



Comité Nacional Paraguayo



Unión de Ingenieros de ANDE

X SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ  
19, 20 y 21 de setiembre de 2012

---

## Aspectos relevantes para la configuración de una red IEC 61850 para su operación y mantenimiento

Frankz Peter Lindstrom<sup>(1)</sup>      Mario Lopez Acosta<sup>(2)</sup>

Centro de Innovación en Automatización y Control

Fundación Parque Tecnológico Itaipu

Paraguay

### RESUMEN

Los conceptos detallados en la Norma IEC 61850 rompen un paradigma en la operación y mantenimiento de una subestación eléctrica automatizada, como es la comunicación entre dispositivos electrónicos inteligentes (IED), donde el ingeniero electricista debe conocer sobre el funcionamiento de este sistema de comunicación para una mejor operación y mantenimiento de la subestación. Estos conceptos, tales como teoría de la información, redes de comunicación y programación orientada a objetos (POO) por lo general no forman parte del programa de estudio, en su debida profundidad, de la carrera de ingeniería eléctrica que a futuro se tornaran indispensables debido a la gran aplicación de estos conceptos en ambientes eléctricos como por ejemplo en subestaciones eléctricas.

La aplicación de la Norma IEC 61850 en una Subestación automatizada trae grandes ventajas tales como la arquitectura del sistema, sin embargo el personal de las empresas eléctricas actualmente carece de conocimientos prácticos para la optimización tanto en el diseño, operación y mantenimiento de la red Ethernet basado en esta norma.

En este trabajo se analiza los aspectos más importantes a ser tenido en cuenta para optimizar el funcionamiento de la red Ethernet en una subestación automatizada basado en la Norma IEC 61850 para que el ingeniero electricista tenga un conocimiento mayor sobre temas que envuelven la definición de la arquitectura, documentación, operación y mantenimiento de la red Ethernet.

### PALABRAS CLAVES

Norma IEC 61850, Mantenimiento y Operación, GOOSE, Redundancia, VLAN, Saturación.

**X SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ**  
**19, 20 y 21 de setiembre de 2012**

## 1. INTRODUCCIÓN

La Norma IEC 61850 utiliza un modelo de comunicación TCP/IP basada en una red Ethernet la cual es robusta, fiable y confiable para cumplir con los requisitos de protección y control de una subestación. En base a la confiabilidad surgen algunos aspectos que deben ser tenidos en cuenta a la hora del diseño de la red de comunicación tales como el tráfico de datos en la red, la fiabilidad del sistema y las aplicaciones, lo cual para ello se debe de tener cuenta la capacidad y el rendimiento de la red, la topología de la misma y la seguridad.

La ventaja de la utilización de la Norma IEC 61850 en una subestación se puede observar en la arquitectura del sistema de comunicación, donde la utilización de cableado de cobre para una comunicación punto a punto en el sistema convencional es sustituido por una red LAN con cableado de fibra óptica, obteniendo beneficios como velocidad de trasmisión de datos, seguridad, flexibilidad y confiabilidad. Sin embargo el personal de las empresas eléctricas actualmente carece de conocimientos prácticos para la optimización tanto en el diseño, operación y mantenimiento de la red Ethernet basado en esta norma.

En este trabajo se analiza los aspectos más importantes a ser tenido en cuenta para optimizar el funcionamiento de la red Ethernet en una subestación automatizada basado en la Norma IEC 61850 para que el ingeniero electricista tenga un conocimiento mayor sobre temas que envuelven la definición de la arquitectura, documentación, operación y mantenimiento de la red Ethernet.

## 2. MENSAJES DENTRO DE UNA RED IEC 61850

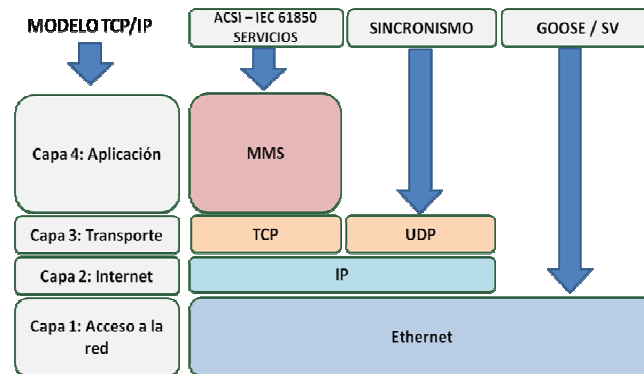
A la hora del diseño de la topología de la red se debe de tener en cuenta la disposición física de los dispositivos que van a comunicarse entre sí. Para ello se debe de conocer bien que dispositivos se van a comunicar, el tipo de mensaje y los requerimientos de tiempo de estos mensajes. La Norma IEC 61850 en la parte 5 define los tipos de mensajes que van a circular dentro de la red de comunicación y los clasifica según su rendimiento como se muestra en la tabla I.

Tabla I: Tipos de mensaje según la Norma IEC 61850 – 5.

TIPO	NOMBRE	EJEMPLO	DESEMPEÑO REQUERIDO
1A	Mensajes Rápidos: Trip	Disparos (Opcionalmente interclavamiento)	10 ms: Vano de distribución 3 ms: Vano de protección y transmisión
1B	Mensajes Rápidos: Otros	Comandos, interacción con proceso, excepto disparos. Interfaces lógicas 3, 5 y 8	100 ms: Vano de distribución 20 ms: Vano de protección y transmisión
2	Mensaje de velocidad media	Valores r.m.s calculados a partir de señales tipo 4	Menor a 100 ms. La estampa de tiempo Del mensaje es importante pero el tiempo de transmisión no es crítico
3	Mensajes lentos	Funciones de control lentas, transmisión de registros de eventos, lectura o escritura de ajustes, alarmas, medidas no eléctricas	Menor a 500 ms
4	Mensajes de datos muestreados sin procesar	Datos transductores y transformadores de medida	Protección y control: entre 480 y 1.920 muest/seg Medición: entre 1.500 y 12.000 muest/seg
5	Transferencia de archivos	Archivos de secuencia de eventos, información, ajuste, etc.	No hay límite de tiempo. Son subdivididos en bloques típicamente de 512 bits para la transmisión
6	Mensajes de sincronización	Sincronización de tiempo en la red	Precisión de ajuste del reloj interno: $\pm 1\text{ms}$ (eventos) y $\pm 25\ \mu\text{s}$ a $\pm 1\ \mu\text{s}$ (muestreo)
7	Mensajes de comando con control de acceso	Comandos a partir de una IHM remota o local	Basado en el tipo 3, con procedimientos de seguridad adicionales

X SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ  
19, 20 y 21 de setiembre de 2012

En un sistema de comunicación que utiliza un cierto modelo, en este caso TCP/IP, es necesario identificar su pila de protocolos. La figura 1 muestra la pila de protocolos que mapean los mensajes que circula en una red IEC 61850, donde se observa en forma comparativa con el modelo TCP/IP. En la figura se puede constatar que los mensajes GOOSE y Sampled Value que son mensajes de tiempo crítico, están mapeados en la capa 1 del modelo TCP/IP donde su lógica de publicación de mensajes se basa en direcciones MAC.



**Figura 1: Mapeado de los mensajes en el modelo TCP/IP utilizados en una red IEC 61850**

## 2. CAPACIDAD Y RENDIMIENTO

La red debe ser diseñada de forma a que sea capaz de transportar la información requerida sin que se produzcan pérdidas. Una de las principales causas de pérdidas de información atribuye a la saturación del enlace debido a que la capacidad de este no es suficiente para soportar todo el tráfico que circula por él, y como consecuencia ocurre el aumento de la latencia o inclusive la caída del enlace.

Para el diseño de la red se debe tener en cuenta dos aspectos fundamentales para evitar la saturación y mejorar el rendimiento:

- El volumen del tráfico de datos en la red.
- La naturaleza del tráfico, si es impulsivo o es constante en la red.

Es recomendado que la capacidad de los enlaces y la red debe ser calculada de forma a no superar en ningún caso el 50% de su utilización si no será modificada y el 10% caso se prevé una modificación futura, como la aplicación de nuevos servicios [1].

### 2.1 Dispositivos

La utilización de hub's (repetidores) amplía el dominio de colisiones por lo cual se recomienda el uso de switches con enlaces full – duplex (comunicación simultanea en ambos sentidos) para aumentar la capacidad y reducir las latencias de los mensajes. La capacidad de los puertos del switch se debe adecuar a la capacidad del enlace conectado al mismo a fin de no desperdiciar ancho banda.

En cada uno de los switches se debe de proveer un número de puertos libres de forma a minimizar los posibles cambios en el diseño de la red en caso de una ampliación futura o para

**X SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ**  
**19, 20 y 21 de setiembre de 2012**

realizar el mantenimiento del dispositivo [1]. En base a esto se pueden aplicar las siguientes prácticas:

- Dejar como mínimo dos puertos libres en cada dispositivo en caso de falla de los demás puertos.
- Definir un puerto del switch del tipo RJ – 45 para poder conectar un ordenador portátil caso fuera necesario un acceso de forma local al equipo ya sea para solucionar un problema o realizar un mantenimiento del equipo.
- Utilizar los puertos que se encuentran en los extremos para conexión con otro switch, que deben ser puertos de 1Gbps para soportar la gran cantidad de mensajes que van a circular en estos enlaces. Eso facilitaría el análisis de la red en caso de ocurrir alguna falla. Los puertos conectados a IED's deben ser como mínimo de 100Mbps.
- Etiquetar los puertos del switch en el software de una forma a relacionar con el dispositivo que está conectado a él para identificar rápidamente el origen de un problema en la red.

## 2.2 Segmentación de la red

Una forma de aumentar el rendimiento y evitar la saturación de la red es la utilización de VLANs (Red de Área Local Virtual) y el QoS (Calidad de servicio) para garantizar la entrega de mensajes en caso de congestión. Separar el tráfico de mensajes en VLANs permite disminuir el dominio de colisión y el dominio broadcast de manera a minimizar el peligro de congestión de la red. Por ejemplo separar los mensajes GOOSE de protección en una VLAN y los de control en otra VLAN. El QoS es un conjunto de requisitos de servicios que la red debe cumplir para asegurar un nivel de servicio adecuado para la transmisión de los datos. En la tabla II se observa los valores de prioridades definido por la IEC 61850 – 5 donde la prioridad de los mensajes críticos como el GOOSE y SV debe tener un valor mínimo de 4 y así en caso de congestión de la red estos mensajes van a tener una mayor prioridad sobre los demás mensajes.

**Tabla II: Prioridad de los mensajes en una red definido por la Norma IEC 61850.**

MENSAJE	PRIORITY
GOOSE	4
GSSE	1
SV	4

## 2.3 Cableado de red

La fibra óptica posee características de ser inmune a interferencias electromagnéticas, un mayor ancho de banda y soportar grandes longitudes para el envío de mensajes. Por ese motivo es recomendable utilizar en los enlaces entre switches, en enlaces donde se desea comunicar casetas o en parte de la subestación donde los dispositivos se encuentren distanciados entre sí.

Los cables de cobre de par trenzado STP para Ethernet deben utilizar conectores RJ – 45 y se recomienda su uso únicamente en enlaces donde los dispositivos se encuentren en la mismo

X SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ  
19, 20 y 21 de setiembre de 2012

rack, debido a que se deben utilizar en pequeñas distancias y ambientes cerrados para evitar interferencias electromagnéticas de la subestación.

Es recomendable utilizar un cableado estructurado donde etiquetando los cables de una forma a relacionar directamente con el equipo que está conectado, utilizar paneles de parcheo para independizar la instalación de la red de la instalación de los equipos y para dar una mayor flexibilidad y fiabilidad. Estas prácticas facilitan identificar y diagnosticar de manera más efectiva posibles fallas que pudieran surgir en la red.

### 3. TOPOLOGIA DE RED

La tolerancia a fallas y la latencia son los principales aspectos a ser tenidos en cuenta para el diseño de la topología física de la subestación, donde para ello se debe de conocer la disposición física de los distintos dispositivos. El apartado IEC 61850 – 90.4 contiene un análisis detallado de las opciones más utilizadas. Los fabricantes de switches prefieren una solución PRP (Parallel Redundancy Protocol), ya los fabricantes de IEDs prefieren una solución HSR (High Availability Seamless Ring) [2]. Como se muestra en la figura 3 el PRP son dos redes LAN independientes que trabajan en forma paralela con lo que se obtiene redundancia de equipos y tiempo de recuperación cero, pero la desventaja es el costo debido a una mayor cantidad de switches y de puertos requeridos.

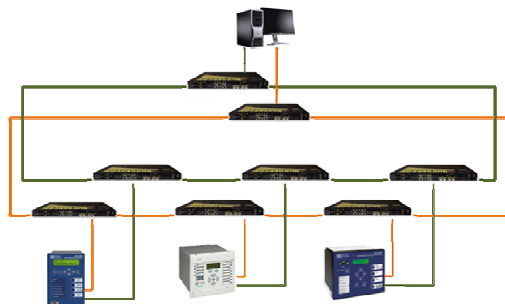


Figura 2: Ejemplo de una topología PRP

El HSR permite una reducción significativa en cuanto a dispositivos como se muestra en la figura 4 porque se aplica una conexión en forma de anillo abierto entre IEDs donde se crea un método similar al PRP pero en este caso no sería dos LAN si no dos VLANs. Para la aplicación de este método los IEDs deben poseer switches internos.



Figura 3: Ejemplo de una topología HSR



**X SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ  
19, 20 y 21 de setiembre de 2012**

---

### 3.1 Redundancia lógica

Con la aplicación de redundancia en las redes se vuelve importante la utilización de protocolos de redundancia para evitar la formación de loops en la red. Cuando se tiene una red redundante se tiene varios caminos por donde va circular la información hasta llegar a su destino, entonces los protocolos de redundancia definen caminos a seguir para llegar a destino. Caso se pierda un enlace se reconfigura y se activa otro camino evitando así la formación de loops. La idea de los protocolos es podar lógicamente enlaces con el fin de reducir la topología de la red a la de un árbol extendido donde se conecta todos los switches. Se recomienda el uso del protocolo de redundancia RSTP (Rapid Spanning Tree Protocol) debido a que los tiempos de convergencia son menores en comparación con el protocolo STP (Spanning Tree Protocol). Existe actualmente fabricantes que proponen soluciones propietarias como el eRSTP de la Ruggedcom que tiene un tiempo de convergencia de red en el orden de los milisegundos.

## 4. SEGURIDAD

La IEC 62351 es la norma que define la implementación en forma segura sobre redes Ethernet en sistemas basado en la Norma IEC 61850. También se debe tener en cuenta los siguientes aspectos para obtener una red segura:

- Identificar todos los servicios que circulara en la red Ethernet. Con un software de análisis del tráfico se podrá analizar la red para verificar las causas probables de falta de conectividad, como por ejemplo si la dirección MAC de los mensajes GOOSE publicados es correcto.
- Monitorear el estado de los puertos del switch. Los parámetros importantes a verificar en los puertos del switch son las VLAN's, tipo de enlace, modo de comunicación, velocidad, RSTP. Configurar alarmas en los switch es un método sencillo y eficaz de detectar eventos indeseados en los puertos del switch.
- Aislar adecuadamente la red de comunicación de otras redes o del exterior. Con la utilización adecuada de firewall se puede obtener un perímetro seguro. La utilización de VLAN's da mayor seguridad.
- Limitar el acceso del personal con la utilización de usuario y password es una forma sencilla de controlar y brindar seguridad a la red. Solo el personal encargado de la red debe tener acceso libre a las configuraciones del switch.

## 5. MANTENIMIENTO

El protocolo SNMP (Simple Network Management Protocol) es utilizado para administración de la red Ethernet. El SNMP se basa en dos elementos, un supervisor que va administrar la red y agentes que son los dispositivos que contienen los objetos a ser administrado. Estos objetos administrados pueden ser información de hardware, parámetros de configuración, estadísticas de rendimiento y están almacenados en una estructura jerárquica denominado MIB (Management Information Base). Actualmente existen iniciativas para la estandarización de una forma a utilizar una sola interfaz IEC 61850 que pueda administrar tanto los IED's como de la red de comunicación.



**X SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ**  
**19, 20 y 21 de setiembre de 2012**

Para una respuesta rápida ante fallas se debe tener un documento donde figuren las direcciones MAC de los mensaje, la dirección IP del dispositivo, número de puerto y VLAN's utilizadas en cada equipo. Una práctica recomendable es realizar rangos de direcciones IP para una detección rápida de la ubicación de la falla, un ejemplo de esto se ve en la tabla III.

**Tabla III: Ejemplo de rangos de direcciones IP de acuerdo a la ubicación física**

GRUPO	RANGO DE DIRECCIONES
CASA DE RELE 1	20.20.10.000/16 – 20.20.10.099/16
CASA DE RELE 2	20.20.10.100/16 – 20.20.10.199/16
SWITCH	20.20.10.200/16 – 20.20.10.299

Es recomendable también realizar un manual de procedimientos de respuestas ante un fallo de la red de comunicación por ejemplo cuando existe una falla de conectividad IP se debe de verificar primeramente el estado de conexión física hasta ese equipo.

## 5. CONCLUSION

La norma IEC 61850 define los servicios de comunicación y el modelo abstracto de datos de la subestación, pero no estandariza el diseño de la red para su puesta en servicio. Por lo tanto para una implementación correcta y adecuada de la Norma IEC 61850 es muy importante y casi vital configurar correctamente la red de acuerdo a los requerimientos de los mensajes publicados por los IED's y para un buen mantenimiento y operación del sistema.

Para el diseño adecuado de la red IEC 61850 se debe tener en cuenta las probables fallas de comunicación, la latencia de los mensajes que van a circular en la red, la perspectiva de crecimiento, la redundancia física y lógica, y la seguridad de la red.

Debido a la importancia de lo ya mencionado entre otros, el comité TC 57 de la IEC 61850 viene estudiando y propone un apartado que trata específicamente del diseño, necesidades y cuidados a tener en cuenta para la implementación de una red IEC 61850.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- [1] A. Arzuaga, T. Arzuaga, and J Salat, "Guía breve para el diseño e ingeniería de rede ethernet en subestaciones eléctricas". XXI SNPTEE. Florianopolis. 2011
- [2] Paulo de Carvalho, "Arquitecturas de rede ethernet de alta disponibilidad para sistemas de proteção e controle baseado na norma IEC 61850". XXI SNPTEE. Florianopolis. 2011
- [3] H. Kirrmann, P. Rietmann, and S. Kunsman "Network Redundacy using IEC 62439". PACWorld magazine.



Comité Nacional Paraguayo



Unión de Ingenieros de ANDE

**X SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ**  
**19, 20 y 21 de setiembre de 2012**

- 
- [4] Technical Report IEC 61850 -90.4, “Communication Networks and Systems in Substations Part 90-4: Network Engineering Guidelines”.IEC,2011.
  - [5] IEC 61850 Standard Series, “Communication Network and Systems in Substations. Part 5: Communication requirements for functions and device models”. 2002.