

Los sistemas eléctricos ante un nuevo cambio

El impacto de la norma CEI 61850

Este artículo ha sido realizado dentro del proyecto europeo IELAS (Contract N° G5RD-CT-2001-00549). Los autores agradecen la información recibida de los socios participantes, en particular de REE, así como, de José Rodríguez Argente.



Instalaciones de REE en la subestación de San Sebastián de los Reyes

Se desea dar una visión introductoria, como artículo inicial dentro de una pequeña serie, de la nueva normativa que está desarrollando la Comisión Electrotécnica Internacional para resolver definitivamente el viejo problema de integración de los equipos de las subestaciones eléctricas pertenecientes a distintos fabricantes. Esta normativa parte de conceptos, los cuales vienen derivados de las nuevas técnicas de programación y comunicaciones, radicalmente diferentes a sus predecesoras y se estima tendrá una influencia en el sector eléctrico mucho más allá de unos simples protocolos de comunicación.

Carlos Mateo Domingo

Ingeniero Industrial del ICAI
Investigador en formación del IIT-ICAI
Universidad Pontificia Comillas

Juan Antonio Talavera Martín

Ingeniero Electromecánico del ICAI
Doctor Ingeniero Industrial por la UPM
Investigador del IIT-ICAI Universidad
Pontificia Comillas
Responsable Desarrollo en ESDRAS

Aunque todavía no hayas oído hablar de esta norma, si tu actividad está relacionada con el sector eléctrico es probable que no pase mucho tiempo antes de que te veas influido de alguna manera por ella. Quizás sea el proyecto más extenso y ambicioso de normalización llevado a cabo por la Comisión Electro-técnica Internacional (CEI), a pesar de estar enfocada solo a las comunicaciones. Hemos aprendido, en un largo y penoso camino de desarrollo, que para que una normalización en comunicaciones sea efectiva tenemos que definir e involucrar a muchos más equipos y actividades de lo que podría parecer a primera vista. Para entender esta afirmación pensemos en como enviar un fichero con datos a otra empresa. Hace tan solo unos años, era una labor de expertos en transmisión de datos. Incluso, dependiendo de los ordenadores y los sistemas operativos podría ser una tarea imposible si no se realizaba un programa de conversión. Se daba un hecho que nos dejaba perplejos. Existía un cuerpo extenso de normas internacionales de comunicación. Prácticamente todos los fabricantes afirmaban con vehemencia que sus equipos las cumplían todas. Que eran equipos completamente abiertos. Teníamos ya ordenadores personales, sabíamos como hacer informes con ellos pero, sin embargo, nos sentíamos incapaces de transmitir esos informes si no eran impresos en papel. El envío de un fichero de datos se convertía en una pesadilla si éste no era imprimible. Los del departamento de informática podían terminar diciendo, con cara de estar por encima de nosotros los vulgares mortales, que era imposible si no se realizaba un programa de conversión pues el sistema operativo de la otra empresa no admitía nuestro formato.

Pero ahora las cosas son distintas. Hasta hemos olvidado aquellos tiempos tan cercanos. Ahora resolvemos el problema de forma muy sencilla. Por ejemplo, simplemente mandamos un correo electrónico con el fichero de datos adjunto.

Bueno pues en el sector eléctrico la transmisión de datos está todavía en el estadio anterior. Hay un conjunto importante de normas y protocolos que regulan las comunicaciones. Parece estar normalizado todo. Los fabricantes dicen tener sus productos homologados para toda esa normativa. Sin embargo, cuando quieres transmitir datos entre dos equipos de fabricantes distintos viene el problema. Independiente de a que fabricante llames para pedir ayuda, el problema es del otro.

Antecedentes históricos

Dado su simplicidad, quizás no lo hayamos notado, pero cuando enviamos un fichero por medio de un correo electrónico estamos controlando todo el proceso de transmisión. Obviamente, el ordenador nos hace todo pero, importante y clave, siguiendo nuestras órdenes a través de los "click" de nuestro ratón. Y en las secuencias de estos "click" se halla resumido todo el proceso de comunicación. Y las normas han tenido que definir una compleja arquitectura de niveles de protocolos y procesamiento de datos para llegar a que con esta secuencia de "clicks" se transmita un mensaje. Se propague en forma de un conjunto de cambios de tensión eléctrica. Alcance el receptor. Sea adecuadamente convertido y pueda ser entendido por otra persona. Estas normas han tenido que asimilar que la comunicación es un largo y variado proceso que incluye desde elementos tan diversos como los bits de control de errores hasta "objetos" tan exóticos como son los usuarios.

Ahora que recibimos y enviamos correos a diario nos parece obvio comunicarnos tal como lo hacemos pero ha sido una evolución lenta y llena de frustraciones. Al igual que en otros sectores, en los sistemas eléctricos las comunicaciones de datos han evolucionado siguiendo unos estadios que podríamos clasificar en cuatro etapas:

- 1- la etapa de las individualidades.
- 2- la etapa de las normalizaciones a nivel físico.
- 3- la etapa de los protocolos.
- 4- la etapa de los objetos.

En la primera etapa cada empresa fabricante de ordenadores tenía su propio sistema de comunicaciones con equipos específicos cuidadosamente patentados para que no los copiara la competencia. Las comunicaciones estaban reservadas a unos cuantos "gurus" que se pasaban meses, si no años, desarrollando el proyecto de comunicaciones entre dos empresas que tuvieran la necesidad de intercambiar datos y dispusieran de ordenadores de distinto fabricante. El proyecto incluía el desarrollo y construcción de unos equipos que solo servían para ese preciso enlace.

Ante las quejas por los retrasos y enormes gastos que generaban estos proyectos, se empezaron a desarrollar las primeras normas. En realidad eran lo que se conoce por "standard de facto". Eran especificaciones internas de las dos empresas que dominaban entonces el sector: IBM por el lado del procesamiento de

datos y ATT por los equipos de transmisión. El resto construía equipos compatibles con los de ellas. Fue la edad de oro de la RS-232 de origen americano y que más adelante se adaptó internacionalmente con pequeñas modificaciones con el nombre de V24.

A partir de estas normas ya se podían conectar dos equipos de fabricantes distintos directamente con un cable y no salía humo. Es más, se transmitían cadenas de bits por un ordenador y se recibían sin error en el otro. Los usuarios estaban muy contentos. Las comunicaciones habían entrado en una etapa donde ya era todo más sencillo. Craso error. Esta alegría desapareció enseguida cuando se pasó de las exhibiciones a las aplicaciones reales. En estas aplicaciones también se transmitían los bits perfectamente. Pero los mensajes que enviaba un ordenador no eran entendidos por el otro que los recibía. Había que normalizar el contenido de los mensajes y la secuencia de su intercambio (diálogo).

El proceso de normalización entraba en lo que denominamos etapa de los protocolos. El esfuerzo normalizador fue inmenso y plenamente justificado. Los equipos de procesamiento de datos estaban inundando las empresas. Los ingenieros empezábamos a disponer no solo de uno sino incluso de dos ordenadores personales; uno en la oficina y otro en casa. En el sector eléctrico es cuando aparece y se desarrolla el protocolo IEC-60870 con un indudable impacto benefactor. Ha conseguido que, por fin, los equipos de distintos fabricantes se entiendan.

A pesar de estos resultados, esta etapa ha dejado un cierto desencanto. No se ha conseguido que la mayoría de las veces los equipos de distintos fabricantes se comuniquen sin realizar programas de conversión de protocolos. Es más, si se cambia el equipo de un suministrador por el de otro, lo que falla prácticamente siempre son las comunicaciones. Es como haber fracasado. Después de tanto normalizar parece que es imposible prescindir del software de "conversión" y de la intervención de los expertos para poner a punto el enlace.

El final de la etapa de los protocolos viene marcada por el modelo OSI (Open System Interconnection); un esfuerzo auspiciado por organismos internacionales incluso externos al sector de las comunicaciones. Es un modelo que ha marcado toda una era. Ha definido el proceso de comunicaciones en siete niveles. Estos niveles se han convertido en la referencia para todo documento actual sobre transmisión: 1-nivel físico, 2-nivel de enlace, 3-nivel de

red, 4-nivel de transporte, 5-nivel de sesión, 6-nivel de presentación, 7-nivel de aplicación. Aunque está plenamente vigente y su uso es prácticamente universal, es un modelo todavía inacabado. Su complejidad creciente es la razón principal detrás de un desarrollo tan tortuoso. Faltan por completar los niveles superiores; justamente aquellos que suponen la aportación más innovadora del modelo. Los que contienen la semilla de la nueva revolución.

En efecto, la cuarta etapa se caracteriza por que los usuarios solo ven el nivel 7. Las comunicaciones quedan tapadas por el nivel de las aplicaciones; tal como el modelo OSI preconiza. Es decir, que sean elementos transparentes, no visibles, dentro de los programas que las personas normales usan. Pero conseguir estas propiedades no ha sido posible siguiendo el orden ascendente de los niveles, tal como se estaba haciendo hasta ahora sino al revés. Así a dos ingenieros, uno venido de Nueva York, Robert E. Kahn y otro, Vinton G. Cerf, procedente de la Universidad de California, se les encargó un proyecto con un objetivo muy claro: hacer que los científicos, muchos de ellos poco duchos en temas informáticos, pudieran usar los grandes y costosos ordenadores distribuidos a todo lo ancho de la geografía del país que entonces invertía en ordenadores varios ordenes de magnitud más que cualquier otro: Estados Unidos. Casi todos esos ordenadores ya estaban interconectados a redes de datos que cumplían los protocolos internacionales de comunicaciones. Desgraciadamente solo los usaban los que estaban en el propio centro. La comunicación con otro centro solía ser un problema que requería grandes dosis de dedicación.

Dada la claridad del objetivo y el corto espacio de tiempo del que disponían, Kahn y Cerf, optaron por simplificar a todos los niveles, fundamentalmente el de usuario. Esto fue como encontrar la llave mágica. Investigadores neófitos en ordenadores se convencieron de que era muy fácil comunicarse con ordenadores alejados. Primero fueron investigadores de la propia universidad. Más adelante se adhirieron otras universidades. Ahora, somos casi todos los que accedemos a un ordenador personal.

Las cosas al principio no fueron tan rápidas como pudiera parecer pues los primeros ensayos con éxito datan de 1969. En los años 70 todavía no existían páginas web, ni Java, ni ventanas gráficas, ni ratones con los que hacer "click". Se tenían que teclear letras y números en aburridas pantallas monocromo. Pero no importaba, podías mandar un

correo electrónico y llegarle casi instantáneamente a un compañero alejado de ti muchos miles de kilómetros. Y fueron los mensajes intercambiados por los investigadores el auténtico y oculto motor del crecimiento inicial. Los departamentos solicitaban la conexión, a lo que ahora denominamos Internet, aduciendo la necesidad de acceder a los superordenadores para resolver problemas de, por ejemplo, elementos finitos. Pero en realidad los investigadores utilizaban la conexión con mucha más frecuencia para enviarse mensajes "electrónicamente". Actividad, considerada en aquella época como infrutilizadora de los costosos procesadores digitales. Actualmente, afortunadamente no se piensa así y se le da toda la importancia que merece el intercambio de opiniones y datos.

En estos momentos tenemos esta nueva forma de ver las cosas y los conceptos derivados de los lenguajes de programación por objetos preparados para desembarcar en el sector eléctrico. En las comunicaciones que regulan la potencia activa y reactiva que circula por las líneas eléctricas. En las pantallas y gráficos que supervisan los operadores de red. En las transmisiones que inician las protecciones y disparan los interruptores. Al barco que nos trae todo esto le han puesto el nombre de CEI-61850.

Así esta norma CEI, con el prefijo IEC en el área anglosajona, pretende que las comunicaciones en los sistemas eléctricos de potencia den ese importante salto que ya afortunadamente los ingenieros en nuestras oficinas disfrutamos. Pasar de la etapa de los protocolos a la que denominamos etapa de los objetos.

Programación orientada a objetos

Conforme los sistemas de comunicaciones se desarrollaban, la programación fue también evolucionando para poder realizar programas cada vez más complejos. Con el nacimiento de la programación estructurada se sentaron las bases de una programación más metódica. Mediante el uso de módulos, funciones y tipos, estos lenguajes permitían estructurar mejor el código y los datos. Pero en esta misma generación surgieron nuevos paradigmas. Uno de ellos, y posiblemente el que mayor repercusión ha tenido, es la programación orientada a objetos. Smalltalk fue el precursor de estos nuevos lenguajes. Actualmente tenemos algunos tan conocidos como C++ o Java. Los lenguajes de programación orientados a objetos suponen una nueva forma de entender la programación. La orientación a objetos implica re-

alizar un esfuerzo por abstraer cuáles son los elementos esenciales del sistema (los distintos objetos) y los aspectos fundamentales de esos objetos (sus propiedades y métodos). Lo fundamental ya no es cómo están hechos internamente, sino más bien cómo son externamente, y de que forma pueden interactuar entre sí. Porque es en esta interacción en la que realmente el sistema cobra vida, cuando los distintos objetos empiezan a intercambiar mensajes y a actuar en base a esos mensajes.

Un objeto tiene tres partes claramente diferenciadas:

- Nombre: identificador del objeto.
- Atributos o propiedades: contienen la información, los datos del objeto.
- Métodos: definen las operaciones que el objeto puede realizar.



Pruebas en campo de un prototipo de transformador para la medida de alta tensión realizadas en la subestación de Sangüesa (Huesca). El cable de la izquierda suministra la alimentación a los circuitos electrónicos y el de la derecha contiene dos fibras ópticas para la transmisión de información (una para cada sentido). En este modelo la comunicación se hacía con protocolo propietario. En la actualidad se están desarrollando nuevas estructuras de comunicación para que cualquier transformador de medida pueda transmitir datos a equipos que, con independencia del fabricante, cumplan la norma IEC-61850.

La novedad fundamental que va a traer la IEC-61850 es la descripción de los niveles superiores de abstracción de un sistema de comunicaciones para las subestaciones eléctricas. Pero si miramos bien, lo que vemos es que la norma nos habla de transformadores, de seccionadores, de sistemas de protecciones, ... En definitiva, nos está hablando de objetos, de los objetos reales que nos podemos encontrar en una subestación y que van a necesitar comunicarse entre sí. Pero la norma no se limita sólo a nombrarlos. Con un poco más de detalle, lo que vemos es que al hablar de los transformadores, la norma dice que, por ejemplo, un transformador de medida de corriente, tendrá la información de su modo de operación, de la corriente que está midiendo,

de la calidad con que la está midiendo, del momento preciso de esa última medida, ... De algún modo, lo que nos está indicando la norma es cuáles son las propiedades de ese objeto, sus características, y también describe los métodos asociados a los objetos y que les permiten comunicarse entre sí, fijando o leyendo valores, devolviendo datos [1].

En la IEC-61850 confluyen por tanto el nivel superior de los sistemas de comunicaciones y el nuevo paradigma de la programación orientada a objetos. Desde la perspectiva de un sistema de comunicaciones vemos cómo la norma, apoyándose en la estructura OSI, proporciona la descripción detallada de lo que es el nivel más abstracto: la capa de aplicación. Pero al mismo tiempo, se da esta descripción de forma sistemática, sin lugar a ambigüedades, mediante el empleo de una interpretación libre de las técnicas de programación orientadas a objetos. Con este punto de vista, el mérito de la norma es doble, al completar la descripción de los niveles superiores del sistema de comunicaciones, empleando para ello una metodología propia del paradigma de la programación orientada a objetos.

Conecta y funciona

Las líneas eléctricas sirven para transportar la energía desde las centrales generadoras hasta los consumidores finales. Pero hay múltiples factores que aconsejan realizar uniones redundantes e interconectar las distintas redes, en unos casos por cuestiones técnicas como la fiabilidad y la estabilidad del sistema, en otros por cuestiones económicas. Sea por unas razones o por otras, el caso es que la situación actual es la de redes malladas bastante tupidas en cada país, y con interconexiones débiles entre los distintos países. Con este escenario, son frecuentes los casos en los que distintos sistemas deben comunicarse para funcionar conjuntamente. Pero además, dentro de cada subestación, hay elementos muy diferentes que también necesitan comunicarse entre sí. Como es usual que se empleen protocolos distintos, una gran parte de los costes de las compañías eléctricas deben ir destinados a integrar los distintos equipos y sistemas. Dado además, el proceso desregulatorio que ha habido en numerosos países, las compañías eléctricas, sumergidas ahora en un entorno competitivo, tienen que mejorar forzadamente la eficiencia y reducir sus costes. Existe, por tanto, bastante presión para conseguir una más fácil integración de los equipos de distintos fabricantes [2].

El objetivo que se pretende alcanzar con la norma es la interoperabilidad. Se pretende por tanto que cuando equipos de distintos fabricantes se conecten entre sí, puedan comunicarse sin necesidad de realizar un trabajo adicional. Éste es un objetivo ambicioso, pero que ya se ha logrado alcanzar en otros ámbitos. Es lo que en los ordenadores suele conocerse como "plug and play". Por esta razón, en la norma, se identifican y describen las funciones típicas de los dispositivos, pero en ningún momento se pretende limitar las funciones que puede realizar un equipo. El objetivo no es la intercambiabilidad sino la interoperabilidad.

Con la experiencia acumulada hasta el momento actual, hemos visto que no ha sido suficiente con un acuerdo sobre la sintaxis. Lo que se requería también era un acuerdo sobre la semántica de los datos intercambiados. En la IEC-61850 se define de forma precisa tanto el sistema de comunicaciones, como los elementos sobre los que se intercambia información (los motores, generadores, transformadores, líneas eléctricas...) y sus propiedades. Esto, unido a un mecanismo flexible que permite que un objeto pueda dar una auto-descripción de sí mismo, permitirá por fin la interconexión automática entre equipos de distintos fabricantes.

La norma incorpora numerosos elementos útiles para un sistema de comunicaciones en el ámbito de las subestaciones eléctricas:

- Modelo para el establecimiento de conexiones y mecanismos de control de acceso.
- Intercambios de mensajes orientados a eventos.
- Capacidad de sustitución manual de los valores.
- Escalado de las medidas analógicas.
- Límites de banda muerta con los que disminuir las cantidades de datos a transmitir
- Marcas de tiempo en los datos transmitidos.
- Especificación de la calidad de los valores.
- Etiquetas.
- Uso de conjuntos de datos.
- Establecimiento de las condiciones para la generación de informes automáticos.
- Secuencias de control, con sus números de secuencia correspondientes.
- Sincronización de tiempo.
- Generación de informes y registros.
- Transferencia de archivos.

Los más importantes fabricantes, convencidos de la necesidad de la norma y de los beneficios que traerá, han decidido soportar-

Tabla 1. Estructura de la IEC-61850 [5]

Parte 1	Principios básicos
Parte 2	Glosario
Parte 3	Requisitos generales
Parte 4	Gestión de sistemas y proyectos
Parte 5	Requisitos de las comunicaciones
Parte 6	Lenguaje de configuración
Partes 7-x	Estructura básica del sistema de comunicaciones
Parte 8	Aplicación para el bus de la subestación
Partes 9-x	Aplicación para el bus de proceso
Parte 10	Pruebas de validez

la. Se lanzaron varios proyectos, entre ellos el proyecto OCIS [3], en el cual se verificó que la norma servía para modelar satisfactoriamente los elementos de una subestación, y que, conforme especifica la norma, Ethernet se puede emplear en la práctica, como bus de una subestación. ABB y Siemens llevaron a cabo una primera prueba [4]. Estos dos fabricantes desarrollaron unos equipos de protecciones y medida, así como unas unidades integradoras, que se comunicaban bajo las especificaciones de la IEC-61850. Se comprobó el correcto funcionamiento mezclando equipos de los dos fabricantes y de este modo se verificó la interoperabilidad entre los equipos desarrollados.

Estructura general de la norma

La norma, con el título general de "Redes de Comunicaciones y Sistemas en las Subestaciones", estará formada por un conjunto de documentos, divididos en 10 partes. (Ver tabla 1)

Las bases del sistema de comunicaciones se establecen en las partes 5 y 7-1. En estos documentos se da una descripción funcional del sistema mediante la presentación de los elementos fundamentales del sistema de comunicaciones. En la parte 7-2 se proporciona una definición más detallada del sistema de comunicaciones con el denominado ACSi (Abstract Communication Service Interface). Esta descripción es a un nivel abstracto, mediante la definición exhaustiva de los objetos que componen el sistema de comunicaciones. Posteriormente, en las partes 8 y 9 se explica cómo aplicar estos conceptos abstractos para cada protocolo concreto mediante los denominados SCSM (Specific Communication Service Mapping). Las partes 7-3 y 7-4 continúan con la definición de objetos. En estos dos documentos se ha hecho un esfuerzo muy importante modelando los elementos de uso común en las subesta-

ciones eléctricas. En concreto en la parte 7-4 se han desarrollado unos cien modelos, mediante el empleo de más de dos mil atributos. La parte 7-3 define los atributos más comunes que aparecen en multitud de objetos.

La parte 6 cumple también una labor complementaria muy importante mediante la definición de un lenguaje de configuración. Este nuevo lenguaje, basado en XML, permite extender las definiciones de objetos que proporciona la norma, evitando así los inconvenientes de un modelo rígido. En posteriores artículos hablaremos más en detalle tanto del lenguaje de configuración como de XML.

La correspondencia entre el interfaz abstracto de comunicaciones y los protocolos concretos de comunicaciones se establece en las partes 8 y 9 [6]. En concreto en la parte 8 se dan los detalles para el bus de la subestación. Las partes 9-1 y 9-2 proporcionan una nueva correspondencia, esta vez para el bus de proceso. La captura de medidas en tiempo real, que hasta ahora venía haciéndose de forma analógica, se propone pasar a realizarla de forma digital, empleando como tecnología base Ethernet, y fundamentalmente con fibra óptica. En concreto la parte 9-1 propone organizar la comunicación mediante enlaces unidireccionales, mientras que en la parte 9-2 se plantea la clásica arquitectura en bus. Estos conceptos se desarrollarán en posteriores artículos. ■

Referencias bibliográficas

- [1] Udren, E.; Kunsman, S.; Dolezilek, D. (2000). Significant substation communication standardization developments. 2000 Western Power Delivery Automation Conference. <http://www.selinc.com/techpprs/6105.pdf>
- [2] Janssen, M.C.; Koreman, C.G.A.. Substation components plug and play instead of plug and pray. The impact of IEC 61850. KEMA T&D Power. http://www.nettedautomation.com/standardization/IEC_TCS7/WG10-12/index.html
- [3] Schubert, H. (1999) Project OCIS, aims and first results an accompanying project to the standardisation of communication networks and systems in substations "IEC 61850". Proceedings of the 11th International Conference on Power System Automation and Control.
- [4] Schwarz, K. (2002). Standard IEC 61850 for substation automation and other power system applications. http://www.nettedautomation.com/news/n_63.html
- [5] IEC 61850 (2002): Communication networks and systems in substations. Drafts. IEC 2002 International Electrotechnical Commission. Geneva, Switzerland.
- [6] Brunner, C.; Schwarz K. (2002). IEC 61850. Jornadas en Estandarización Comité Electrotécnico Internacional Comité Técnico 57. Madrid, Noviembre 2002. http://www.ree.es/index_idi.html