

# *Arquitecturas abiertas de comunicación para la automatización de subestaciones*



*Nota Técnica*

*Autor:  
Fernando Cobelo*





## Resumen

### Introducción

#### Arquitectura de un sistema de subestación actual

- Sistema de subestación

#### Experiencia y posibilidades de evolución

- Aspectos técnicos
- Aspectos económicos
- Nuevas necesidades

#### Las nuevas arquitecturas

- Novedades
- Modelos de datos
- Transmisión rápida de eventos
- Distribución física de los equipos

#### Conclusiones

## Resumen

El tema presentado se centra en las nuevas posibilidades que se abren en el campo de la automatización de subestaciones, mediante la aplicación de la arquitectura, los requisitos de comunicación y los modelos de datos que se están definiendo en la futura norma CEI 61850 (Communication Networks and Systems in Substations), de

inminente aprobación, y en los trabajos desarrollados por el EPRI en el desarrollo de la UCA V2 (Utility Communications Architecture). Los aspectos más importantes de esta arquitectura son la capacidad de conseguir una verdadera interoperabilidad y la flexibilidad en la distribución de funciones entre equipos de cualquier fabricante.

## Introducción

Durante los últimos 10 años la automatización de las subestaciones eléctricas ha seguido un proceso de maduración, pudiéndose decir que partiendo de las experiencias "prototipo" realizadas durante los años 80, a lo largo de los 90 se ha producido el desarrollo y la aplicación generalizada de soluciones técnica y económicamente viables.

Los principales hitos de este progreso han sido:

- El desarrollo y la implantación progresiva de la tecnología digital basada en microprocesadores y técnicas numéricas de proceso de señal a los equipos de protección, supervisión, control y medida.
- La capacidad que esta tecnología proporciona para concebir equipos multifunción, reduciéndose el número de componentes necesario, eliminando elementos redundantes tanto en la captura de magnitudes y estados como en el accionamiento, reduciendo el cableado entre componentes y eliminando elementos auxiliares.

- La utilización de las nuevas capacidades para registro y comunicación de datos proporcionadas por esta generación de equipos digitales.

- El significativo desarrollo tecnológico y abaratamiento de los sistemas de comunicación, que ha facilitado la disponibilidad de puntos de acceso en todas las instalaciones eléctricas.

- La aceptación por parte de fabricantes y de usuarios de unos indispensables acuerdos / normas respecto a los protocolos de comunicaciones a emplear, que ha hecho posible diseñar sistemas que aceptan y combinan equipos de varios fabricantes.

Los trabajos encaminados a la definición de modelos detallados de datos, que hacen posible la interoperabilidad e incluso la intercambiabilidad entre equipos de diferentes suministradores y la utilización de software de aplicación genérica para funciones de visualización, operación y configuración de los sistemas.

**Arquitectura de un sistema de subestación actual**

La figura 1 muestra un esquema simplificado de una subestación.

El conjunto de equipos primarios de la subestación (interruptores, transformadores, ...) y sus elementos de interfase con el sistema secundario de protección, control y automatización (transformadores de medida, bobinas de accionamiento, ...) se representan como Nivel 0.

El sistema de protección, control y automatización está representado en dos niveles. El Nivel 1 corresponde a los equipos denominados de posición, los cuales están conectados directamente al nivel 0 y realizan funciones de protección, de control y adquisición de datos, de medida, de lógica programable, de calidad de servicio y de monitorización.

El Nivel 2 corresponde a los equipos centrales del sistema, que se comunican de forma digital con los equipos de posición y realizan las funciones globales del sistema, tales como: automatismos, operación local, macro comandos, registro globalizado de sucesos, informes de falta y de incidencia. También constituyen el enlace con los centros de control y de gestión de la compañía eléctrica, representados como Nivel 3.



*Verdadera interoperabilidad y flexibilidad en la distribución de funciones entre equipos*

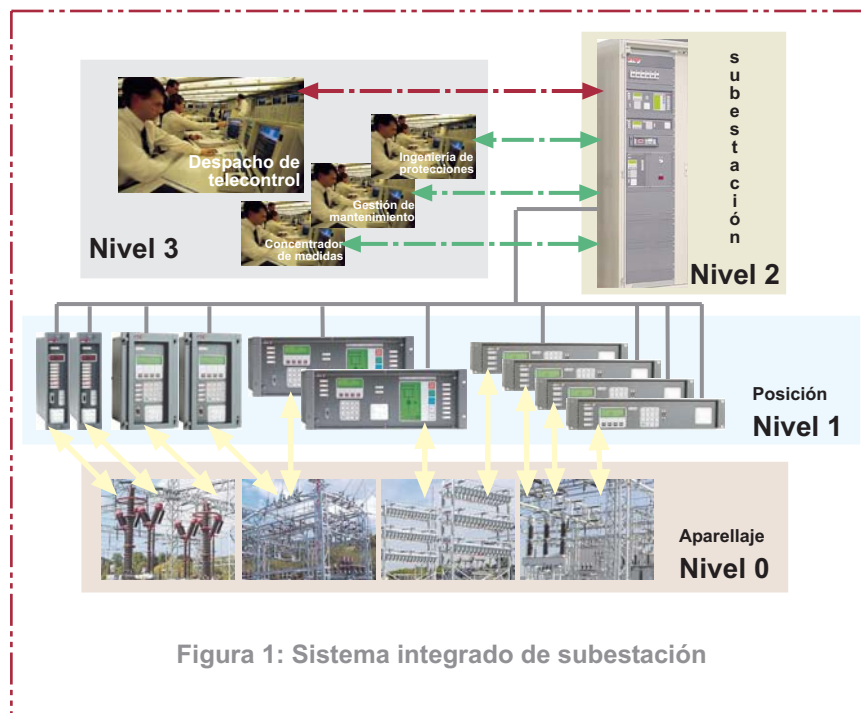


Figura 1: Sistema integrado de subestación



## • Subsistema de subestación

En esta arquitectura jerarquizada, es de gran importancia el sistema de comunicaciones que enlaza los equipos de nivel 1 y de nivel 2. Es el soporte de la arquitectura distribuida de funciones y sus prestaciones (fiabilidad, velocidad y funciones soportadas) condicionan y determinan las del sistema completo.

En las soluciones actuales la comunicación es serie, asíncrona y se utilizan protocolos multipunto, basados en la norma CEI 870-5. La velocidad de comunicación es típicamente de 19200 bd o superior. A nivel físico se emplea fibra óptica de plástico 1 mm. o de cristal 62,5/125. La estructura de la red puede ser en forma de árbol, basada en concentradores / difusores activos (ver figura 2) o en anillo (ver figura 3).

Dado que los sistemas integran funciones de protección y funciones de control, los datos a intercambiar son de características diferentes:

- Las funciones de control requieren una transmisión rápida de pequeño volumen de datos (mandos, estados, medidas). Los tiempos típicos de refresco de todas las variables de la subestación en las pantallas de operación del sistema son del orden de o inferiores a 0,5 segundos.
- Las funciones de protección requieren el intercambio de un volumen mayor de datos, pero los tiempos de respuesta pueden ser más lentos (listados de sucesos, ficheros de informes de falta, conjuntos de ajustes). Es esencial que los protocolos utilizados soporten adecuadamente la transmisión de ambos tipos de datos.

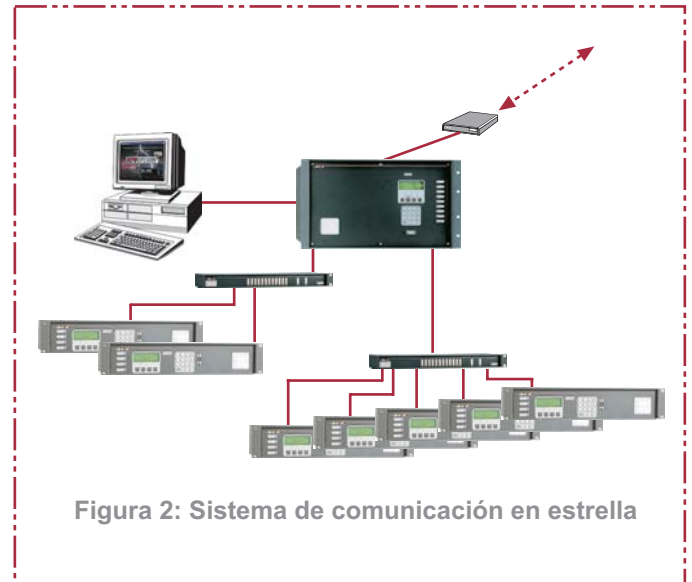


Figura 2: Sistema de comunicación en estrella

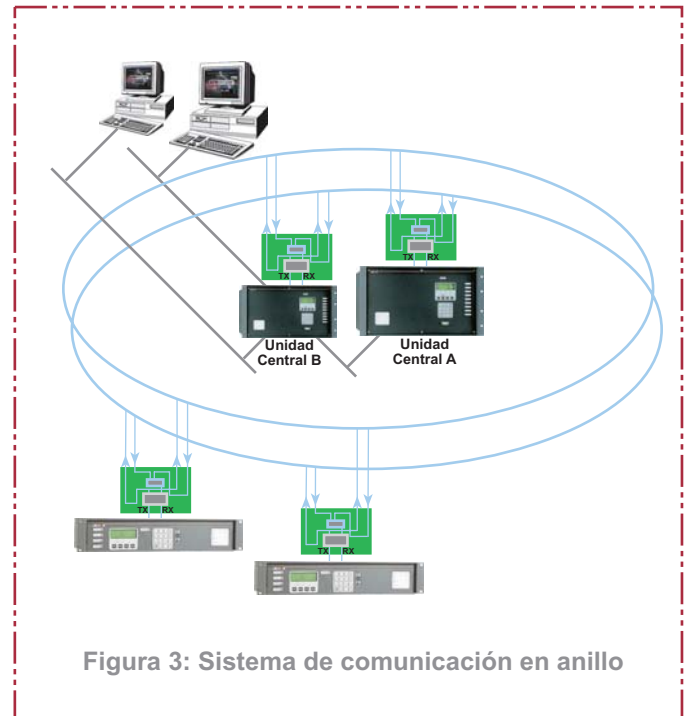


Figura 3: Sistema de comunicación en anillo

## Experiencia y posibilidades de evolución

Las principales novedades introducidas por la aplicación de los sistemas descritos han sido las siguientes:

### • Aspectos técnicos

Los sistemas están basados en una arquitectura distribuida, con los siguientes componentes básicos:

- Unidades de posición
- Unidades centrales
- Sistema de comunicaciones

Existe una integración de funciones, empleándose equipos multifunción.

La fiabilidad es mayor, debido básicamente a la existencia de menos componentes de hardware y a un cableado mínimo.

La precisión y repetitividad son mayores, debido al uso de un mínimo de circuitería analógica (captación analógico/digital y técnicas numéricas).

La inmunidad a las perturbaciones es mayor, debido al aislamiento óptico entre equipos.

La posibilidad negativa de caer en la dependencia de un solo fabricante para todo el sistema es evitable mediante el empleo de protocolos abiertos y de soluciones para intercambiabilidad de equipos.

Se posibilitan nuevas prácticas de mantenimiento tanto para el propio sistema de protección y control, como para los equipos primarios de la subestación, controlados por éste:

- Introducción del mantenimiento predictivo
- Posibilidad de disminuir el mantenimiento preventivo

Han de solucionarse los posibles conflictos de responsabilidad en el mantenimiento de equipos que proporcionan funciones combinadas de protección y control.

Se requieren nuevas prácticas en ingeniería de subestaciones, debido al mayor número de funciones a definir y a la necesidad de generación y mantenimiento de la documentación en formato digital (ficheros de configuración de equipos, etc.). Existe la necesidad de entrenamiento del personal en herramientas computerizadas de ingeniería (configuración de lógica, enclavamientos, automatismos, etc.) para evitar la dependencia del fabricante tanto durante el diseño y puesta en marcha de la instalación como a lo largo de toda su vida útil.

### • Aspectos económicos

Un sistema moderno integrado para la automatización de subestaciones es más económico que la alternativa convencional, ya que hay una reducción en el coste de las propias funciones (equipos multifunción) y una menor complejidad en el cableado y equipamiento auxiliar.

El tiempo de montaje y puesta en marcha es inferior por las facilidades de visualización de medidas y estados de los equipos a controlar. Aunque la influencia de la reducción del coste en los equipos no es muy importante respecto al coste total de la instalación, hay que resaltar que la mayor oportunidad de reducción de costes está en la minimización del mantenimiento a largo plazo debido a las posibilidades de monitorización remota, la oportunidad de evitar o minimizar las intervenciones en campo, eliminando los riesgos de fallos humanos, y a unos tiempos de indisponibilidad menores.



*Empleo de protocolos abiertos  
y de soluciones para intercambiabi-  
lidad de equipos*



## • Nuevas necesidades

La experiencia acumulada en el diseño, implantación y explotación de estos sistemas ha sido siempre positiva y se puede afirmar que tanto para instalaciones de nuevo diseño como para ampliaciones y mejoras de instalaciones ya existentes, este tipo de arquitectura es la solución universalmente aplicada, especialmente en subestaciones de distribución.

La figura 4 muestra una instalación típica en una subestación de distribución, con equipos integrados de protección y control, montados de forma distribuida en sus correspondientes celdas.



Figura 4: Sistema de protección y control en celdas de distribución

La demostración de las ventajas y la confianza adquirida por la utilización de estos sistemas, ha abierto un nuevo conjunto de expectativas orientadas a conseguir aún mayores prestaciones, a facilitar su aplicación y a extender su campo de utilización a las instalaciones más complejas.

Podemos resumir las principales necesidades en:

- Accesibilidad de los datos:
  - Facilidades para el acceso al sistema de automatización desde localizaciones remotas y mediante herramientas genéricas.
  - Enlace directo con la red de comunicaciones corporativa.
- Mayor capacidad de la red de comunicaciones del sistema:
  - Flexibilidad en la distribución de funciones entre los diversos elementos inteligentes del sistema.
  - Posibilidad de comunicación entre pares.
  - Transmisión de eventos con tiempos de retardo de milisegundos y alta fiabilidad (requisitos de protección).
  - Alta integridad y seguridad de los datos.
- Mejores herramientas para el diseño y configuración de los sistemas.
- Interoperabilidad entre equipos de diferentes fabricantes.



*Mayores prestaciones, facilidad de aplicación y extensión de uso en instalaciones complejas*

## Las nuevas arquitecturas

---

Desde hace varios años el EPRI (Electric Power Research Institute) viene trabajando en un amplio proyecto de definición de arquitecturas de comunicaciones para las compañías eléctricas denominado UCA (Utility Communications Architecture). Dentro de este proyecto se ha definido un sistema de comunicación para su utilización en las subestaciones, con los siguientes objetivos:

- Ha de obtenerse un consenso de la Industria para la integración de protección, control y adquisición de datos en subestaciones.
- La arquitectura de comunicación ha de ser abierta.
- Es imprescindible la aceptación de los suministradores para la comercialización de equipos.
- Ha de generarse tecnología para una Norma Internacional CEI.

Los principales requisitos para la comunicación en subestaciones son:

- Acceso a Datos
- Control remoto
- Comunicación entre pares (“peer-peer”)
- Objetos autodefinidos
- Reportes automatizados
- Eventos de la subestación
- Sincronización horaria
- Gestión de la Red
- Alta Integridad / Seguridad
- Arquitectura independiente de la topología y del medio / Respuesta rápida
- Expandible / extensible / fácil de mantener

A lo largo de estos años, múltiples compañías eléctricas y fabricantes de equipos han colaborado en diferentes fases de este proyecto, estableciendo modelos de datos, definiendo las diferentes capas de la arquitectura de comunicaciones a emplear, y realizando prototipos y ensayos de interoperabilidad entre equipos así como herramientas genéricas de visualización y monitorización.

### • Novedades

Los resultados de estos esfuerzos se han plasmado en la definición de una solución consensuada que responde a los requisitos planteados y permite el diseño de nuevas generaciones de sistemas de automatización para subestaciones y plantas de generación eléctricas.

Sus principales novedades son:

- Todos los equipos están conectados en red.
- Las redes locales de las instalaciones son conectables a la red corporativa.
- Tecnología de comunicaciones de “uso generalizado”:
  - Ethernet, TCP/IP, MMS
- Capacidad de envío de señales rápidas a nivel de subestación.
- Modelos de datos definidos para interoperabilidad:
  - Todos los objetos de la subestación tienen su modelo.
  - Todos los equipos declaran los datos disponibles.
  - Todos los equipos pueden acceder a los datos de los demás.



## • Modelos de datos

Todos los elementos de una subestación eléctrica disponen de un modelo de datos, definido de forma genérica, lo cual permite que la información relativa a cada uno de estos elementos pueda ser generada, compartida y comprendida por cualquier procesador inteligente que forme parte del sistema de automatización.

Estos modelos están definidos en el documento GOMSFE (Generic Object Models for Substation and Feeder Equipment).

Como ejemplo, existen modelos de:

- Unidad terminal remota básica (RTU)
- Unidades de Medida
- Controlador para cambio de tomas de transformador
- Controlador de banco de condensadores
- Controlador de seccionador
- Controlador de seccionador automático
- Controlador de interruptor
- Controlador de reenganchador automático
- Protección y Control de línea de distribución
- Protección y Control de línea de transmisión de 138 kV
- Protección y Control de línea de transmisión de 345 kV
- Controlador de posición (bay)
- Monitorizador de Potencia

La figura 5 presenta un ejemplo de acceso a los datos disponibles en un relé de línea de distribución.

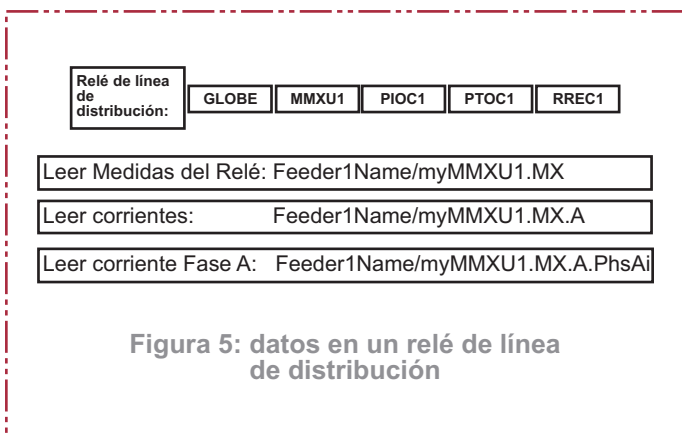


Figura 5: datos en un relé de línea de distribución

La figura 6 presenta de forma parcial los datos disponibles en un equipo de protección de batería de condensadores, tal como son presentados por un navegador genérico conectado a la red de la subestación.

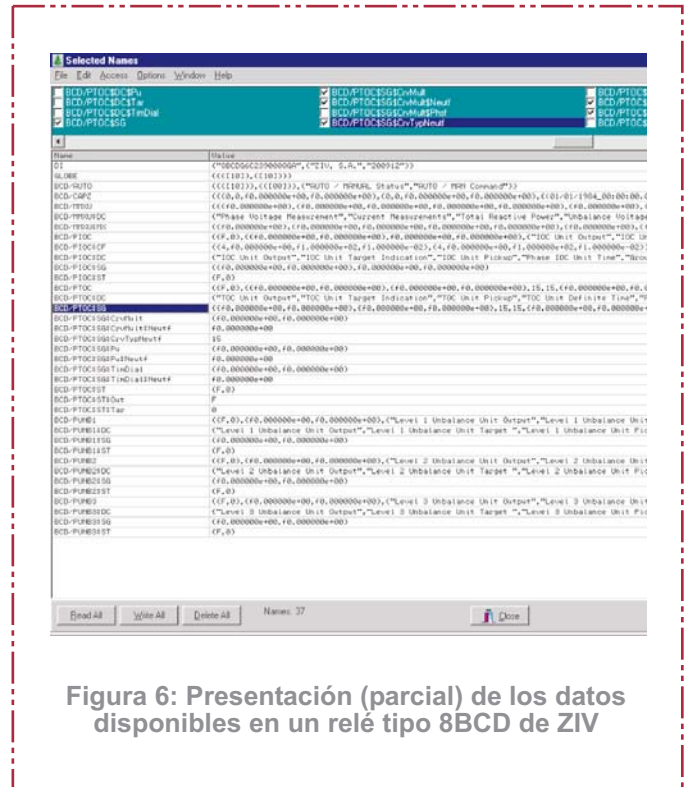


Figura 6: Presentación (parcial) de los datos disponibles en un relé tipo 8BCD de ZIV

## • Transmisión rápida de eventos

El mecanismo definido para la transmisión rápida de eventos de la subestación está definido en el documento GOOSE (Generic Object Oriented Substation Event).

Las principales características de este mecanismo son:

- Cada equipo puede emitir un mensaje GOOSE.
- El mensaje contiene hasta 96 pares de bits.
- Los mensajes GOOSE tienen un tratamiento prioritario.
- Existen estrategias de repetición de mensajes para garantizar que llegan a su destino.
- Cualquier equipo puede suscribirse a los GOOSE de los demás.



Las prestaciones de este mecanismo, soportado por la necesaria fiabilidad de la red de comunicaciones, permiten sustituir a señales que en los sistemas actuales son transmitidas mediante cableado eléctrico específico entre equipos.

Su tiempo de transmisión por la red es de 4 milisegundos, lo que equivale a los actuales tiempos de actuación de los relés auxiliares que transmiten eléctricamente estas señales.

### • Distribución física de los equipos

La aplicación de los nuevos conceptos en comunicaciones facilitará el diseño de instalaciones, permitiendo la introducción de nuevos equipos procesadores cuyos periféricos de entradas/salidas así como sus funciones de visualización y mando podrán estar localizadas en equipos independientes y compartidos por varios procesadores.

Las figuras 7, 8 y 9 muestran ejemplos de las posibilidades de distribución de los equipos físicos en las instalaciones.



Figura 7: Unidad procesadora central, consola de operación y equipos de posición



Figura 8: Unidad de posición y dos unidades locales de visualización



Figura 9: Dos unidades de posición compartiendo una unidad de visualización



## Conclusiones

---

La futura norma CEI 61850 “Communication networks and systems in substations” incluye los resultados de los trabajos descritos y está en una fase muy avanzada de definición, estando prevista la introducción comercial de equipos y sistemas basados en esta norma a lo largo del año 2002.

La aplicación de esta nueva arquitectura, basada en una red local Ethernet con soporte físico en fibra óptica según IEEE 802.3 100Base-FX, añadirá prestaciones a los sistemas de automatización de subestaciones, permitiendo una comunicación rápida (del orden de 4 milisegundos) entre todas las funciones del sistema, facilitando una mayor flexibilidad en la distribución de estas funciones en los equipos. Introducirá herramientas genéricas para configuración y para funciones de visualización y mando y facilitará la integración de los sistemas de subestación en la red global corporativa de la compañía eléctrica.