laboratorio de implementar un sistema de supervisión SCADA basados en la norma IEC 61850 utilizando IEDs de marcas diferentes interactuando entre sí en un sistema hipotético. Para el efecto, se identificaron las capacidades de configuración de cada marca de IED, conceptos de redes de comunicación y automatización de subestaciones basados en la norma IEC 61850.

### **PALABRAS CLAVES**

Sistemas de Automatización, SCADA, IEC 61850, GOOSE, MMS, Redes Ethernet.

## 1 INTRODUCCIÓN

La Fundación Parque Tecnológico Itaipu-Paraguay (FPTI-PY) ha creado, en el año 2010, el Centro de Innovación en Automatización y Control (CIAC), unidad actualmente en etapa operativa. Como su nombre indica, el centro genera y ejecuta proyectos innovadores a través de núcleos, entre estos se encuentra el Núcleo de Automatización y Control de Sistemas Eléctricos - NuASE.

El NuASE plantea y ejecuta proyectos de automatización y control con características de ingeniería establecidas por la norma IEC 61850. La norma IEC 61850 es el estándar en sistemas de comunicación para subestaciones de energía eléctrica que busca abarcar los tres niveles funcionales de una subestación: nivel de proceso, nivel de bahía o vano y nivel de estación. En el NuASE, los proyectos de automatización actualmente ejecutados atienden a problemas característicos del nivel de bahía, en el cual se establece comunicación entre IEDs (*Intelligent Electronical Device*). Sin embargo, problemas inherentes al nivel de estación aún no han sido explorados suficientemente hasta antes de la elaboración del presente trabajo. En este nivel, la comunicación se da entre IEDs y estaciones de supervisión.

La norma IEC 61850 ha definido apartados que tratan exclusivamente de criterios y modos de control para adquisición, supervisión y control de datos de la subestación. Además ha definido utilizar el protocolo de comunicación MMS (*Manufacturing Message Specification*) para reportar y recibir comandos. La Figura 1, representa los tres niveles jerárquicos de una subestación.



**Figura 1: Niveles jerárquicos de una Subestación**

La experiencia de implementar un sistema de supervisión multifabricante permitió identificar las capacidades y ventajas de configuración de cada marca de IED, y esto es debido a que las herramientas de ingeniería no están estandarizadas y son propietarias del fabricante. En ese sentido, uno de los objetivos de la norma fue aumentar la competencia en mejorar las herramientas de ingenierías y algoritmos de protección, dejando transparente la comunicación entre IEDs y sistemas de supervisión.

### 1.1 Objetivo del trabajo

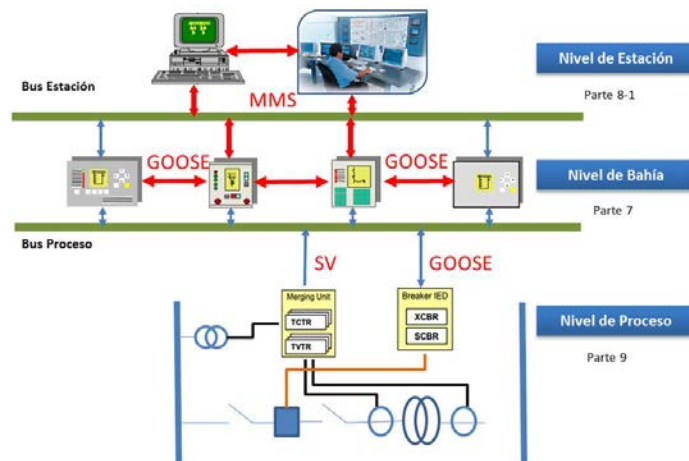
Implementar un sistema de supervisión, control y adquisición de datos (SCADA) con IEDs de diferentes fabricantes basados en la norma IEC 61580 – 1ra edición, con el objetivo de identificar capacidades, facilidades y ventajas de cada IED.

## 2 SISTEMAS DE AUTOMATIZACIÓN DE SUBESTACIONES

Los sistemas de automatización de subestaciones con IEDs basados en la norma IEC 61850 es una realidad y viene creciendo en todo el mundo. Sin embargo, la necesidad de hacer interoperables a IEDs de diferentes fabricantes lleva a conocer las diferentes herramientas de ingeniería y peculiaridades de configuración, lo que dificulta la integración en un sólo sistema.

Los IEDs realizan funcionalidades específicas en un sistema de automatización, tales como, ejecución de funciones de protección y control utilizando la red local, comunicación en alta velocidad, capacidad para adquisición de datos y medición analógica y digital. Varias de estas funcionalidades no están disponibles en relés convencionales.

La norma IEC 61850 es un estándar global para redes de sistemas de comunicación en subestaciones, define la comunicación entre los dispositivos en la subestación y los requisitos de los sistemas relacionados. Utiliza una red Ethernet, donde las señales analógicas y digitales, que usualmente eran transmitidas punto a punto mediante cableado de cobre, son reemplazadas por fibra óptica. Los paquetes de mensajes de comando y control pueden ser transmitidos por la red, en tiempo real, y obtener valores muestreados de corriente y tensión. Esto, permite la operación optimizada de todos los componentes integrados a un SAS. En la siguiente figura se representa un esquema de intercambio de comunicación en una subestación estandarizada.



**Figura 2: Subestación estandarizada IEC 61850**

## 3 MODELO DE INFORMACIÓN

Los apartados IEC 61850-7-4, IEC 61850-7-3 y IEC 61850-7-2 definen la forma de modelar la información y la comunicación en subestaciones de acuerdo con los requisitos definidos en IEC 61850-5. Para el modelado se utilizan los nodos lógicos y datos, principalmente como bloques de construcción, para

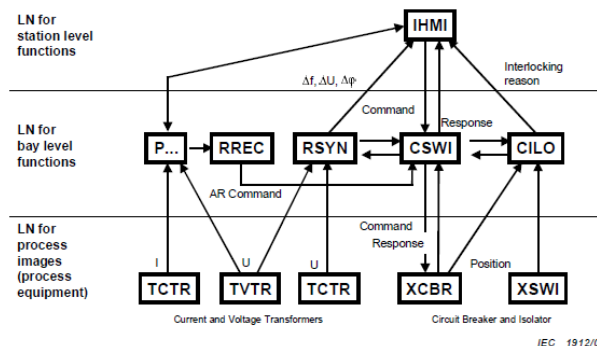
componer la información visible del sistema. Los modelos se utilizan para la descripción de la información producida y consumida por las aplicaciones y para el intercambio de información con otros IEDs.

Los nodos lógicos y clases de datos definidos en IEC 61850-5 son detallados en el apartado IEC 61850-7-4. Los nodos lógicos y sus datos se definen con respecto al contenido (semántico) y la forma (sintaxis). El enfoque utiliza métodos orientados a objetos.

Seguidamente, las clases de datos comunes se utilizan para definir aquellas de dominio específico en subestaciones. Las clases de datos definidas en el apartado IEC 61850-7-4 son especializaciones de clases de datos comunes. Por ejemplo, la clase de datos *Pos* (una especialización del DPC) hereda todos los atributos de datos de la correspondiente clase de datos común DPC, es decir, la *ctlVal*, origen, *ctlNum*, etc. La semántica de la clase *Pos* se define en las partes finales de la IEC 61850-7-4.

### 3.1 Relación entre datos y atributos de control

La norma define la relación entre funciones o nodos lógicos que vinculan atributos de diferentes datos y nodos lógicos. Para realizar control mediante los nodos lógicos del grupo funcional C, se requiere conocer estados de otros nodos lógicos. En la siguiente figura se ejemplifica la relación entre nodos lógicos, donde las flechas indican la interacción entre los mismos. En la figura se observa que el nodo lógico XCBR informa su estado al nodo lógico CILO y CSWI, y el CSWI informa y recibe información del CILO para luego actuar hacia el XCBR como respuesta de comando.



**Figura 3: Relación entre nodos lógicos**

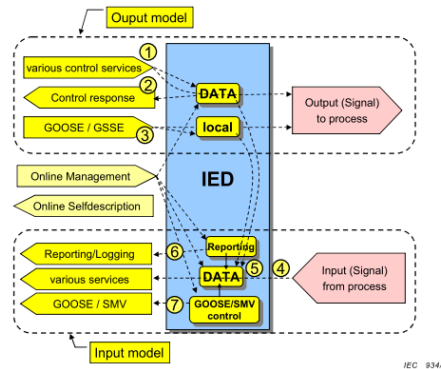
Para definir concretamente la relación entre los diferentes nodos lógicos, la norma IEC 61850 define los modelos de información y de intercambio de información.

### 3.2 Modelos de intercambio de información

La información contenida en los modelos jerárquicos de la IEC 61850-7-4 se puede comunicar a través de los servicios definidos en la IEC 61850-7-2. Los métodos de intercambio de información, representados en la Figura 4, recaen principalmente en tres categorías:

- Modelo de salida;
- Modelo de entrada;
- Modelo para gerenciamiento on-line y auto descripción.

Varios servicios se definen para cada modelo. Los servicios operan en los datos, los atributos de datos y otros atributos generalmente contenidos en nodos lógicos.



**Figura 4: Modelos de intercambio de información**

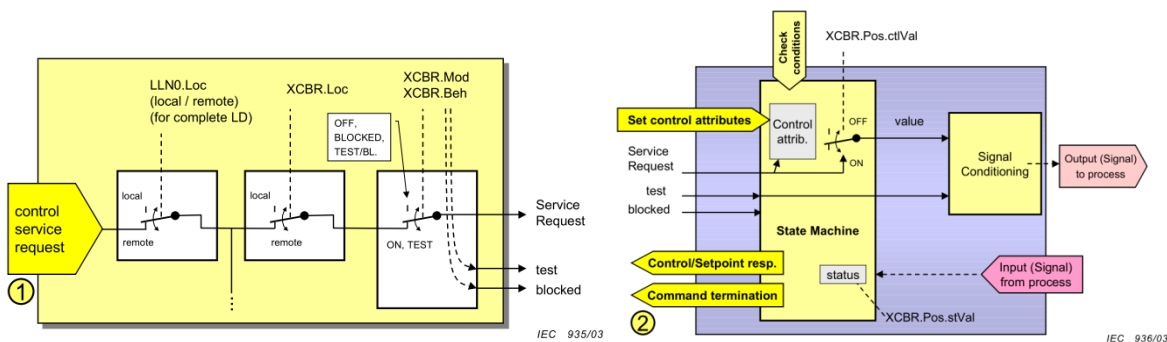
Los servicios para el modelo de salida son el resultado de un proceso interno, pueden producir una señal de salida del proceso a través de una interfaz de proceso, o puede cambiar el valor de un estado de un atributo de datos y desencadenar un informe.

En el modelo de salida se puede observar que existe interacción, ya que el modelo permite recibir por ejemplo peticiones y responderlas. Por lo tanto, es necesario conocer el modelo de salida para el caso de estudio del trabajo.

### 3.2.1 Modelo de Salida

El ejemplo es un nodo lógico interruptor de circuito (XCBR) con el atributo de datos XCBR.Pos.ctlVal, que se muestra en la Figura 5. Antes de la solicitud de servicio de control que realiza el cambio de la posición de un dispositivo real, se deben cumplir algunas condiciones, por ejemplo, la salida puede ser generada sólo si el switch Local / Remoto está en la posición "Remote" y si el nodo lógico de enclavamiento (CILO) está habilitando esta operación. La siguiente cadena de condiciones que deben cumplirse posiblemente puede incluir:

- Verificar el switch Local/Remoto **XCBR.Loc** del Disyuntor;
- Verificar el modo de operación del disyuntor **XCBR.Mod**;
- Verificar las condiciones del dispositivo;
- Verificar la configuración de enclavamientos, modelos de control, configuraciones de pulso, etc. Atributos de la Clase DPC (IEC 61850-7-3).



**Figura 5: Modelos de Salida**

Después que todas las condiciones se hayan cumplido y todas las verificaciones aprobadas, la señal de salida puede ser acondicionada y se podrá controlar el equipo real. El cambio de estado de interruptor provoca un cambio en la información del estado del atributo XCBR.Pos.stVal.

### 3.3 Modelos de control

El modelo de control proporciona una manera específica para cambiar el estado de los procesos internos y externos por un cliente. El modelo de control sólo puede aplicarse en los casos de objetos de datos de una clase de datos común (CDC) de control y cuyo atributo de dato `ctlModel` no está ajustado en "status-only". Tales objetos de datos se conocen como "objetos de control".

Dependiendo de la aplicación, se utilizarán diferentes comportamientos de un objeto de control. Por lo tanto, se definen las diferentes máquinas de estado. Para un objeto de control específico, el modelo utilizado será definido por el atributo `ctlModel` y dependiendo del caso por `sboTimeout`, `sboClass` y `operTimeout` (IEC 61850-7-3 para ver la definición semántica de los `dataAttributes` de configuración). Se definen los siguientes cuatro casos:

- Caso 1: Direct control with normal security (direct-operate);
- Caso 2: SBO control with normal security (operate-once or operate-many);
- Caso 3: Direct control with enhanced security (direct-operate);
- Caso 4: SBO control with enhanced security (operate-once or operate-many).

## 4 SISTEMA DE SUPERVISIÓN IMPLEMENTADO

La implementación del sistema de supervisión fue realizada con los dispositivos disponibles en laboratorio y fue realizado sobre un escenario hipotético de una subestación. En la figura siguiente se detalla el esquema eléctrico definido y su asociación con los IEDs.

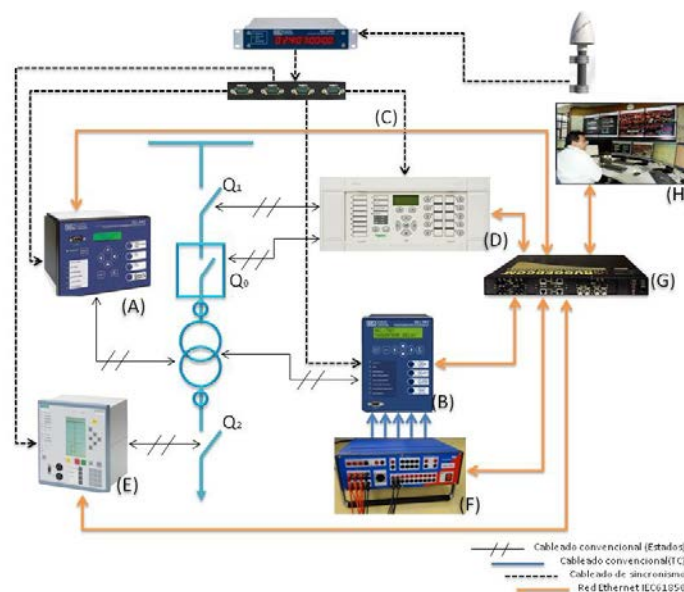
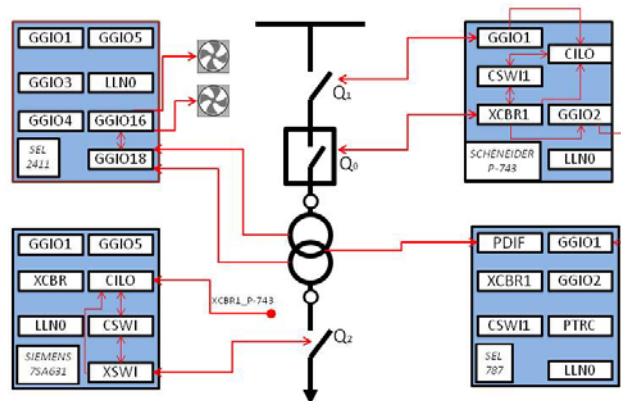


Figura 6: Escenario de ensayo

Una vez definido el escenario, es necesario realizar el modelado condicionado que consiste en utilizar las funcionalidades, en cuanto a nodos lógicos, de cada IED envuelto en el sistema, que está limitado a las capacidades según archivo .icd y de configuración de las herramientas de ingeniera de cada IED.



**Figura 7: Distribución de nodos lógicos utilizados por cada IED**

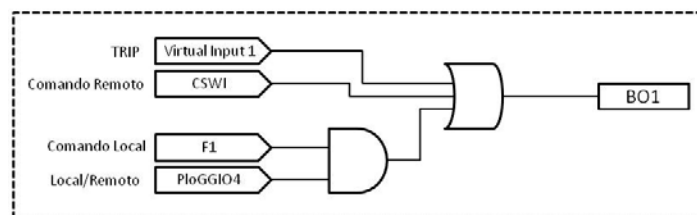
Dada la configuración realizada en cada IED en cuanto a Goose, lógicas de enclavamiento y control, suscripción y principalmente de reportes definidos para supervisión, es realizada la configuración del sistema de supervisión que consiste en desarrollar la interfaz del sistema, configurar alarmas, crear base de datos del sistemas y asociar los *tag* internos.

El software de supervisión utilizado fue *Elipse Power Studio*, que posee *drivers* de distintos protocolos para comunicación con los IEDs. En el driver IEC 61850 es posible agregar los IEDs y por ende específicamente los atributos que quieren ser supervisados y la forma que lo harán, como por ejemplo, via report, polling, se debe definir si el atributo del tipo lectura y si es de comando deber del tipo escritura.

#### 4.1 Detalles de configuración

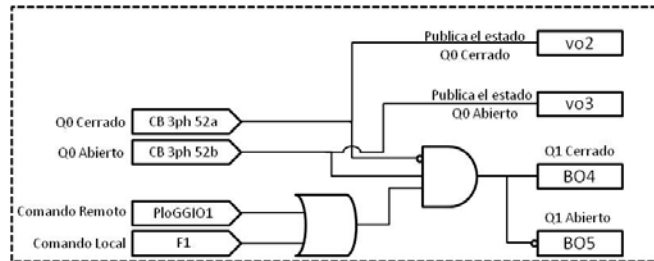
Para supervisión y control del sistema, los diferentes IEDs presentan peculiaridades y capacidades diferentes, que están limitadas a la capacidad 61850 y de configuración definida por el fabricante. Principalmente para definir el modo de control y realizar comandos utilizando los nodos lógicos correspondientes se encontró la mayor diferencia en la implementación del caso. A continuación se presenta las lógicas para comando realizado en cada IED, según figura 6:

- IED D: El IED posee tan solo un nodo lógico CSWI para comando de equipos de interrupción y está asociado al XCBR. Para comandar la seccionadora Q1 es necesario utilizar nodo lógico genérico GGIO.



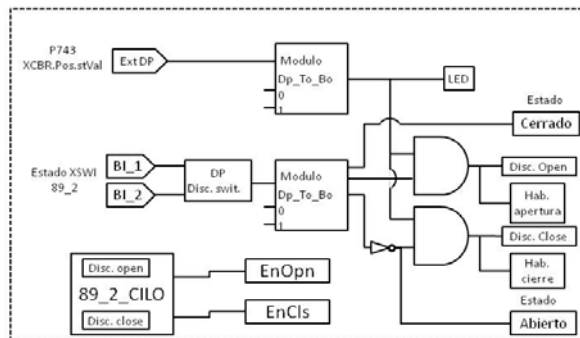
**Figura 8: Lógica de comando y trip sobre el interruptor Q0**

**XI SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO – CIGRÉ Paraguay**  
24, 25 y 26 de Setiembre de 2014

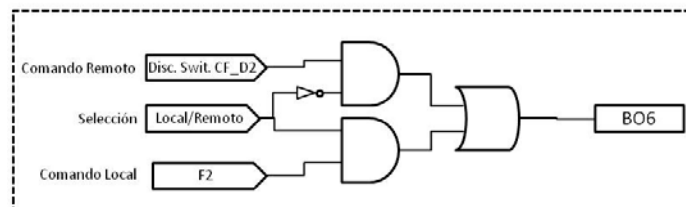


**Figura 9: Enclavamiento y comando de seccionadora Q1**

- IED E: Este IED recibe por Goose el estado del interruptor, como es enviado por XCBR.Pos.stVal que es de la clase de dato común DPS, permite su suscripción y asociación a un nodo lógico CILO que habilitara el comando de la seccionadora Q2. Este IED permite la creación y nomenclatura de ciertos nodos lógicos.

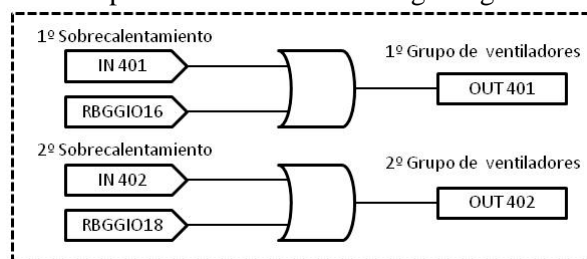


**Figura 10: Lógica de adquisición de estados y enclavamiento**



**Figura 11: Lógica de comando de la seccionadora Q2**

- IED B: Utilizado para simulación de protección del transformador. Recibe el estado del interruptor via goose y envía Trip. No se realiza comandos sobre el mismo, pero enviar reportes de las protecciones actuadas y configuradas en el Dataset.
- IED A: Este dispositivo fue utilizado para controlar la temperatura del transformar y actuar sobre grupos de ventiladores. La actuación puede ser realizada automáticamente o a través de comando desde el sistema SCADA. El IED posee solamente nodos lógicos genéricos.



**Figura 12: Lógica de actuación**



## 5 CONCLUSIONES

Como resultado de la experiencia se puede resaltar lo siguiente:

- La interoperabilidad entre IEDs de diferentes marcas es un hecho, aunque cada marca presente su metodología de suscripción. Los IEDs E, pueden recibir variables simples o dobles;
- El modelado de nodos lógicos como proceso inicial es fundamental para la adquisición de IEDs, con el objetivo que todos los IEDs posean los nodos lógicos correspondientes para su implementación;
- Todos los IEDs presentan maneras diferentes de configurar el modo de control, asociado a la variable *ctlmodel*;
- Los IEDs E, son los que presentan mejores facilidades para configuración y mayor adherencia a la norma.
- Para obtener un sistema de automatización multifabricante es fundamental el conocimiento y experiencias en las distintas marcas de IEDs utilizados.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] IEC TC 57. IEC 61850-7-4: Communication Networks and Systems in Substations, Part 7-4: Basic communication structure for substation and feeder equipment – Compatible logical node classes and data classes. Edición 1.0, Geneva, 2003
- [2] Part 8-1: Specific Communication Service Mapping (SCSM) – Mappings to MMS (ISO 9506-1 and ISO 9506-2) and to ISO/IEC 8802-3