
Curso IEC 61850 – M4.1

GRUPO E3: ESPECIFICACIÓN COMÚN NACIONAL
ESPAÑOLA PARA SUBESTACIONES IEC 61850

Comunicaciones para los sistemas de control y protección
de subestaciones eléctricas, Smart Grid, vehículo eléctrico
y energías renovables. Norma IEC 61850.

Diciembre 2017

1	INTRODUCCIÓN	3
2	METODOLOGÍA DEL DOCUMENTO E3	4
3	FUNCIONALIDADES ELÉCTRICAS	7
4	TOPOLOGÍA DE RED DE ÁREA LOCAL PARA EL BUS DE SUBESTACIÓN	8
4.1	TOPOLOGÍA EN COLLAR DE ANILLOS	8
4.2	TOPOLOGÍA EN DOBLE ESTRELLA REDUNDANTE	9
5	INGENIERÍA, EXPLOTACIÓN Y MANTENIMIENTO	11
5.1	PRINCIPIOS BÁSICOS DE CONFIGURACIÓN DE EQUIPOS	11
5.2	PROCESO DE CONFIGURACIÓN DEL IED	12
5.2.1	<i>Carga, validación y activación de CIDs</i>	12
5.2.2	<i>Direccionamiento IP</i>	14
5.2.3	<i>Gestión de versiones</i>	14
5.3	HERRAMIENTAS Y FUNCIONES DE VALOR AÑADIDO	14
6	SERVICIOS DE COMUNICACIONES	16
6.1	GOOSE	16
6.2	SV (SAMPLED VALUES)	16
6.3	MMS	17
6.3.1	<i>Report</i>	17
6.3.2	<i>Modelo de control</i>	18
6.3.3	<i>Proceso de test</i>	18
7	SEGURIDAD	20
8	BUS DE PROCESO	21
8.1	FIABILIDAD	22
8.1.1	<i>Redundancia de red y de IEDs de nivel 0</i>	23
8.2	RENDIMIENTO	23
8.2.1	<i>Mensajes unicast y multicast</i>	25
8.3	MAPEO SV DE FUNCIONES DE NIVEL DE PROCESO	26
8.4	ALTERNATIVAS DE DISEÑO DEL BUS DE PROCESO	27
8.5	EJEMPLOS DE ARQUITECTURA PARA EL BUS DE PROCESO	27
8.5.1	<i>Bus virtual</i>	27
8.5.2	<i>Conexiones no redundantes punto a punto con IEDs de nivel 0 no redundantes</i>	28
8.5.3	<i>Bus de proceso con IEDs de nivel 0 redundantes y redundancia de red</i>	29
9	CONCLUSIÓN	31

	Documento:	Grupo E3	Versión:	1A
	Módulo:	Panorámica de soluciones reales	Autor:	SET
	Referencia:	M4.1	Fecha:	4/12/17

1 Introducción

Uno de los conceptos clave de la norma IEC 61850 que ha ido apareciendo en numerosas ocasiones a lo largo del curso es el de interoperabilidad. El estándar tiene por objetivo que diferentes equipos de control, protección y medida, de diversos fabricantes, se interconecten y comuniquen entre sí mediante unos protocolos de comunicaciones estandarizados. De esta manera, y evitando la utilización de multitud de soluciones propietarias, se garantiza la interoperabilidad entre fabricantes, así como un mayor y más rápido despliegue de las nuevas redes.

Sin embargo, el carácter ambicioso de la norma en cuanto a su alcance ha acarreado cierta falta de concreción en algunos puntos, lo que ha supuesto múltiples interpretaciones para algunas operaciones, lo que dificulta alcanzar el objetivo de interoperabilidad total. Sobre todo, esto se refleja en los grandes esfuerzos de ingeniería para homogeneizar configuraciones de varios fabricantes.

Es por ello que las principales eléctricas españolas aunaron esfuerzos y crearon el *E3 – Spanish Electricity Companies for Studies on IEC 61850*, un grupo de trabajo formado por representantes y especialistas de REE, Endesa, Iberdrola, GNF y EDP. En él se llegó a la conclusión de la urgente necesidad de tener un criterio unificado sobre los requerimientos mínimos que debían cumplir los dispositivos a instalar en sus instalaciones bajo el estándar IEC 61850.

Con este objetivo en mente, el grupo E3 elaboró el documento *Minimum common specification for SAS equipment in accordance with the IEC 61850 standard*. En él se reúnen los diferentes puntos de vista de los diferentes participantes a partir de las experiencias obtenidas a través de sus actividades de desarrollo particulares.

Este capítulo se centra en resumir los principales puntos de este documento, de libre difusión y disponible en la web del curso, o del propio grupo E3, incluyendo las definiciones y escenarios de referencia definidos por el E3 para un correcto entendimiento de su contenido. Para ello, se ha planteado una estructura similar a la de la especificación E3, recorriendo sus capítulos en el mismo orden.

2 Metodología del documento E3

Antes de entrar en los requerimientos IEC 618510, el documento E3 define un conjunto de topologías estándar de subestación de manera que se puedan definir las funcionalidades o aplicaciones prácticas en IEC 61850 con el objetivo de cubrir todos los casos (o la mayoría de ellos) de automatización de subestaciones contemplados por las compañías eléctricas españolas.

Los casos estándar definidos son:

1. **Topología de doble barra a doble barra:** típica de instalaciones de distribución. Tanto el parque de tensión superior como el de tensión inferior tienen una configuración de doble barra (Figura 1).

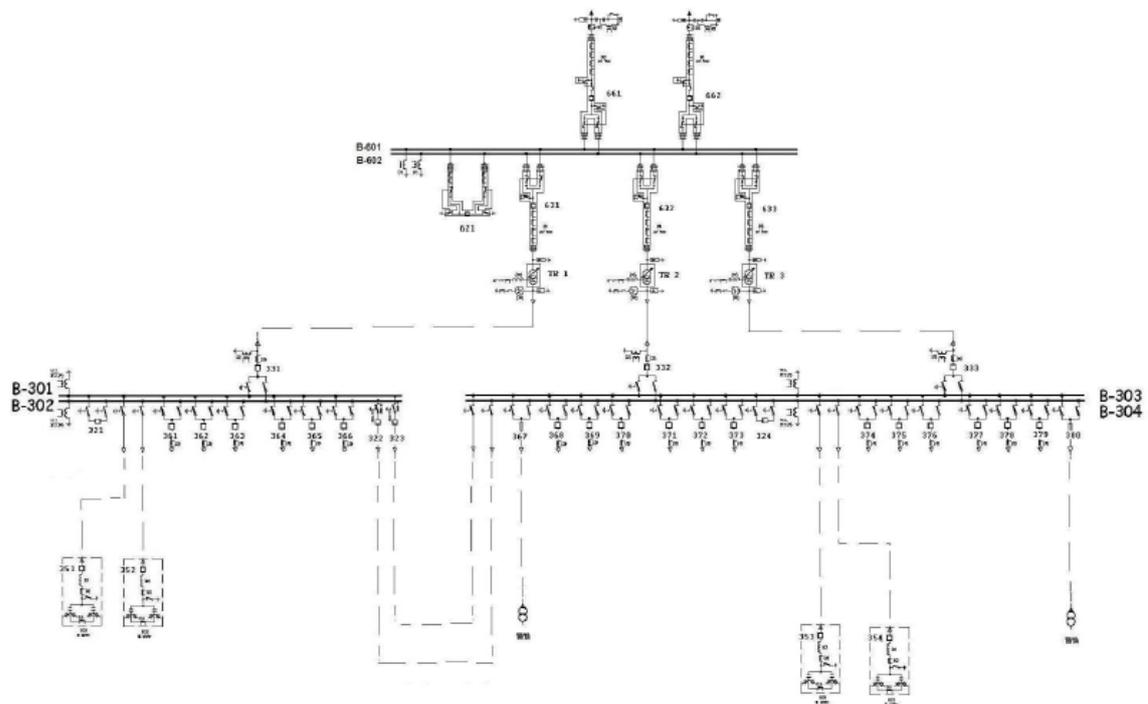


Figura 1. Topología de doble barra a doble barra

2. **Topología de interruptor y medio a doble barra:** típica en las redes de transmisión donde la disponibilidad de servicio es crítica. El parque de tensión superior tiene una configuración de interruptor y medio y el parque de tensión inferior una configuración de doble barra (Figura 2).

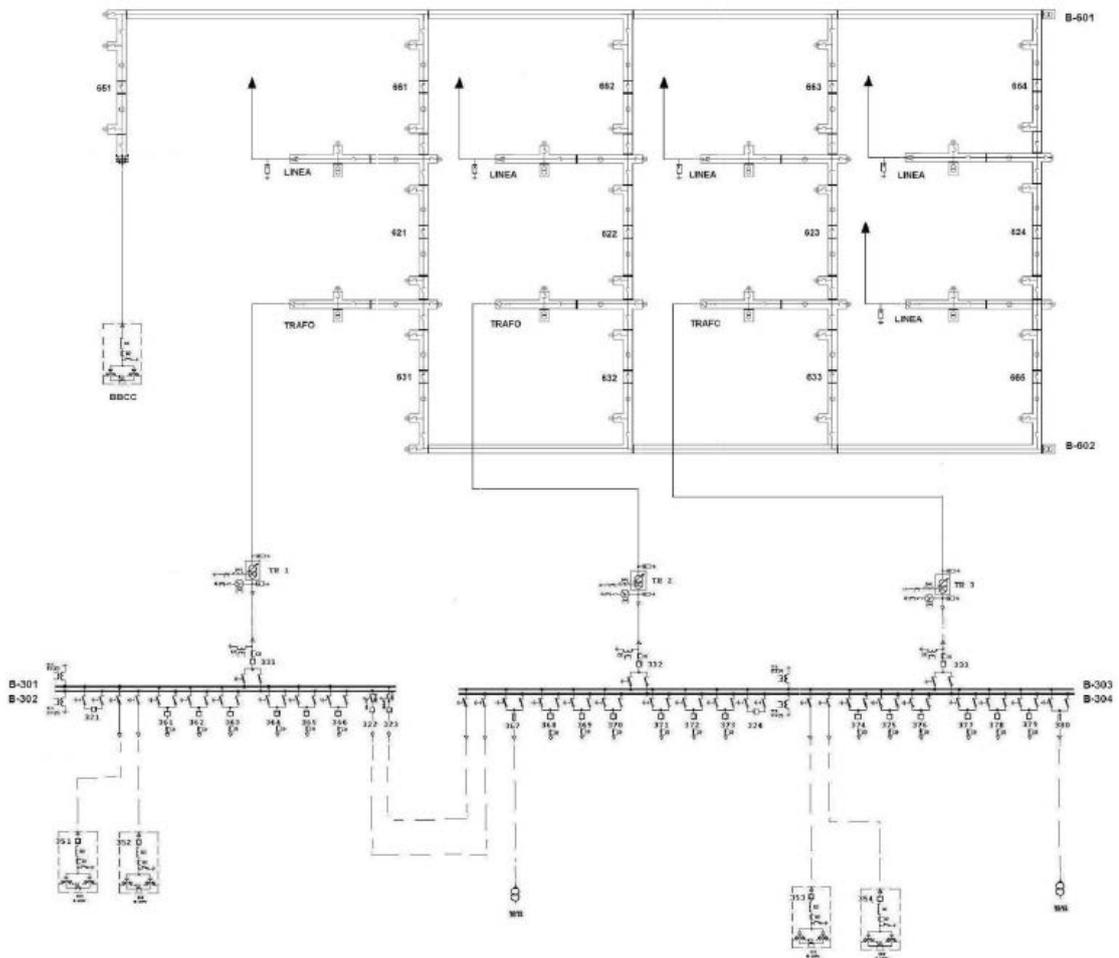


Figura 2. Topología de interruptor y medio a doble barra

3. **Topología en H:** típica de instalaciones de distribución. El parque de tensión superior tiene una configuración en H, mientras que el parque de tensión inferior tiene una configuración de barra simple (Figura 3).

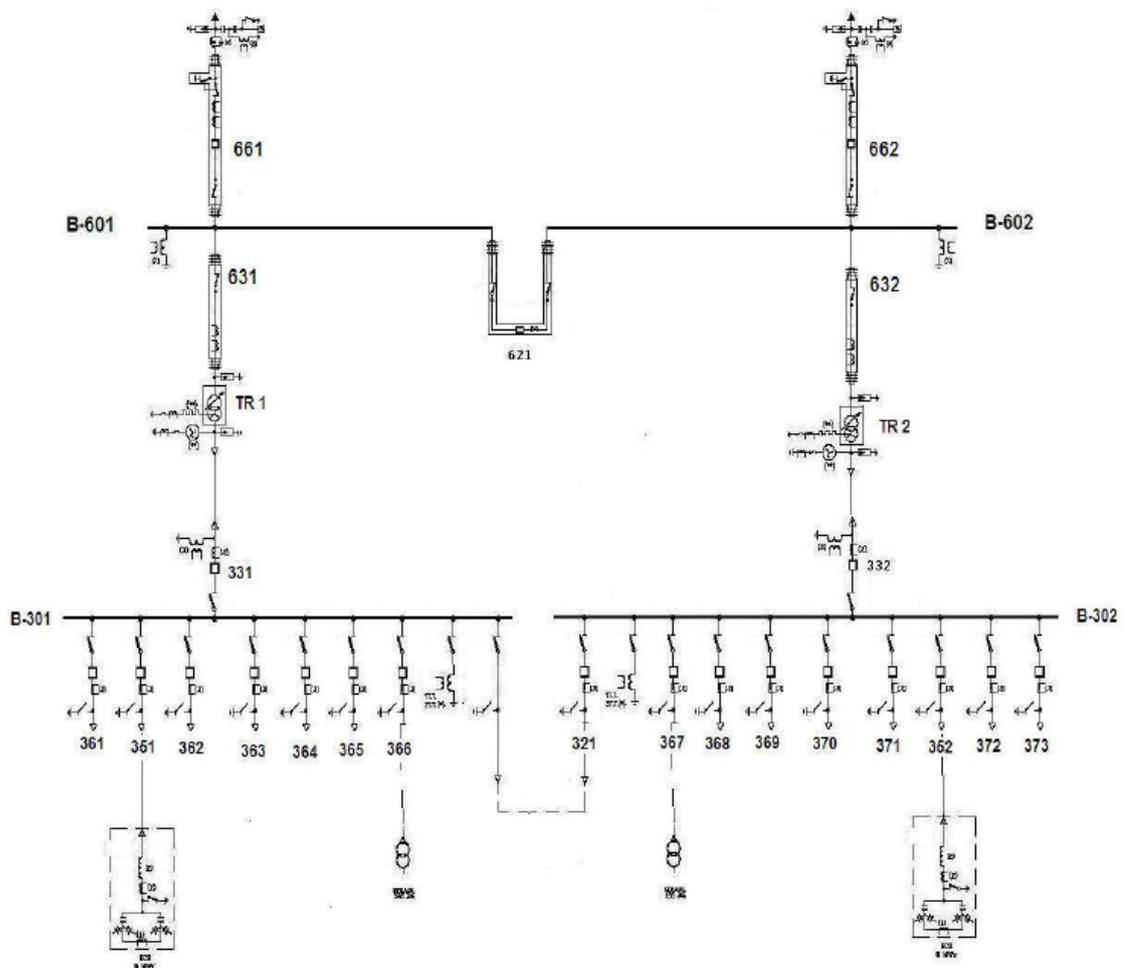


Figura 3. Topología H

Por último, el capítulo de metodología define una clasificación para los IED abordados en el documento:

- **IED de nivel 0:** IEDs empleado para la captura y el envío de señalización de campo. La configuración de estos equipos se limita al mapeado de las comunicaciones.
- **IED de nivel 1:** IEDs asociados a una posición concreta. Normalmente estos equipos gestionan los enclavamientos y realizan funciones de control, protección y medida (una o varias de ellas).
- **IED de nivel 2:** IEDs que se hacen cargo de las funciones generales de la subestación. Para ello estos equipos usan sus características como clientes del resto de IEDs de la instalación, pudiendo implementar funciones de servidor SCADA a nivel de subestación, lógicas generales de subestación, gestor de configuración y Gateway hasta el centro de control remoto.
- **Switch Ethernet:** nodos de la red LAN de subestación.

	Documento:	Grupo E3	Versión:	1A
	Módulo:	Panorámica de soluciones reales	Autor:	SET
	Referencia:	M4.1	Fecha:	4/12/17

3 Funcionalidades eléctricas

Este capítulo del documento E3 indica las funcionalidades actuales y futuras que las compañías eléctricas requieren para el control y protección de subestaciones. De este modo, se podrá obtener una aproximación de la cantidad de información intercambiada entre los IEDs de diferentes cabinas en la instalación.

El grupo E3 propone una clasificación de estas prestaciones teniendo en cuenta diferentes grados en términos de operatividad y seguridad. Así, surge la siguiente clasificación en orden ascendente de criticidad:

- **Criticidad I:** control y acceso remotos.
- **Criticidad II:** sistemas de protección, como por ejemplo las funcionalidades “Arranque de oscilo”, “Protección de Barras MT” y “Recepción de orden de disparo externo”, entre otras.
- **Criticidad III:** enclavamientos, como por ejemplo las funcionalidades “Permiso para puesta a tierra de B1”, “Bloqueo de los seccionadores del lado de AT” y “Permiso para cierre del seccionador B1”, entre otras.
- **Criticidad IV:** medidas, como por ejemplo las funcionalidades “Envío de la tensión de Barras MT a los IEDs de MT” y “Envío de la medida de tensión desde la cabina de medida hasta la cabina de transformador”, entre otras.
- **Criticidad V:** circuitos de disparo del interruptor. Aunque el grupo E3 considera que, en el momento de su publicación, no se contempla aplicar la norma para operaciones de esta criticidad debido al estado del arte actual de IEDs y de configuraciones de redes de comunicaciones. Por ejemplo, no puede asumirse un posible retardo de una orden de disparo de un interruptor provocado por un fallo en los switches de comunicaciones.
- **Criticidad VI:** sampled values. En este caso no se consideran funcionalidades, ya que sólo aplica en el bus de proceso y futuras prestaciones dependerán de su evolución.

Además de por criticidad, el documento diferencia por nivel de tensión, clasificando en parques de alta tensión, parques de media tensión y transformadores. Para cada uno de ellos, se tendrán sus seis grados de criticidad correspondientes.

4 Topología de red de área local para el bus de subestación

Esta sección del documento presenta las arquitecturas de red de área local (LAN, *Local Area Network*) consideradas para su aplicación en subestaciones basadas en la norma IEC 61850. El grupo E3 analiza dos topologías diferentes:

- Collar de anillos (o topología de switch máster redundante).
- Doble estrella redundante.

Las topologías simples en anillo o en estrella se contemplan implícitamente como pasos previos a las estructuras analizadas más complejas.

4.1 Topología en collar de anillos

La topología en collar de anillos (o topología de switch máster redundante) parte de un red en anillo simple en la que, debido al gran tamaño de la instalación donde se va a ubicar, en lugar de desplegar un único anillo, se plantea una arquitectura dividida en anillos de menor tamaño conectados entre sí por medio de una pareja de switches (switch máster). La Figura 4 presenta un ejemplo de diagrama de interconexión física para un collar de anillos:

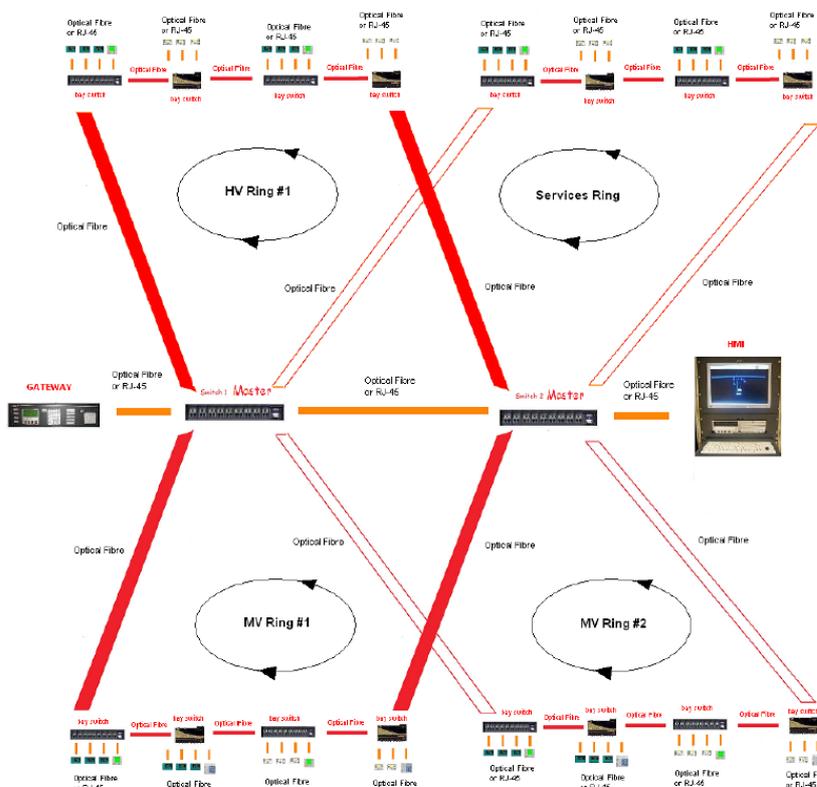


Figura 4. Ejemplo de red en collar de anillos

	Documento:	Grupo E3	Versión:	1A
	Módulo:	Panorámica de soluciones reales	Autor:	SET
	Referencia:	M4.1	Fecha:	4/12/17

El ejemplo de la Figura 4 muestra dos anillos de media tensión (*MV Ring #1/#2*), un anillo de alta tensión (*HV Ring #1*) y un anillo de servicios (*Services Ring*). Cada uno está formado por la interconexión de switches LAN (de los que cuelgan el resto de equipos que se conectan a la red) y un switch máster. Dependiendo del tamaño de la subestación, y del consiguiente número de switches LAN necesarios, puede ser conveniente la creación de varios anillos para minimizar, tanto como sea posible, el número de switches en cada uno. Es por ello que los anillos de MT no tienen por qué corresponderse con dos parques de MT distintos, sino que pueden pertenecer a un mismo parque.

Por lo general, existirá un switch LAN por cabina (aunque puede haber más) conectado al siguiente por medio de fibra óptica. El primer switch de la cadena se conectará al switch máster principal, mientras que el último se conectará al redundante. Estas conexiones se realizarán también por medio de fibra óptica, quedando la posibilidad de uso de RJ-45 restringida a la interconexión de los switches máster y a la conexión de los equipos de la instalación con su respectivo switch LAN.

En esta topología, el switch máster estará conectado al Gateway del centro de control y el switch máster redundante al terminal de control local (HMI, *Human-Machine Interface*). De esta manera, si alguno de los switches máster fallasen, se podría operar en la instalación a través del Gateway o del terminal local. En caso de que el fallo llegase por parte de alguno de los switch LAN, la configuración de la red en anillo y la redundancia garantizan que los equipos conectados al resto de switches dispondrán aún de una ruta física para alcanzar el resto de la subestación. El fallo de un enlace entre switches tampoco impedirá la conectividad de los equipos.

El documento E3 no contempla más redundancia que la ya proporcionada por esta topología. La redundancia del anillo para el nivel de AT y los transformadores no se considera ya que implica un elevado coste económico y alta complejidad en la instalación. Para garantizar la compatibilidad entre fabricantes de equipos de comunicaciones se empleará el protocolo RSTP (*Rapid Spanning Tree Protocol*) para la gestión de la arquitectura.

Esta topología es óptima en los casos estándar 1 y 3 de estructura de subestación (configuración doble barra a doble barra y configuración en H), dadas las consideraciones técnicas y las restricciones económicas de este tipo de instalaciones.

4.2 Topología en doble estrella redundante

La topología en doble estrella redundante consiste en un par de redes LAN en estrella cerradas e independientes (LAN A y LAN B), por lo que cada IED dispondrá de dos puertos Ethernet en el que cada uno se conectará a una de las dos redes LAN definidas.

La Figura 5 muestra un ejemplo de red en doble estrella redundante formada por 3 posiciones independientes. La red LAN A está indicada en color rojo, mientras que la LAN B aparece en color azul.

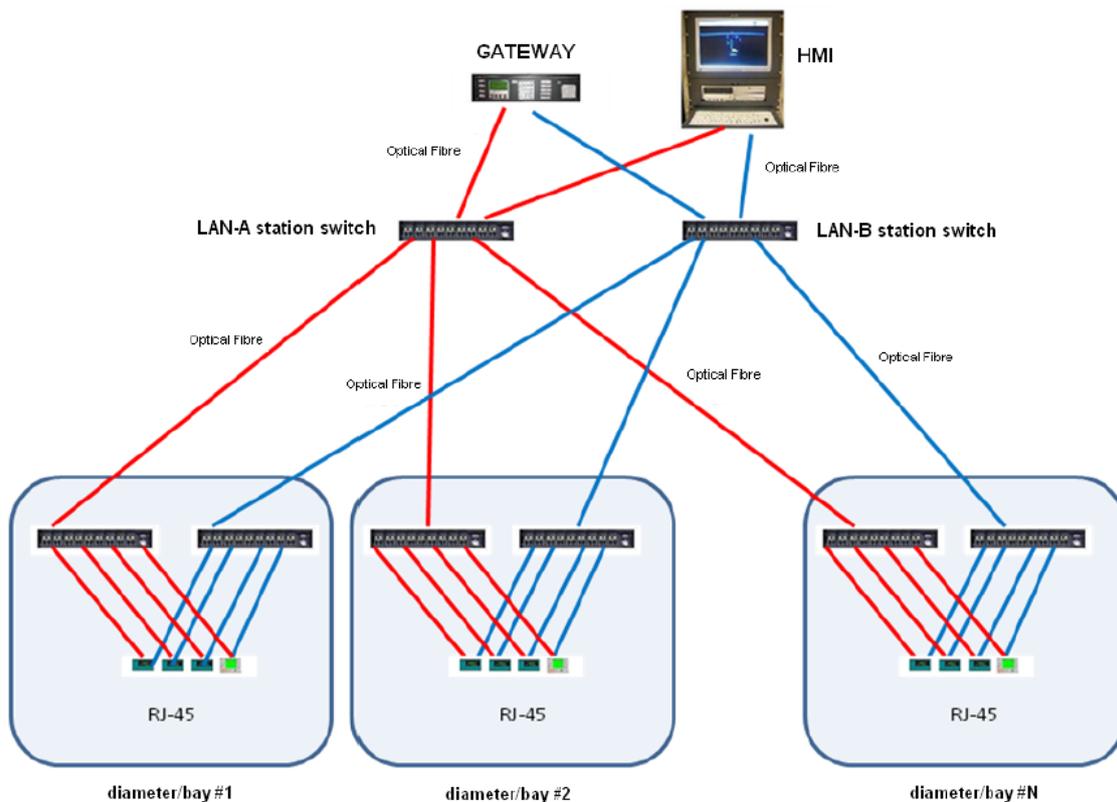


Figura 5. Ejemplo de red en doble estrella redundante

La conexión entre los equipos y los switches de la cabina puede realizarse por medio de cables UTP con conectores RJ-45, mientras que para unir los switches puede emplearse fibra óptica. Para detallar más el contenido de la Figura 5, desde una posición partirán dos cables de fibra óptica (uno para transmisión y otro para recepción) más otros dos cables como backup.

Hay que señalar que en esta topología no existe un camino directo entre posiciones como ocurría en el caso anterior. Si se deseara esto, habrá que subir al nivel superior (a los switches de estación) y realizar las conexiones necesarias.

Para garantizar un tiempo de recuperación ante fallos instantáneo, el documento especifica que se deben emplear equipos que soporten el protocolo PRP (*Parallel Redundancy Protocol*), especificado en la norma IEC 62439. Se deja abierta la posibilidad de adoptar otros estándares en caso de que la norma IEC 61850 los sugiera en un futuro.

La red de comunicaciones en doble estrella redundante es óptima para el caso estándar 2 (topología de interruptor y medio a doble barra), debido a la criticidad de este tipo de instalaciones.

	Documento:	Grupo E3	Versión:	1A
	Módulo:	Panorámica de soluciones reales	Autor:	SET
	Referencia:	M4.1	Fecha:	4/12/17

5 Ingeniería, explotación y mantenimiento

Ante la falta de aplicación real existente en la norma IEC 61850 para la configuración y mantenimiento de los IEDs, el grupo E3 propone en esta parte del documento un conjunto de pautas y consideraciones para facilitar la integración, prueba, puesta en marcha y mantenimiento de estos equipos en las subestaciones.

5.1 Principios básicos de configuración de equipos

Cualquier IED, sea cual sea su tipo, debe quedar completamente configurado con un único fichero SCL en formato .CID. Como se vio en el capítulo M3.1, el fichero CID describe en lenguaje SCL el contenido de un IED específico.

El nombre del fichero CID deberá estar compuesto por hasta 32 caracteres como máximo (incluyendo su extensión). Dicho nombre responderá a reglas estándar de denominación, de forma que se facilite la identificación y el manejo de un conjunto completo de ficheros que describan a una subestación IEC 61850 completa. Por ejemplo, se puede obtener un nombre de fichero a partir del nombre de proyecto, el identificador del parque y el número de operación de la posición. Otra manera de nombrar al fichero CID puede ser emplear el valor del atributo *iedName* y un número de versión secuencial, o incluso añadiendo la fecha de generación del fichero.

Por norma general, el fichero CID podrá estar formado por dos partes diferenciadas:

- **Parte estándar:** contiene todas las funciones del IED modeladas según la norma IEC 61850. Modificable mediante un editor SCL genérico.
- **Parte propietaria:** contiene las funciones que salen del ámbito de la parte estándar. Estas funciones sólo pueden ser configuradas con las herramientas del fabricante. El objetivo último de la filosofía E3 es eliminar por completo la parte propietaria.

Ambas partes son estrictamente complementarias, por lo que si una función queda modelada completamente en la parte estándar no será referenciada en la parte propietaria. Para hacer posible que la mayor parte de la información quede modelada según la norma IEC 61850, el documento E3 indica que deben usarse las extensiones del modelo de lenguaje definidas en la IEC 61850-6 y proporciona además unos criterios básicos a la hora de extender el modelo SCL:

- **Uso de DO de tipo *InRef*:** este tipo de DO (*Data Object*) deben emplearse principalmente en LNs (*Logical Node*) involucrados en funciones de control.

De manera general, cualquier nodo lógico emplea el estado de otras variables (estado de entradas/salidas, resultados de lógicas, enclavamientos, etc.) para llevar a cabo su función. En el caso de nodos que desarrollan funciones de protección, las referencias a estas variables son generalmente fijas (tensiones, intensidades) mientras que en los nodos para funciones de control, las referencias están sujetas a cambios entre

	Documento:	Grupo E3	Versión:	1A
	Módulo:	Panorámica de soluciones reales	Autor:	SET
	Referencia:	M4.1	Fecha:	4/12/17

diferentes posiciones. Estas referencias son ajustes que cambian de una posición a otra.

Por ello, el documento E3 indica que estas variables deben modelarse por medio de las entradas definidas en el estándar. Es decir, todos los LNs deberán disponer de los elementos *InRef* necesarios para integrar todas las variables que el nodo necesita para cumplir su función.

- **Lógicas de control:** el empleo de elementos de tipo *InRef* reducirá drásticamente las necesidades de lógicas de control programables. En una situación ideal, la lógica de control se incluiría en el firmware del IED, reduciendo la configuración de funciones de control a una mera parametrización de los respectivos nodos lógicos. Sin embargo, y a pesar de la utilización de objetos *InRef*, sigue siendo necesaria la utilización de lógicas de control que serán modeladas por medio de nodos lógicos de propósito general (GGIOs).
- **Ciente GOOSE:** esta es otra función que debe ser modelada mediante un nodo lógico de propósito general, de manera que sea posible configurar toda la información que un IED necesita para suscribirse a los datos contenidos en un mensaje GOOSE.

El último principio básico sobre configuración de equipos que establece el documento E3 está relacionado con la estructura de directorios del IED para la gestión del fichero CID. Tal y como se indica en la norma IEC 61850-8-1, esta estructura de carpetas se ubicará en memoria interna no volátil del equipo, con un directorio raíz *SCL* que alberga a las ubicaciones:

- **validated:** contiene CIDs validados localmente por el IED.
- **notvalidated:** contendrá los ficheros CID cargados en el IED y que no han sido validados (por ser erróneos o por encontrarse en proceso de validación por parte del equipo).

Los ficheros CID generados internamente por el IED se localizarán directamente en la carpeta *validated*. Los ficheros cargados externamente en el IED pasarán de la carpeta *notvalidated* a *validated* cuando el proceso de validación por parte del equipo sea satisfactorio.

5.2 Proceso de configuración del IED

Las modificaciones en la configuración de un IED pueden ser de dos tipos: modificaciones en caliente (se realizan sin interrumpir las funcionalidades del IED y consisten básicamente en cambios de parámetros o ajustes) y modificaciones en frío (afectan a la estructura del fichero CID, al introducir nuevas funciones o reemplazar algunas existentes, y por normal general requieren un reinicio del equipo).

5.2.1 Carga, validación y activación de CIDs

Las modificaciones en frío requieren la carga, validación y activación del fichero CID. La carga del CID en el equipo se puede realizar mediante tres modos:

	Documento:	Grupo E3	Versión:	1A
	Módulo:	Panorámica de soluciones reales	Autor:	SET
	Referencia:	M4.1	Fecha:	4/12/17

- **Carga por FTP:** el IED debe permitir la carga/descarga de CID por medio del protocolo FTP debido a su simplicidad, disponibilidad de clientes y universalidad. Para ello, los equipos deberán disponer de un servidor FTP y un indicador LED que muestre cuando se está llevando a cabo este tipo de acceso.
- **Carga por puerto USB:** el IED debe disponer de un puerto USB que permita la carga/descarga de ficheros CID almacenados en una memoria de este tipo. Cuando se inserte el dispositivo USB, el IED deberá actuar según el contenido del mismo, descargando el CID validado si la memoria está vacía, cargando el fichero en la carpeta *notvalidated* si hay un único fichero CID en la memoria o no haciendo nada en cualquier otro caso.
- **Carga mediante servicios ACSI:** el IED debe permitir la carga/descarga de CID por medio de servicios ACSI, tal y como define la norma IEC 61850-8-1.

Para proteger el IED de cargas no deseadas de ficheros CID, el documento E3 especifica que deberá existir un parámetro modificable *LoadMod* en el nodo lógico LPHD. Este parámetro permitirá identificar tres modos de carga distintos: *indifferent* (el equipo siempre aceptará la carga de CID en su carpeta *notvalidated* por cualquiera de los métodos descritos anteriormente), *upload mode* (el equipo siempre aceptará la carga del CID en *notvalidated* por cualquiera de los métodos descritos pero sólo temporalmente) y *protected mode* (el equipo no aceptará la carga de CID en su carpeta *notvalidated*).

La temporalidad del modo *upload mode* deberá terminar cuando el modo sea desactivado por el usuario, cuando haya transcurrido una hora desde su activación o cuando el CID se valide (reconfiguración del equipo). En cualquiera de los tres casos, el equipo pasará a *protected mode* a continuación.

El proceso de validación y activación solamente se llevará a cabo en modificaciones en frío. Del mismo modo que para el proceso de carga, la validación y activación de un fichero CID vendrá controlada por un parámetro modificable, *ValActAuto*. Este parámetro establece en qué modo de validación y activación se encuentra el IED:

- **Automatic:** validación automática por el IED y reconfiguración (activación) automática del CID.
- **Controlled:** validación y activación del CID de manera controlada por medio del acceso a los atributos *validate* y *activate* del SCL Control Block vía servicios ACSI. Este modo se dará, por ejemplo, en el caso de una herramienta de configuración.

El proceso de carga, validación y activación quedará recogido por el IED en un fichero accesible por el usuario. En caso de un error en cualquiera de las etapas, el fichero especificará el problema en la medida de lo posible (número de línea que provoca el fallo, objeto u objetos del modelo que contienen errores, etc.).

	Documento:	Grupo E3	Versión:	1A
	Módulo:	Panorámica de soluciones reales	Autor:	SET
	Referencia:	M4.1	Fecha:	4/12/17

5.2.2 Direccionamiento IP

El documento E3 establece que los IEDs deberán emplear direccionamiento IP estático, asociado explícitamente con su posición y funciones, de acuerdo al criterio definido para cada instalación. La asignación de este direccionamiento se realizará en la fase de ingeniería del proyecto.

La configuración de red de un IED deberá ser fácilmente modificable por medio de un display y una interfaz física integrada en el equipo. Si el IED no dispone de estos elementos, el fabricante deberá proporcionar un método que facilite el modo de visualización y modificación de dicha configuración. En caso de que la dirección IP almacenada en el equipo no coincida con la dirección IP de un nuevo fichero CID (contenida en la sección *Communication*), el IED no deberá validarla y mantendrá su dirección y configuración anteriores al intento de carga.

5.2.3 Gestión de versiones

Por último, para mantener adecuadamente los diversos ficheros CID que se van generando en un proyecto, debe existir un buen método de control de versiones. Por ello, el documento E3 sugiere emplear los siguientes elementos del nodo LLNO:

- **LLNO.NamPlt.configRev:** identifica la configuración individual de un LD en un IED, instancias definitivas de LNs, relaciones entre los mismos, data sets, Control Blocks, partes propietarias y diagramas unifilares. Este atributo sólo se modificará en caso de que haya un cambio en la semántica del modelo de datos del LD asociado o de la parte propietaria del CID. Es decir, cualquier cambio que requiera una modificación en frío.
- **LLNO.NamPlt.paramRev:** identifica la parametrización individual de un LD en un IED, incluyendo valores de ajuste y parámetros de configuración. Este atributo se modificará cuando se produzca una modificación en caliente o, lo que es lo mismo, una modificación que pueda realizarse sin una reconfiguración del CID.

5.3 Herramientas y funciones de valor añadido

Las herramientas para la gestión de configuraciones e IEDs pueden clasificarse, de manera general, en herramientas estándar (modifican cualquier función modelada según la norma IEC 61850) y herramientas propietarias (creadas por el fabricante, permiten editar las partes propietarias de un CID).

Además se pueden distinguir tres tipos de herramientas fundamentales, las cuales podrán ser estándar o propietarias:

- **De parametrización:** empleadas para modificaciones en caliente de ajustes del IED y su gestión. Pueden cambiar los parámetros de todos los IEDs de una o varias subestaciones o de un solo equipo.

	Documento:	Grupo E3	Versión:	1A
	Módulo:	Panorámica de soluciones reales	Autor:	SET
	Referencia:	M4.1	Fecha:	4/12/17

- **De configuración:** empleadas para implementación y gestión de modificaciones en frío. Del mismo modo que antes, pueden emplearse para subestaciones enteras o IEDs individuales.
- **De testeo:** empleadas para evaluar equipos. Permiten probar el funcionamiento de IEDs trabajando como servidores o como clientes.

Entre las funciones de valor añadido disponibles, el documento E3 señala los registros de osciloperturbografía (guardados en formato COMTRADE en los equipos), las secuencias de eventos (SOE, *Sequence Of Events*) por medio del servicio de Log definido en la norma, los informes de faltas (registro creado ante la aparición de una falta en la red) y el registro de eventos internos (contiene la información interna del equipo recopilada durante su funcionamiento).

	Documento:	Grupo E3	Versión:	1A
	Módulo:	Panorámica de soluciones reales	Autor:	SET
	Referencia:	M4.1	Fecha:	4/12/17

6 Servicios de comunicaciones

El documento E3 especifica en su capítulo 7 un conjunto de requerimientos mínimos que deben cumplir los IEDs en relación con los servicios de comunicaciones. En particular, aborda los servicios GOOSE, Sampled Values y MMS (cliente-servidor), así como una serie de requisitos para el control y acceso remotos.

6.1 GOOSE

Para asegurar las necesidades de información de propósito general de tipo multicast, se determina que cada IED deberá ser capaz de publicar al menos 8 mensajes GOOSE (con sus respectivos GOOSE Control Block) y suscribirse al menos a 64 publicadores. En relación con los datos, la información incluida en el data set deberá ser de tipo DA, lo que implica que cualquier FCDA no estructurado podrá ser transmitido por un mensaje GOOSE.

La configuración de los GOOSE Control Block deberá realizarse vía CID. En el fichero se incluirán también los parámetros *maxTime* y *minTime* del GSE, de manera que se puedan controlar las temporizaciones para la retransmisión de mensajes. El parámetro *timeAllowedToLive* del mensaje GOOSE deberá ser el doble del *maxTime*.

Para la validación de un GOOSE suscrito, el IED que recibe el mensaje deberá realizar una comprobación en dos pasos: comprobar la dirección MAC de destino del mensaje y revisar la validez del contenido. Para este último paso, se indica una serie de parámetros que se deberán verificar (una selección de ellos o todos) para aceptar el mensaje GOOSE:

- GOOSE Control Block Reference.
- Data set Reference.
- Contenido esperado del data set.
- *Application ID*.
- GOOSE ID.
- Parámetro *ConfRev*.
- Indicador *Needs Commissioning*.

6.2 SV (Sampled Values)

Para el grupo E3, el modelo de datos de un IED que envía mensajes SV y la estructura del data set que contiene la información quedan especificados por la publicación *IEC 61850-9-2 Lite Edition*. Sin embargo, se introduce una modificación a las restricciones multicast que hace el documento original.

	Documento:	Grupo E3	Versión:	1A
	Módulo:	Panorámica de soluciones reales	Autor:	SET
	Referencia:	M4.1	Fecha:	4/12/17

Esta modificación implica que podrá haber un dispositivo lógico MU para cada grupo de ocho magnitudes eléctricas. Este LD contendrá nodos lógicos de clase TCTR y TVTR, que actuarán como servidores de las muestras correspondientes a cada una de dichas magnitudes. Cada MU contendrá al menos un Control Block básico de tipo multicast (MSVCB01) con una frecuencia de muestreo de 80 muestras por periodo nominal. Dependiendo de las necesidades particulares del proyecto se podrán incluir más bloques de control: MSVCB02 y USVCB02 para tráfico unicast y multicast con 256 muestras por periodo nominal, el bloque de control básico USVCB01, etc.

6.3 MMS

Las necesidades más importantes detalladas en el documento E3 que deben satisfacer los equipos en cuanto a servicios MMS son las referidas al envío de Report, el modelo de control para operaciones y el modo test de funcionamiento de los IEDs.

6.3.1 Report

Inicialmente, se enumeran los principales clientes potenciales del servicio de Report de aplicación en la gran mayoría de instalaciones, de manera que pueda dimensionarse el número total de Reports necesarios y el número de data sets asociados. Dichos clientes son:

- Servidor de control SCADA a nivel de subestación (redundante).
- Gateway al centro de control remoto (redundante).
- Equipo de ingeniería y mantenimiento.
- Gateway para el intercambio de información entre compañías eléctricas.
- Equipos para el acceso remoto a los IEDs.

Así pues se establecen 7 clientes potenciales para un equipo que envíe información de señalización (en RCB de tipo *buffered*) e información de telemida (en RCB de tipo *unbuffered*). Por lo tanto, un servidor deberá ser capaz de proporcionar servicio para un máximo de 14 Reports (7 BRCBs y 7 URCBs). Cada uno de ellos podrá contener un data set, lo que significa que el servidor debería poder disponer de un máximo de 14 data sets para tareas de señalización y telemida.

En el caso de transmisión de señalización mediante BRCBs, se definen dos capacidades para el buffer (512 y 2048 atributos) y cuatro capacidades para los data sets (256, 512, 1024 y 2048 atributos). En el caso de los URCBs para tareas de telemida, el documento establece que cada data set deberá soportar al menos 16 medidas con todos sus atributos necesarios.

Los parámetros descritos por los elementos *OptFields* y *TrgOpts* de los Reports deberán ser configurables por medio del CID, lo que implica que el IED tendrá que ser capaz de implementar todas las funcionalidades definidas en esos campos. Además, el grupo E3 hace especial énfasis en no permitir la existencia de RCBs virtuales creados por el IED en tiempo de

	Documento:	Grupo E3	Versión:	1A
	Módulo:	Panorámica de soluciones reales	Autor:	SET
	Referencia:	M4.1	Fecha:	4/12/17

ejecución, lo que se consigue estableciendo el atributo *max* del elemento *RptEnabled* a 1. De este modo, cada RCB sólo se podrá asignar como máximo a un cliente al mismo tiempo.

6.3.2 Modelo de control

Un IED que cumpla las recomendaciones del documento E3 en cuanto al modelo de control deberá ser capaz de implementar cualquiera de los siguientes:

- *Direct Control with normal security.*
- *SBO Control with normal security.*
- *Direct control with enhanced security.*
- *SBO control with enhanced security.*

Además, la opción de deshabilitar los mandos MMS estará disponible mediante el modelo de control 0 (*status-only*).

Tal y como se establece en la norma IEC 61850-7-2, el modelo de control se podrá aplicar a datos cuyas CDCs sean, al menos, SPC, DPC, INC, BSC, ISC y APC.

6.3.3 Proceso de test

Durante los procesos de prueba realizados en las instalaciones, puede llegar a los IEDs información que no recibirían en condiciones normales de funcionamiento y viceversa. Además, los IED en pruebas pueden generar o bien recibir información que no refleja su modo de funcionamiento normal. Por ello, es importante establecer como cambiar el modo de trabajo de un IED para realizar pruebas sobre él, el comportamiento del equipo en ese momento y la información que refleja dicho modo en el IED.

Un equipo comenzará a trabajar en modo test por medio de:

- Una llave en el frontal del IED que pase de modo normal a modo test.
- Una entrada digital del IED que al recibir alimentación active el modo test (o viceversa).
- Pulsadores del frontal del IED.

Sea cual sea la forma de cambiar del modo normal de trabajo al modo de pruebas, una vez en este último, la calidad de los datos contenidos en mensajes GOOSE y Report pasará a notificar este estado por medio de su bit de test. Otro indicador de que el equipo se encuentra en ese modo de funcionamiento será el valor de los DOs *Mod* y *Beh* del LLNO.

En suscriptores GOOSE, aquellos datos cuya calidad tenga el bit de test activo serán ignorados o tratados de manera especial (esto quedará definido por la lógica interna de cada cliente). Además, el equipo publicador del mensaje (que se encontrará en modo test) deberá señalar este hecho con el indicador dispuesto a tal fin en el mensaje GOOSE.

En el caso de que un IED funcionando en modo test reciba una orden por parte de otro equipo de la instalación, el primero deberá ignorarla a no ser que dicha orden indique que procede de

	Documento:	Grupo E3	Versión:	1A
	Módulo:	Panorámica de soluciones reales	Autor:	SET
	Referencia:	M4.1	Fecha:	4/12/17

un equipo en pruebas. Del mismo modo, un IED en modo normal no hará caso de mandos procedentes de un equipo en modo test.

	Documento:	Grupo E3	Versión:	1A
	Módulo:	Panorámica de soluciones reales	Autor:	SET
	Referencia:	M4.1	Fecha:	4/12/17

7 Seguridad

Con la inclusión de comunicaciones y protocolos como TCP/IP en los sistemas de automatización de subestaciones, la ciberseguridad cobra cada vez más importancia ante posibles ataques externos sobre dichos sistemas. Sin embargo, las compañías eléctricas españolas que conforman el grupo E3 se enfrentan a dos problemas a la hora de abordar la seguridad de sus IEDs y equipos de comunicaciones: su falta de experiencia en estos asuntos y la singularidad de las redes de comunicaciones de sus instalaciones, para las cuales pueden no ser suficientes las medidas de seguridad ya adoptadas y probadas a conciencia en otros tipos de sistemas.

La peculiaridad de las redes de comunicaciones dentro de una subestación viene marcada por los siguientes postulados:

- Las redes LAN de la subestación están conectadas (por norma general) a la red privada de la compañía eléctrica. Es por ello que están estrictamente aisladas de internet. La inclusión de uno o varios enlaces con internet abre las posibilidades de explotación y mantenimiento de la instalación pero, de esta manera, la red queda abierta a usuarios no deseados.
- En el caso de que alguien pudiese causar un daño directo sobre los equipos evitando las medidas físicas de seguridad y accediendo a la subestación, un ataque directo sobre el equipamiento será mucho más probable que un ciberataque.

El objetivo principal de este capítulo del documento, el 8, es estudiar las técnicas de seguridad de la información para la operación de sistemas secundarios en subestaciones basadas en IEC 61850 y decidir las soluciones más adecuadas, con el objetivo de minimizar riesgos. Para ello, el documento E3 lista y describe los ciberataques más probables, los requerimientos de seguridad mínimos y el comportamiento deseado de los equipos frente a ataques. Por último, se incluyen también las soluciones que pueden adoptarse y su relación con cada tipo de comunicación. Como referencia de todo este análisis, el documento parte del estándar IEC 62351.

Entre las ciberamenazas más probables se encuentran la denegación de servicio, el ataque *man-in-the-middle*, la monitorización, la carga de CIDs no deseados y el código malicioso. Cualquiera de estos ataques genera, en mayor o menor medida, la pérdida de los siguientes requerimientos en el sistema: confidencialidad, integridad, disponibilidad, no repudio y autenticación.

El capítulo termina sugiriendo algunos métodos de seguridad que fortalecen al sistema, como el cifrado de la información, el empleo de firmas digitales, la autenticación MMS, la realización de auditorías de sistema, el control de accesos remotos y la utilización de antivirus y cortafuegos. La carga de CIDs no deseados puede ser evitada empleando correctamente los modos de carga y activación comentada en el apartado 5 de este mismo documento.

8 Bus de proceso

La norma IEC 61850 define un total de diez interfaces lógicas que indican como se relacionan, de manera conceptual e independiente de los sistemas de comunicación reales, los niveles de subestación, posición y proceso (Figura 6).

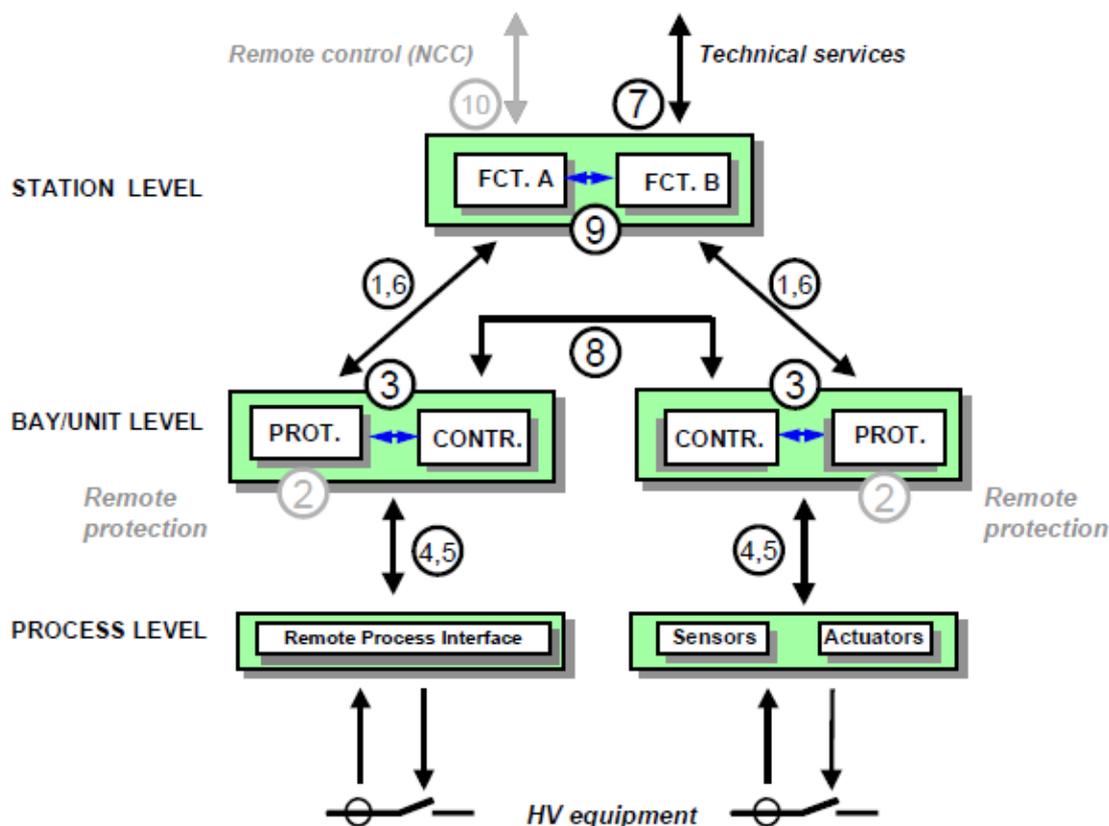


Figura 6. Interfaces de un sistema de automatización de subestación

Estas interfaces son las siguientes:

- **Interfaz 1:** intercambio de datos de protección entre los niveles de posición y subestación.
- **Interfaz 2:** intercambio de datos de protección entre los niveles de posición y protección remota (fuera del alcance de la norma).
- **Interfaz 3:** intercambio de datos en el nivel de posición.
- **Interfaz 4:** intercambio de información instantánea de los transformadores de tensión y corriente entre los niveles de proceso y posición.
- **Interfaz 5:** intercambio de datos de control entre los niveles de proceso y posición.
- **Interfaz 6:** intercambio de datos de control entre los niveles de posición y subestación.
- **Interfaz 7:** intercambio de datos para telegestión.

	Documento:	Grupo E3	Versión:	1A
	Módulo:	Panorámica de soluciones reales	Autor:	SET
	Referencia:	M4.1	Fecha:	4/12/17

- **Interfaz 8:** intercambio directo de datos entre posiciones especialmente en el caso de funciones rápidas como enclavamientos.
- **Interfaz 9:** intercambio de datos en el nivel de posición.
- **Interfaz 10:** intercambio de datos de control entre la subestación y el centro de control remoto (fuera del alcance de la norma).

Las funciones de nivel de proceso, tal y como se definen en la norma IEC 61850-2, se corresponden con las interfaces lógicas 4 y 5. El mapeo especificado por el estándar establece el protocolo GOOSE para la interfaz 5, mientras que a la interfaz 4 le corresponde el protocolo SV.

Por su parte, un bus de proceso es una red dedicada a las comunicaciones relativas a las funciones de nivel de proceso o campo, así como aquellos casos encuadrados en las interfaces 3 y 8. Una consecuencia inmediata de esto es que un bus de proceso abarca IEDs de nivel 0 y 1, excluyendo los de nivel 2 y superiores. La existencia de este bus no es obligatoria en una instalación, aunque en caso de que se incluya, todos los IEDs de nivel 1 estarán asignados, por lo general, tanto al bus de proceso como al de subestación. Los IEDs de nivel 0 se asignarán típicamente al bus de proceso, por lo que la supervisión y las funciones de control llevadas a cabo por los IEDs de nivel 2 sobre los de nivel 0 se realizarán a través de IEDs de nivel 1, que actúan como un proxy.

La principal razón para implementar un bus de proceso es asegurar el rendimiento (especialmente en términos de latencia) de las interfaces lógicas 4, 5 y 8, de manera que se prevenga que el tráfico de datos en estas interfaces (con cierta criticidad) comparta bus con el tráfico cliente/servidor y se provean recursos (hardware y/o software) específicos para este tráfico crítico, optimizando así la latencia y fiabilidad.

Así pues, el principal reto al que se enfrentan las funciones de nivel de proceso es la disponibilidad. La naturaleza de estas funciones implica que una red de comunicaciones con bajo rendimiento puede tener las mismas consecuencias que el fallo total de algún componente.

El capítulo al respecto de la especificación E3, el 10, está redactado como un estudio de las necesidades y retos que plantea un despliegue completo del bus de proceso. A lo largo de los siguientes puntos se resumen sus planteamientos principales.

8.1 Fiabilidad

La introducción de comunicaciones basadas en IEC 61850 puede suponer una reducción potencial de la fiabilidad, por el mero hecho de sustituir una red de cable de cobre convencional para el transporte de señales por equipos intermedios que están sujetos a fallos. Esto provoca que, donde antes había comunicaciones convencionales basadas en cobre entre origen y destino, ahora haya un mayor número de equipos intermedios, como los switches o los IEDs de nivel 0. Este problema puede ser paliado en cierta medida mediante la utilización

	Documento:	Grupo E3	Versión:	1A
	Módulo:	Panorámica de soluciones reales	Autor:	SET
	Referencia:	M4.1	Fecha:	4/12/17

de equipos de diseño y fabricación robustos y mediante redundancia de equipos y componentes. Esta redundancia no tiene que ser obligatoria a todos los niveles de la instalación pero sí en aquellos sistemas y procesos que sean más críticos.

8.1.1 Redundancia de red y de IEDs de nivel 0

El fallo de un IED de nivel 0 puede provocar, dependiendo de las funciones realizadas, los siguientes tipos de interrupción:

- Incapacidad para operar elementos de la red y para comprobar su estado.
- Incapacidad para procesar medidas analógicas, lo que puede impedir que uno o varios equipos de protección no despejen correctamente una falta.

Aunque doblar el número de IEDs de nivel 0 es una manera de mejorar la fiabilidad del sistema, el documento E3 señala una serie de consideraciones a tener en cuenta:

- Las órdenes deberán enviarse a los dos IEDs existentes.
- Un IED que reciba información de tipo SV de cada dispositivo de nivel 0 deberá descartar una de las medidas (por norma general la más antigua) o comprobar la igualdad de ambas medidas. En caso de que éstas no sean iguales se producirá una excepción.
- Un IED recibiendo señalización de estado deberá considerar todas las señales como si llegasen del mismo IED de nivel 0, es decir, la señal más reciente es la válida.

Por otro lado no es factible, por su alto coste económico, establecer una redundancia física total en toda la subestación. Por ello, se emplean protocolos de capa de enlace como PRP (*Parallel Redundant Protocol*) y HSR (*High-availability Seamless Ring*) que permiten manejar la redundancia de red en el segundo nivel de la pila OSI, liberando a capas superiores de estas tareas. La redundancia en este caso consiste en enviar las tramas de información de manera múltiple por rutas independientes, de manera que si una cae pueda haber otros caminos de transmisión.

8.2 Rendimiento

La velocidad de los mensajes es crítica en las funciones de nivel de proceso y tanto el protocolo GOOSE como el SV han sido diseñados con este requerimiento. Para estudiar el rendimiento de este nivel de la instalación se discuten dos conceptos interrelacionados: el tiempo de transferencia y la elección entre mensajes de tipo unicast y multicast.

El tiempo de transferencia se define en la norma IEC 61850-5 como el tiempo requerido para la transmisión completa de un mensaje incluyendo el procesamiento necesario en ambos extremos. Esta definición implica tres conceptos:

- Tiempo de procesado en el IED origen.
- Tiempo de procesado en el IED destino.

- Tiempo de transferencia a través de la red.

Los dos primeros tiempos son independientes de la naturaleza y del estado de la red. Por otro lado, asumiendo que cada trama de información debe atravesar N switches (lo que implica N+1 saltos) entre emisor y receptor, el tiempo de transferencia a través de la red (Figura 7) será la suma de:

- Tiempo de latencia (procesado) de todos los switches.
- Tiempo de transmisión de la trama (tamaño de la trama entre velocidad de transmisión) entre dos switches multiplicado por el número de saltos.

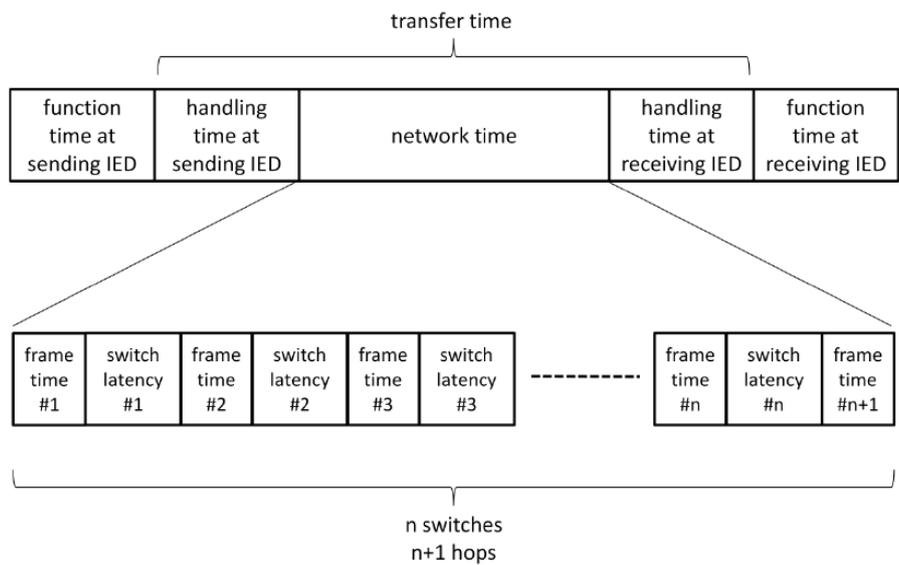


Figura 7. Esquema del tiempo de transferencia de un mensaje

De los tres tiempos principales que intervienen en la transferencia de un mensaje en el bus de proceso, los correspondientes a los IED origen y destino dependen del diseño hardware y software y de la carga de trabajo de dicho software en un momento particular. Este tiempo de procesado es casi imposible de medir, aunque puede estimarse.

Para evitar unos tiempos de procesado excesivos, los IEDs deben disponer de una correcta combinación de memoria, potencia de CPU, tarjeta de red, drivers de comunicación, configuraciones, etc. Por ejemplo, el uso de tarjetas de red (NIC, *Network Interface Card*) dedicadas para las funciones de nivel de proceso minimiza el riesgo de conexión en las propias tarjetas.

El tamaño de trama, que determinará el tiempo de transferencia a través de la red, está determinado por el tamaño de APDU, el cual depende de las necesidades de la funcionalidad. Estableciendo la tasa de bit en las tarjetas de red, hay dos maneras de reducir el tiempo de transferencia: escoger una topología adecuada para reducir el número de saltos y/o reducir la latencia de los switches.

En el primer caso, se requiere un estudio de la red de manera que pueda reducirse la necesidad de saltos entre equipos. En el segundo, para reducir la latencia de los switches puede, o bien mejorarse el rendimiento de la circuitería interna, o bien reducir la carga de información de cada switch. Sin embargo, este tiempo de latencia (en condiciones normales) no es muy problemático, ya que la mayoría de equipos comerciales trabajan con latencias del orden de microsegundos.

8.2.1 Mensajes unicast y multicast

Como se ha visto anteriormente, los protocolos que intervienen en el bus de proceso son el protocolo GOOSE (multicast) y el protocolo SV (unicast o multicast). Con el uso de uno u otro tipo de mensajería se generan las siguientes alternativas (Figura 8):

- **Tráfico multicast:** la trama llega a todos los IEDs (excepto al emisor).
- **Tráfico multicast selectivo:** la trama llega a un grupo de IEDs. El grupo se genera por segmentación de la LAN de manera hardware o software (VLAN, filtrado multicast, etc.).
- **Tráfico unicast:** la trama es enviada a un único IED. Esto se consigue mediante conexiones físicas punto a punto o mediante direccionamiento unicast.

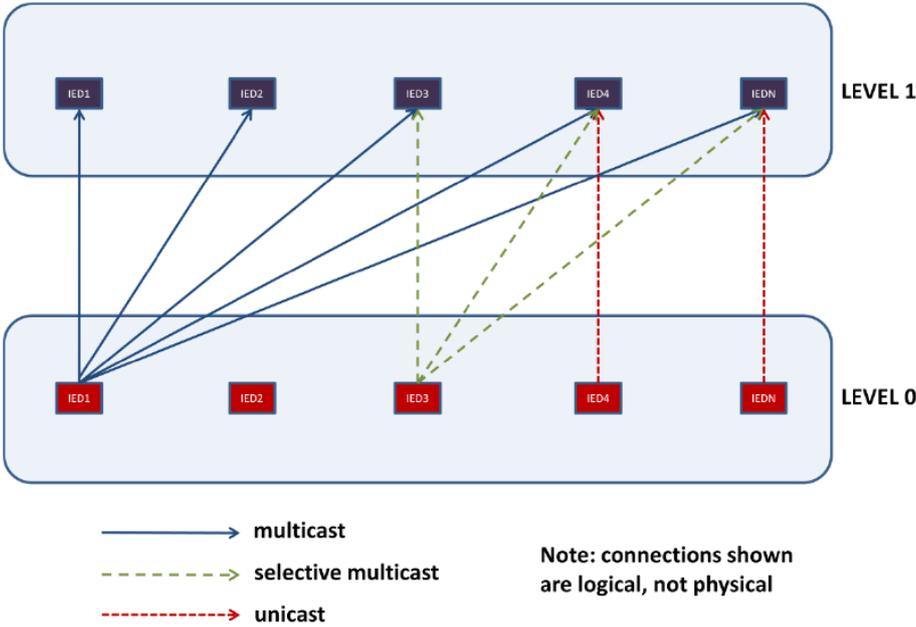


Figura 8. Alternativas multicast y unicast

La principal desventaja del tráfico unicast es que debe enviarse una copia de la trama a cada IED que se quiera hacer llegar la información congestionando el enlace IED-switch de información redundante, por lo que no es una buena elección en el caso de aplicaciones punto-multipunto. El tráfico multicast resuelve este problema, pero como desventaja se tiene que algunos IEDs pueden recibir información que no necesitan. Esto implica un aumento del

	Documento:	Grupo E3	Versión:	1A
	Módulo:	Panorámica de soluciones reales	Autor:	SET
	Referencia:	M4.1	Fecha:	4/12/17

tiempo de procesado de los IEDs, que tienen que comprobar cada mensaje que les llega y descartarlo si no va dirigido a ellos.

8.3 Mapeo SV de funciones de nivel de proceso

Como se había comentado al inicio de este apartado, la interfaz lógica 4 se mapea de acuerdo a la norma IEC 61850-9, de la cual el documento E3 sólo considera la transmisión de SV sobre Ethernet (IEC 61850-9-2) como protocolo a emplear en esta interfaz.

El propósito del protocolo SV es la transmisión de muestras de una magnitud continua y variante entre IEDs. El equipo que envía las muestras se denomina IED fuente (u origen) y el que las recibe, IED destino. El IED fuente puede ser un dispositivo que dispone de una interfaz con el mundo físico, con la capacidad de muestrear una o varias magnitudes y que puede disponer, o no, de un procesado adicional. Este equipo envía un flujo de muestras hasta el IED destino. Este último llevará a cabo alguno de los siguientes propósitos con la información recibida:

- Tomar una decisión (equipo de protección).
- Almacenar la información con el objetivo de resumirla o integrarla (equipos de medida).
- Reenviar la información, con la posibilidad de hacerlo de forma resumida o integrada, a los niveles superiores del sistema de telecontrol por medios como el servicio de Report IEC 61850.

Los requerimientos para la transmisión SV son una alta fiabilidad y un elevado rendimiento más un concepto adicional (tiempo de coherencia) específico de este protocolo. El tiempo de coherencia asegura que un IED destino siempre conoce cuando las muestras, que se reciben de diferentes fuentes y que llegan de manera simultánea (con un cierto margen de error), pueden estar correladas (por ejemplo para el cálculo de una impedancia). En principio, la resolución de algunos protocolos válidos para poder correlar eventos de control (como SNTP) no es suficientemente elevada para garantizar el tiempo de coherencia exigido por las aplicaciones SV. Por ello, el documento E3 indica cuatro métodos para conseguir un tiempo de coherencia aceptable:

- Muestreo síncrono de la fuente.
- Asumir un retardo limitado.
- Retardo fijo.
- Muestreo sincronizado mediante un reloj maestro.

	Documento:	Grupo E3	Versión:	1A
	Módulo:	Panorámica de soluciones reales	Autor:	SET
	Referencia:	M4.1	Fecha:	4/12/17

8.4 Alternativas de diseño del bus de proceso

Hasta ahora se han visto los requerimientos más importantes que debe cumplir el bus de proceso. Sin embargo, en la práctica no va a haber una única topología o configuración que sea la mejor solución para todos los requerimientos al mismo tiempo. Es por ello que la elección entre unas u otras configuraciones deberá estar basada en un análisis de las funcionalidades de nivel de proceso a desarrollar. Además de plantearse la idoneidad, según los casos, de disponer de bus físico de proceso o uno virtual sobre el bus de subestación, el documento E3 recoge las siguientes alternativas de diseño:

- **Bus de proceso conmutado vs bus de proceso punto a punto:** el conmutado emplea switches Ethernet, mientras que el punto a punto emplea conexiones dedicadas entre equipos.
- **Bus de proceso segmentado vs bus de proceso no segmentado:** en el caso de un bus conmutado, la segmentación consiste en dividirlo en múltiples dominios multicast (multicast selectivo). En el bus no segmentado todos los equipos reciben todos los mensajes multicast.
- **Bus de proceso redundante vs bus de proceso no redundante:** la redundancia de todo el sistema relacionado puede ser inviable, por lo que podrá haber determinadas situaciones en que puedan relajarse los requerimientos.

8.5 Ejemplos de arquitectura para el bus de proceso

Con el propósito de clarificar los conceptos expuestos, el documento E3 recoge una serie de escenarios como ejemplo para la implantación de un bus de proceso en distintas subestaciones.

8.5.1 Bus virtual

El primero de estos escenarios es un bus virtual de proceso. Las funciones de este nivel se mapean sobre una LAN virtual que se define sobre la misma red física del bus de subestación. Tanto los IEDs de nivel 1 como los de nivel 0 están conectados a través de uno o dos puertos Ethernet, dependiendo del nivel de redundancia del bus de subestación.

Esta solución es la arquitectura más simple que se puede tener en una instalación en la que el bus de estación ya está presente. Proporciona un alto nivel de fiabilidad, aunque el rendimiento puede presentar problemas. Por consiguiente, esta solución es particularmente apropiada cuando no hay procesos mapeados en el protocolo SV, es decir, los IEDs de nivel 0 sólo se emplean para las interfaces lógicas 3 y 5 (indicación de estados, ejecución de órdenes, etc.).

La Figura 9 muestra un esquema de un bus virtual implementado como una VLAN existente dentro de un anillo RSTP. La VLAN de subestación interconecta los IEDs de nivel 1 y 2, mientras

que la VLAN de proceso hace lo propio con los equipos de nivel 1 y 0. De este modo, los enlaces de nivel 1 pertenecen a ambas VLAN al mismo tiempo. Para garantizar una buena calidad de servicio, el documento recomienda hacer uso de prioridades en las VLANs.

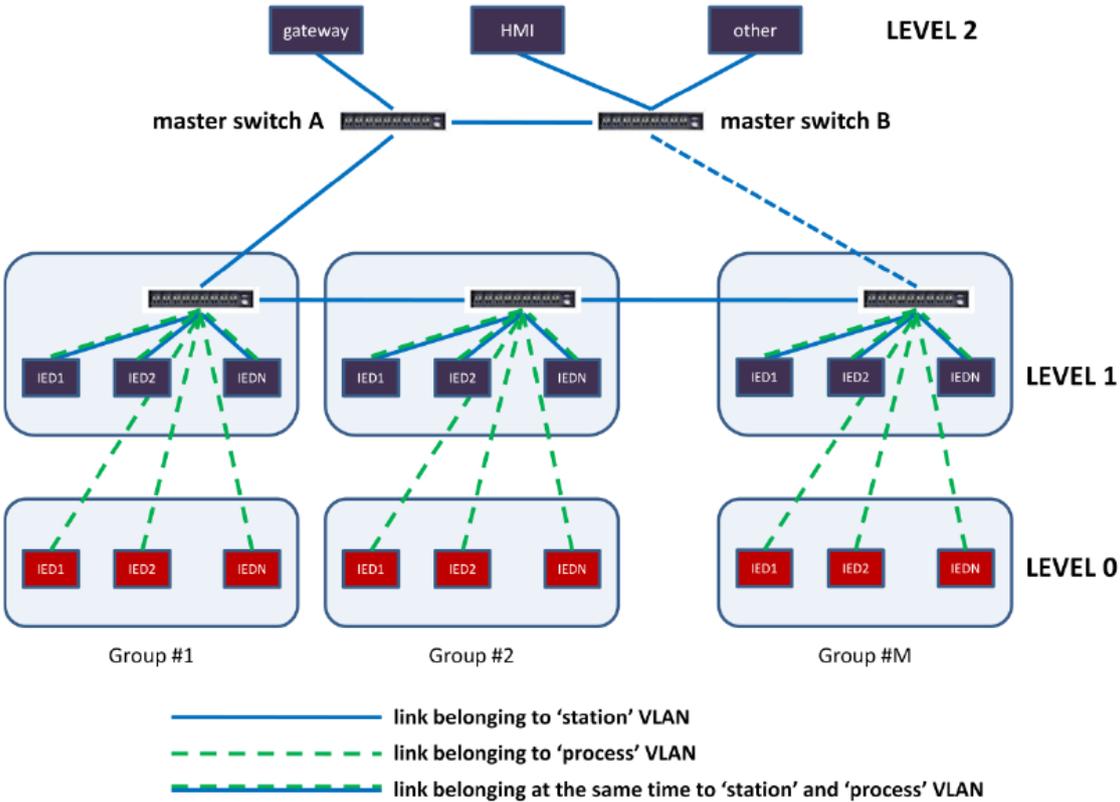
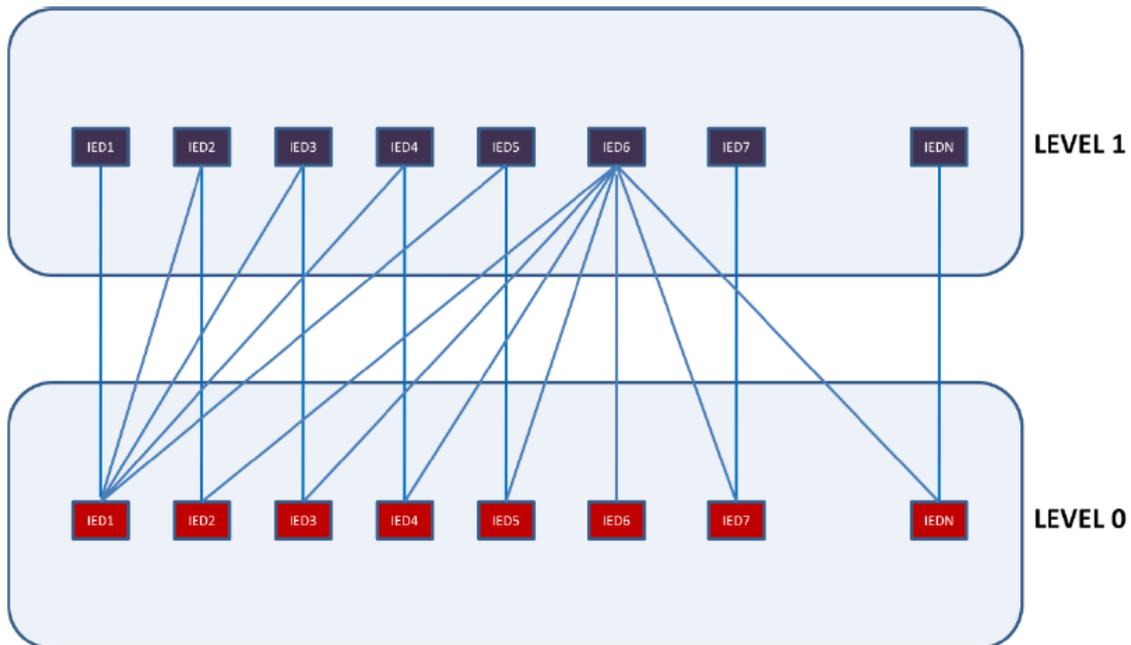


Figura 9. Bus de proceso virtual

8.5.2 Conexiones no redundantes punto a punto con IEDs de nivel 0 no redundantes

Esta solución, sin switches LAN, ofrece un alto grado de rendimiento a cambio de una fiabilidad restringida. Esta topología (Figura 10) no presenta un bus de proceso como tal sino un número determinado de conexiones físicas punto a punto que unen los IEDs de nivel 0 con los de nivel 1. En este caso un IED de nivel 0 puede soportar múltiples conexiones, lo que implicará que el equipo deberá disponer de un puerto Ethernet por cada una de ellas.

Esta arquitectura se define aceptando que cada conexión física es un elemento que puede fallar, por lo que no es necesario implementar un protocolo redundante en los IEDs.



Note: connections shown are physical

Figura 10. Conexiones no redundantes punto a punto con IEDs de nivel 0 no redundantes

8.5.3 Bus de proceso con IEDs de nivel 0 redundantes y redundancia de red

El último escenario planteado es superior a los dos anteriores en términos de rendimiento y fiabilidad, sin embargo, su coste es también superior.

A diferencia de los ejemplos vistos hasta ahora, esta topología define un bus físico redundante, donde los IEDs de nivel 0 están duplicados y cada uno dispone de dos conectores Ethernet. La redundancia de red se consigue por medio de una estrella doble PRP, un anillo doble PRP+RSTP o el protocolo HSR. Sea cual sea el que se utilice, el protocolo deberá ser implementado tanto por los IEDs de nivel 0 como por los IEDs de nivel 1.

La Figura 11 recoge un ejemplo de esta arquitectura, basado en una topología de estrella doble PRP:

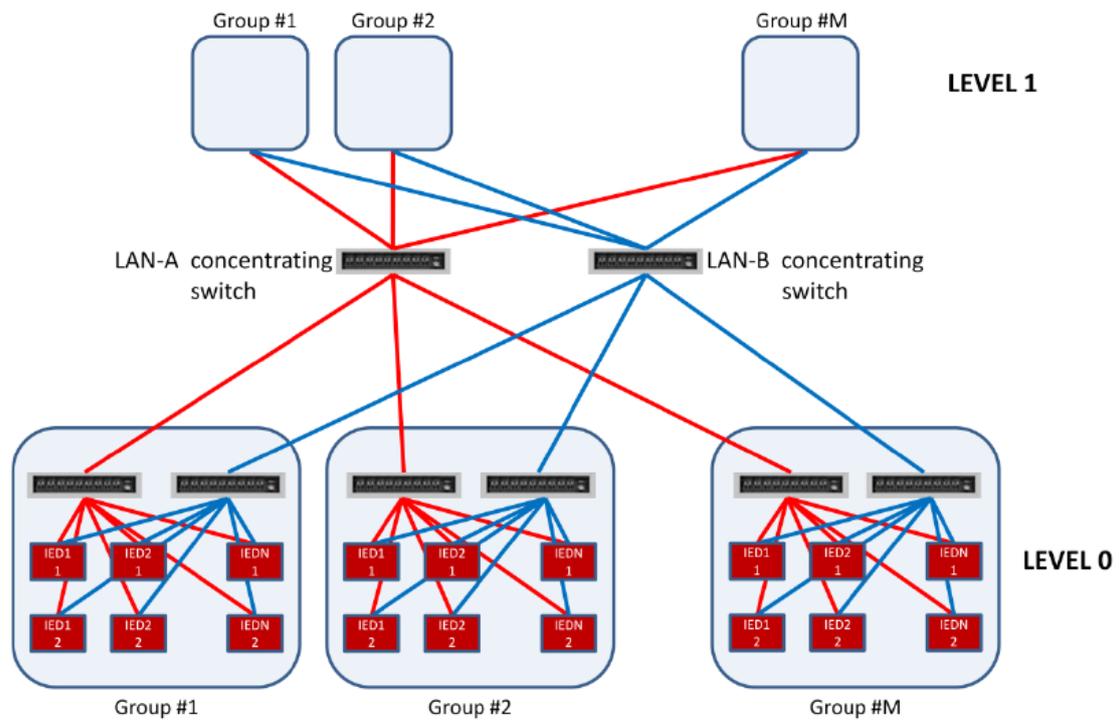


Figura 11. Bus de proceso basado en una topología de doble estrella PRP

	Documento:	Grupo E3	Versión:	1A
	Módulo:	Panorámica de soluciones reales	Autor:	SET
	Referencia:	M4.1	Fecha:	4/12/17

9 Conclusión

Ante la falta de guía para la aplicación de la norma IEC 61850, el grupo de trabajo *Spanish Electricity Companies for Studies on IEC 61850* (abreviado como grupo E3) aunó fuerzas con el objetivo principal de suplir esa carencia y obtener un beneficio tangible, tanto técnico como económico, gracias a la implementación de esta nueva tecnología en la operación de subestaciones eléctricas.

El resultado de esta colaboración es el documento *Minimum common specification for SAS equipment in accordance with the IEC 61850 standard*. Recoge las características mínimas que deben cumplir los equipos de control y protección homologados para su despliegue en las instalaciones basadas en IEC 61850 de las compañías eléctricas del grupo E3.

Los primeros apartados del documento E3 indican un conjunto de principios (documentos referenciados, topologías estándar de subestaciones y tipos de IED existentes) que se emplearán a lo largo del mismo, así como las funcionalidades a nivel eléctrico que cubren los requerimientos de control y protección de las compañías eléctricas. Estas funcionalidades se clasifican según su nivel de tensión (parques de media tensión, parques de alta tensión y transformadores) y cada una de estas divisiones dispondrá de una nueva clasificación en términos de operación y seguridad en seis grupos de criticidades diferentes (ordenadas de menor a mayor grado de importancia): control y acceso remotos, sistemas de protección, enclavamientos, medidas, circuitos de disparo del interruptor y sampled values.

A continuación se definen las topologías más comunes para el bus de subestación: topología en collar de anillos o switch maestro redundante y topología en doble estrella redundante. Para los casos de subestaciones de la red de distribución, la arquitectura a emplear más interesante es la de collar de anillos debido principalmente a que puede cubrir las necesidades técnicas de este tipo de instalaciones a un coste adecuado. La topología en doble estrella redundante se emplea en el caso de subestaciones con una estructura de interruptor y medio a doble barra a causa de la criticidad de las funcionalidades de este tipo de instalaciones.

El documento establece una serie de reglas básicas de configuración de IEDs para facilitar su integración, testeo, puesta en marcha y mantenimiento en las instalaciones. Mediante un único fichero SCL con extensión .CID se tendrá que poder configurar totalmente un IED. Dicho fichero podrá tener una parte basada en el estándar IEC 61850 y una parte propietaria, aunque el objetivo del grupo E3 es que esta última termine desapareciendo. El grupo E3 recomienda la aplicación de DOs de tipo *InRef* en funciones de control y el uso de nodos de propósito general para la configuración de lógicas de control y clientes GOOSE.

La configuración de cualquier tipo de IED puede ser de dos tipos: modificación en caliente (se cambian parámetros y no se requiere un reinicio del equipo) o modificación en frío (afectan a la estructura del CID y requieren un reinicio). El documento E3 exige a los equipos que quieran cumplir sus especificaciones la posibilidad de carga y descarga de ficheros de configuración

	Documento:	Grupo E3	Versión:	1A
	Módulo:	Panorámica de soluciones reales	Autor:	SET
	Referencia:	M4.1	Fecha:	4/12/17

mediante FTP, servicios ACSI o memorias USB. Esta carga podrá ser controlada de manera que el equipo permita siempre la subida de ficheros, lo haga de manera temporal o impida dicha carga.

El CID contendrá también el direccionamiento IP estático del IED en cuestión, asociada esta dirección con la posición y sus funciones de acuerdo a los criterios internos de cada compañía para sus instalaciones. La validación de este fichero podrá ser automática o controlada, de manera que tenga, o no tenga, que ser verificado (por una herramienta de gestión de la instalación por ejemplo) antes de iniciar el proceso de reconfiguración del IED.

El apartado de servicios de comunicación del documento E3 especifica los requerimientos mínimos que deben cumplir los servicios GOOSE, SV y MMS. En el caso de la comunicación GOOSE, los equipos publicadores deberán ser capaces de servir información al menos hasta a 8 equipos diferentes y, a su vez, deberán poder suscribirse por lo menos a 64 publicadores distintos. Los GoCB necesarios quedarán configurados completamente en el CID y la validación y suscripción quedarán configurados por la dirección MAC destino de los mensajes y otros parámetros adicionales. El contenido de este capítulo para el protocolo SV consiste en una leve modificación de la norma IEC 61850-9-2, mientras que el apartado correspondiente para servicios MMS recoge la capacidad que debe tener un equipo IED en cuanto a servicio de reporting (tanto número de clientes a los que servir como capacidad de señalización), modelo de control y funcionamiento y configuración de IEDs trabajando en modo de pruebas.

Para finalizar se resumen las especificaciones del grupo E3 en cuanto al bus de proceso, centrándose sobre todo en el servicio SV. Un bus de proceso es una red dedicada a las comunicaciones pertenecientes a las funciones de nivel de proceso, definidas según la norma IEC 61850. Por la naturaleza de dichas funciones, los principales requerimientos de un bus de proceso son la fiabilidad y el rendimiento. Para mejorar la fiabilidad de la red puede establecerse un cierto grado de redundancia (sobre todo en los puntos más críticos), mientras que para mejorar el rendimiento se puede intentar reducir los tiempos de transferencia de la información y establecer distintas opciones de mensajería (unicast, multicast o multicast selectivo). A la vista de los requerimientos, el documento E3 expone una serie de alternativas de diseño del bus de proceso y tres escenarios de ejemplo que implementan estas alternativas.



Edificio CIRCE - Campus Río Ebro
Universidad de Zaragoza - Mariano Esquillor Gómez, 15
50018 Zaragoza
Tel.: 976 761 863 Fax: 976 732 078
e-mail: circe@unizar.es