

Sistema de telecomunicación en un entorno eléctrico

Felipe Mata Marcos, Austreberto Morales Sandoval, Antonio Aguilar Morales

F. Mata Marcos (felipe.mata@estudiante.uam.es), A. Aguilar Morales (antonio.aguilar@uam.es).
Grupo de Sistemas de Radiocomunicaciones y Comunicaciones Ópticas, Escuela politécnica superior.
Universidad Autónoma de Madrid. Ciudad Universitaria de Cantoblanco.

A. Morales Sandoval (ams@iberinco.com), Departamento de Operaciones Internacionales de Red,
Iberdrola Ingeniería y Construcción, S.A.U. (Iberinco).

Abstract — En la actualidad los sistemas de telecomunicaciones están presentes en muchos aspectos de la sociedad actual, y no podía ser menos en plantas de generación de energía eléctrica. Este entorno, exige a los equipos de comunicaciones poseer unas características de fiabilidad que posiblemente no son tan trascendentes en otras aplicaciones no eléctricas. Es decir, un fallo del sistema de telecomunicaciones que da soporte al sistema de protecciones y control de las líneas eléctricas, puede dejar sin servicio eléctrico a zonas o secciones importantes de la red eléctrica de un país. Por ello, bajo un caso particular de aplicación en una parte de la red eléctrica de Venezuela, proponemos el diseño e implantación de un sistema de telecomunicaciones utilizando tecnología SDH y como medio de comunicación cable de fibra óptica monomodo. Los nodos SDH estarán ubicados en las subestaciones eléctricas y el cable de fibra óptica se instalará en la infraestructura de la línea eléctrica (hilo de guarda OPGW).

I. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de telecomunicación juegan un papel muy importante en el entorno eléctrico, ya que a través de éstos se transmiten las señales de telemando y telecontrol del sistema eléctrico, a centros de monitorización locales o remotos, comunicación de voz y datos entre subestaciones y la planta de generación eléctrica, señales de supervisión, alarmas, televigilancia, etc. Por ello, en el diseño, debe tenerse muy en cuenta, entre otros (tráfico, medio de interconexión...) el ambiente extremo al que estarán expuestos los equipos y componentes que forman el sistema a instalar (campos electromagnéticos, altas temperaturas, etc.), el cual puede producir fallos no deseados o la pérdida de la comunicación total, con los correspondientes perjuicios que puede provocar tanto a la empresa propietaria de las instalaciones como a los clientes a los que abastece de servicio eléctrico.

A. Objetivo general

CADAFE (Compañía Anónima De Administración y Fomento Eléctrico), empresa eléctrica venezolana, contrató el proyecto al que se hace referencia a Iberinco (Iberdrola Ingeniería y Construcción S.A.U.). El objetivo del proyecto consiste en la realización de todas las labores de ingeniería, instalación y puesta en servicio de un sistema de telecomunicación entre las subestaciones eléctricas del cliente en el estado de Falcón (Venezuela). La red consta de 9 subestaciones a comunicar. De estas 9 subestaciones, 5 son de nueva implantación, mientras que las 4 restantes se encuentran ya en funcionamiento, siendo necesaria la compatibilización del equipamiento a instalar con el ya instalado para su integración con el resto de la red propia del cliente.

B. Resultados generales

Se presenta una solución basada en la tecnología SDH (Synchronous Digital Hierarchy) a través de Equipos Electro/Ópticos en modalidad Cross-Connect y ADM (Add-Drop Multiplexer), utilizando cable de fibra óptica del tipo OPGW (Optical Ground Wire) para los enlaces de transmisión necesarios entre subestaciones. Dichos enlaces incluyen las señales de teleprotección asociadas, señales de voz entre subestaciones, datos e imágenes. El servicio de voz está soportado por centralitas telefónicas PABX (Private Automatic Branch eXchange) para comunicación entre subestaciones y un sistema de radio VHF (Very High Frequency) con conexión Half Duplex para comunicación en campo dentro del área perteneciente a cada subestación de forma que ayude al mantenimiento de la subestación.

II. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El proyecto parte de dos especificaciones propuestas por el cliente. Una propone una red basada en tecnología SDH, mientras que la otra lo hace basándose en la familia de protocolos TCP/IP. La primera tarea del proyecto ha consistido en analizar las dos tecnologías y elegir la más adecuada para esta aplicación y así configurar la red de telecomunicaciones. En éste análisis se ha tenido en cuenta no sólo el ya mencionado entorno agresivo en el que se encontrarán los equipos, sino que se ha de obtener beneficio por la realización del proyecto ya que quien lo acomete es una empresa de ingeniería.

Una vez decidida la tecnología y teniendo en cuenta que la ubicación geográfica de los elementos de la red está predefinida, el siguiente paso es definir la topología física de la red (conexiones punto a punto, topología en anillo, en estrella, o configuración mixta). Un esquema de la situación inicial de la red en la que se muestran las subestaciones que tendrán que estar interconectadas entre sí, además de las distancias entre ellas se muestra en la Figura 1. En ella están representados en color azul los nodos cuya subestación se va a construir y en rojo los nodos cuya subestación ya existe.

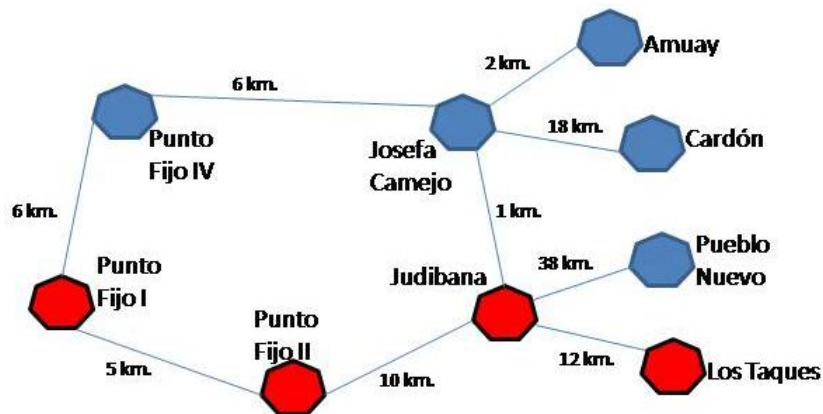


Figura 1. Esquema de la situación inicial de la red en la que se observan los nodos que la formarán y sus distancias.

En los nodos coloreados de rojo el sistema existente cuenta con una red SDH (STM-1 y STM-4) de última generación con tecnologías VCAT, LCAS y GFP operando sobre fibra óptica, compuesta por equipos marca ABB, NORTEL y MARCONI, teleprotecciones de marca SIEMENS y centrales telefónicas de las marcas PHILIPS y BLUECOM. Dado que los equipos existentes son de última generación, se considera conveniente que los equipos que se oferten sean compatibles con los existentes de forma que no se desaprovechen sus capacidades, siendo el caso idóneo que sean el mismo modelo del mismo fabricante.

A. Especificaciones Comunes

Las dos especificaciones del cliente contenían una parte común, referida a los sistemas y componentes que independientemente de la tecnología de transporte que se elija habrían de estar presentes en la solución propuesta. Estos son: Sistema de radio VHF con conexión Half Duplex; Teleprotecciones digitales asociadas a los enlaces de Fibra Óptica, capaces de transmitir órdenes de teleprotección directa, permisiva y bloqueo; Sistema de fibra óptica y accesorios formado por cable de fibra óptica OPGW y Dieléctrico del tipo G.652.D de 24 fibras con sus respectivos accesorios necesarios para su instalación en las líneas de transmisión a 115 kV (herrajes de tensión y de suspensión, amortiguadores, grapas bajantes, etc.); y Equipos de medición y pruebas para efectuar el mantenimiento de los enlaces y realizar diagnósticos completos de los equipos que integran el sistema de comunicaciones.

B. Especificación SDH

La red propuesta en esta especificación consta de un Sistema de Comunicación Electro/Ópticos SDH en modalidad Cross-Connect y ADM. Los equipos SDH actuarán como un sistema de transporte que podrá ser configurado como terminal de línea a 155 Mb/s STM-1, multiplexor ADD/DROP y Cross-Connect, con varias formas de protección, en enlaces lineales y conexiones en anillo, pudiendo ser actualizado de STM-1 a STM-4. Deberá poder ser usado en soluciones de red donde se encuentren sistemas plesiócronicos convencionales o sistemas síncronicos, así como los flujos de datos procedentes de LAN y de Internet, y contar con las tecnologías de última generación VCAT/LCAS y el protocolo GFP. Como Cross-Connect deberá poder manejar los niveles VC-12/3/4 con una capacidad mínima equivalente de 32x32 STM-1. Además de las características mencionadas anteriormente, el sistema deberá contar entre sus facilidades: técnica de multiplexación/demultiplexación simplificada; acceso directo a tributarios de más baja velocidad sin necesidad de multiplexar/demultiplexar la señal completa de alta velocidad; capacidad de administración y mantenimiento (OAM) y capacidad para integrarse a redes en anillo con interfaces de datos Ethernet 10/100 y V.11 para el transporte de flujos de datos (IP, ATM, etc.) vía la infraestructura SDH.

Aparte se solicita un sistema telefónico basado en centralitas PABX equipadas a nivel de software y hardware para manejar protocolos analógicos como enlace a 4 Hilos E&M con señalización de línea en sus diversos modos, o digitales como E1 con señalizaciones CAS y QSIG. Como características especiales se solicita: intercalación, que permite a los operadores de la consola de despacho introducirse en cualquier comunicación ya establecida; desconexión forzada, cuya función es liberar canales ocupados en cualquier parte de la Red Central del cliente cuando el operador de las consolas lo desee y section Dialing, que permite el sondeo de las troncales de manera remota.

C. Especificación IP

Esta especificación se basa en una red IP que interconecta las redes LAN, Ethernet/802.3, de cada subestación. Los enlaces de fibra óptica entre Subestaciones trabajarán a 1 Gbps y las conexiones entre los equipos dentro de cada subestación se realizan con pares de cobre de tipo UTP, categoría 6, a velocidades de 10/100 Mbps. El Conmutador Principal debe ser capaz de operar en la capa 3 de la torre de protocolos OSI y su función principal será la de interconectar a los conmutadores ubicados en cada una de las subestaciones vecinas. Otra función importante es permitir la conexión entre las distintas redes virtuales que se definan, para lo que se exigen capacidad para conmutar en la capa 3 los protocolos IP, manejo de criterios de control de calidad mediante el manejo de múltiples colas con prioridad para permitir el transporte de canales de voz y video, capacidad para manejar listas de acceso que permitan aislar el tráfico característico en algunas redes virtuales y manejo de protocolos de enrutamiento. Para cumplir con estas características se proponen Switch GigaEthernet capa 3 actualizable a 10

Gbps; Sistema de telefonía que se gestionará a través de un equipo de Inteligencia de Red que proporcionará los servicios de telefonía IP-SIP alojados en la red y Acoplador Óptico diseñado para insertar un mínimo de cuatro longitudes de onda en una misma fibra y separar las señales en otro extremo.

D. Comentarios generales

Un aspecto esencial a tener en cuenta en todos los equipos y sistemas suministrados para este proyecto es que van a ser instalados en subestaciones eléctricas de alta tensión y en plantas de generación, por lo que deben poseer características que los hagan resistentes a los efectos adversos de los campos electromagnéticos, debiendo cumplir con las más exigentes normativas sobre este aspecto. Por ello, se buscarán equipos que estén certificados para su uso en entornos de este tipo o que hayan sido utilizados sin problemas en base a la experiencia obtenida por la empresa en proyectos anteriores.

III. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS TÉCNICAS

A. Servicios de Telecomunicaciones

Los servicios de telecomunicaciones requeridos actualmente por las empresas eléctricas, como es el caso del cliente, están definidos básicamente en:

- **Voz** a través de la telefonía fija y móvil para el control y mantenimiento de las subestaciones y centrales eléctricas. De manera genérica se puede decir que el número de abonados que demandan este servicio en una subestación común es reducido (va desde 2 abonados hasta 25 aproximadamente) por lo que el tráfico generado es mínimo. Sin embargo, es importante tener una red de conmutación telefónica privada para la interconexión de las distintas subestaciones y centros de control de las mismas, que asimismo se interconectará a la red pública de telefonía (CANTV Venezolana), lo que obliga a los equipos de telefonía (centrales telefónicas PABX o nodos de conmutación) a tener interfaces para la interconexión a la red pública y a la red privada.
- **Datos:** la red de datos es requerida para la transmisión de información del sistema de supervisión y control de las subestaciones a los centros de control local, regional y nacional. Del mismo modo, en paralelo, es requerida una red de datos para el acceso al sistema informático general o administrativo de la misma empresa. Por último, cabe señalar la necesidad de enlaces punto a punto para la comunicación de los sistemas de teleprotección en cada línea eléctrica.
- **Imagen:** este servicio suele utilizarse para televigilancia de manera local para posteriormente enviar la información a algún centro de control local, regional o nacional.

Con base a este análisis preliminar de los servicios de comunicaciones que se requieren en un entorno eléctrico, se puede decir que la cantidad de tráfico demandado por subestación puede resolverse asignando como mínimo un ancho de banda de 2 Mbps por servicio, es decir un total de 6 Mbps. Por consiguiente mediante un sistema de multiplexación TDM, con enlaces de 8 Mbps ó 34 Mbps podría ser resuelta la demanda de estos servicios.

B. Tecnología SDH

Las empresas eléctricas desde hace más de 15 años han resuelto esta necesidad a través de la implantación de sistemas o redes de telecomunicación privadas basadas en multiplexores (TDM) con tecnología SDH. Con anterioridad, se ha utilizado la tecnología PDH con la que tan sólo se podía tener una capacidad máxima de 140 Mbps.

Para este proyecto se ha optado por la tecnología SDH en su capacidad mínima STM-1, ya que con ella puede resolverse la demanda de tráfico al configurarse enlaces con una capacidad de 155 Mbps. Cabe mencionar que SDH viene utilizándose en el entorno eléctrico con óptimos resultados a tal grado que además de cubrir las necesidades de servicios de telecomunicaciones propias de la compañía eléctrica también ha permitido compartir y suministrar servicios de telecomunicaciones a terceros, aunque esto no suceda en el caso que se expone.

C. Tecnología IP

La tecnología IP puede llegar a operar hasta 10 Gbps por lo que ha venido utilizándose principalmente en entornos de oficina o comercial, donde actualmente se transmiten voz, datos e imagen con satisfactorios resultados dado que el nivel de calidad exigido puede decirse que es inferior al de un entorno eléctrico, donde la comunicación en tiempo real, flexibilidad y disponibilidad de los servicios es de vital importancia para la operación y mantenimiento de la red eléctrica.

Los Switchs o conmutadores IP como elementos de una red de transporte apenas han sido implantados en un entorno eléctrico en comparación con los nodos o multiplexores SDH, lo cual puede deberse principalmente a los siguientes aspectos:

- La tecnología aún está en fase de desarrollo para mejorar los problemas de calidad y disponibilidad, sobre todo en entornos de empresas eléctricas donde estos factores son de vital importancia para la seguridad y mantenimiento de la red eléctrica.
- Los Switchs IP normalmente son fabricados para condiciones de trabajo de oficina y en una subestación siempre pueden surgir situaciones en los que tengan que trabajar a temperaturas extremas; donde pueden existir cambios climáticos, atmosféricos y de presión. Bien es cierto que estos equipos están siendo mejorados y cada vez hay más

fabricantes, como es el caso de [RuggedCom](#), cuya oferta está compuesta por equipos que cumplen e incluso mejoran las exigencias recogidas en reconocidos estándares industriales, como por ejemplo IEC 61850-3, IEEE 1613, NEMA TS 2, pero lo cierto es que se necesita un período de adaptación para que estos equipos den el salto desde el entorno de oficina al entorno eléctrico.

- En un entorno eléctrico no se requiere de un gran ancho de banda para cubrir los servicios de telecomunicación excepto cuando la empresa proporciona servicios a terceros. Como en el proyecto descrito no se va a prestar este servicio, los enlaces a 1Gbps serían desaprovechados.
- La disponibilidad del servicio de voz es de vital importancia en un entorno eléctrico, por consiguiente si por cualquier razón sufre alguna avería alguno de los nodos IP y/o servidor SIP de telefonía, se perdería la comunicación de telefonía fija y la comunicación de datos de este grupo de subestaciones, resultando en fatales consecuencias para el servicio eléctrico a los clientes y el control del sistema completo.

D. Ventajas y Desventajas de ambas tecnologías

La tendencia futura será utilizar conmutadores IP en lugar de multiplexores SDH y seguramente los costes se reduzcan considerablemente, no obstante actualmente estos costes aún no resultan ser del todo competitivos. Desde el punto de vista técnico, la tecnología SDH se diseñó inicialmente para redes troncales, por lo que posee mecanismos de protección y restauración de red (disponibilidad y fiabilidad robustos basados en un alto nivel de redundancia tanto dentro como fuera de los equipos). En especial, las redes SDH proporcionan una disponibilidad del 99,999%, que equivale a una caída de la red de 5 minutos por año.

En cambio, la tecnología IP se diseñó principalmente para redes de empresa o comerciales donde los requisitos de disponibilidad no son tan altos. Es por esto que aún existen diversos obstáculos para la adopción de la tecnología IP, siendo el principal de ellos el relacionado con la fiabilidad y disponibilidad de red al menos de momento en el entorno eléctrico. En el entorno comercial o de oficina, esta evolución se dará antes ya que los posibles fallos de fiabilidad y disponibilidad serán mejor soportados que en un entorno eléctrico donde se pone en riesgo la supervisión y control de la red eléctrica.

La gran ventaja que tiene SDH es que en la actualidad existe una importante infraestructura desplegada tanto a nivel comercial como en el entorno eléctrico. Es verdad que los avances que se están produciendo últimamente en el campo de las redes ópticas de paquetes IP prevén un futuro muy distinto, pero se considera que para el entorno eléctrico aún se debe esperar un tiempo prudente hasta que esta tecnología termine de madurar.

Con base a lo antes expuesto y a la especificación IP proporcionada se detectan las siguientes ventajas y desventajas en una u otra tecnología:

- Los nodos o switches de la red IP deberán integrarse o interconectarse en un punto común con el resto de la red SDH existente a través de un router/gateway; por lo que se corre el riesgo de quedar aislada e incomunicada la red IP del resto de la red SDH en el caso de producirse una avería en el mismo equipo router/gateway.
- El acceso a las redes públicas y privadas de telefonía, depende de la interconexión con la central telefónica SOPHO iS3030, ubicada en el punto de interconexión con la red existente; si se produce cualquier incidencia los usuarios quedarían únicamente con comunicación interna pero sin acceso al exterior.
- La comunicación de voz por telefonía convencional a través de pequeñas centrales PABX, instaladas en cada subestación, permitirá operar con los protocolos E&M, QSIG y tener acceso directo a la red telefónica pública. Esto provoca que en la especificación IP no se soliciten estas facilidades, realizándose esta comunicación a través de la central telefónica PABX existente. Bajo esta configuración, toda la telefonía dependería de un servidor IP y de una red de datos, con lo cual se corre el riesgo de que si se produce alguna incidencia en cualquiera de estos dos elementos las subestaciones quedarían sin servicio telefónico.
- Existen en el mercado dos posibilidades de inversión para poder pasar una red IP con capacidad de 1 Gbps entre subestaciones a 10 Gbps con el mínimo de inversión: Los nodos IP pueden venir preparados con una plataforma para evolucionar de 1 Gbps a 10 Gbps pero este caso se cumple de momento sólo en equipos de gama “comercial” y no “industrial”. La otra opción es que los nodos IP pueden venir definidos para operar a 1 Gbps o 10 Gbps. El primero no trabaja en la capa 3, solo en la 2 y todavía no hay garantía de que se cumpla con la norma IEC 61850. El de 10 Gbps trabajaría en la capa 3 pero no viene preparado para trabajar en un entorno industrial o eléctrico por lo cual no se garantiza la inmunidad a campos electromagnéticos.
- Al utilizarse un acoplador óptico puede tenerse la desventaja de que es un elemento de red independiente del nodo IP (switch) por lo que requiere de un gestor independiente, incorporando filtros sintonizables de extracción e inserción, ecualizadores o elementos de compensación de dispersión cromática que finalmente son aspectos adicionales a la red que son susceptibles de sufrir averías. Sin embargo, en un sistema SDH el interfaz óptico viene integrado y por un lado facilita la gestión y se reduce el número de elementos de red susceptibles de averiarse.
- Los multiplexores por división en longitud de onda justifican su aplicación cuando la cantidad de fibras es realmente limitada o en su defecto existe una demanda de servicios de telecomunicación (fibra oscura y fibra iluminada) por usuarios tanto internos como externos (venta a terceros). Lo cual no es el caso de que se describe en este documento.

IV. SOLUCIÓN PROPUESTA

A. Red propuesta.

La solución que se propone, la cual se considera la más conveniente dadas las condiciones en las que se encuentra este proyecto, es la utilización de la tecnología SDH en base a lo expuesto en el análisis de las alternativas técnicas.

En la Figura 2 se esquematiza la topología lógica de conexión definitiva, una topología mixta, donde se encuentra un anillo con redundancia y enlaces punto a punto, mostrando las distancias entre nodos contiguos. La justificación de esta elección se debe a que las subestaciones que forman el anillo son las subestaciones más importantes del complejo, y además una de ellas está directamente conectada con el resto de la red del cliente, por lo que se le ha dado a estas subestaciones prioridad y un enlace redundante en anillo con la capacidad para recuperarse rápidamente ante caídas de la red u otro tipo de posibles fallos. En todos los enlaces tanto a nivel de topología en anillo como punto a punto se presenta una redundancia 1+1 para prevenir posibles fallos en el interfaz óptico o caídas de algún enlace de fibra óptica entre subestaciones.

Los equipos SDH propuestos actuarán como un sistema de transporte y podrán ser configurados como terminal de línea a 155 Mbps STM-1, multiplexor "ADD/DROP" y Cross-Connect, pudiendo manejar los niveles VC-12/3/4, con varias formas de protección, en enlaces lineales y conexiones en anillo. Para este caso particular, dado que la distancia máxima identificada entre nodos SDH es de 38 Km. aproximadamente, no es necesario utilizar repetidores en ningún enlace entre nodos SDH.

El equipo podrá ser actualizado al próximo nivel jerárquico, de STM-1 a STM-4 o a STM-16, cambiando los módulos apropiados (SFP's) para proveer una capacidad de transmisión más alta, usando las mismas fibras ópticas. La conversión de STM-1 a STM-4 se realizará únicamente a través del intercambio de los interfaces ópticos SFP. Para evolucionar a STM-16 se requiere del intercambio de los interfaces ópticos SFP y de la matriz de conmutación que lo haría no bloqueable.

Los equipos se basan totalmente en la tecnología SDH de nueva generación VCAT/LCAS y en el protocolo GFP. Entre sus facilidades cuentan con:

- Técnica de multiplexación/demultiplexación simplificada, pudiendo acceder directamente a tributarios de más baja velocidad sin necesidad de multiplexar/demultiplexar la señal completa de alta velocidad.
- Capacidad de administración y mantenimiento (OAM).
- Se puede integrar a redes en anillo con interfaces de datos Ethernet 10/100 soportando el transporte de flujos de datos (IP, ATM, HDSL, etc.) vía la infraestructura SDH.
- Los equipos serán alojados en armarios de 19" que cumplen con las normas de condiciones de trabajo:
 - Seguridad: EN 60950 clase V1.
 - Ambientales: ETS 300 019-1 clase 3.2.
 - Compatibilidad electromagnética: EN 50082-2, EN 55022 clase B, EN 50081-1 clase B.

El sistema SDH se complementa con el multiplexor de acceso. El multiplexor es flexible con propiedades de cross-connect que puede ser utilizado para la transmisión de voz y datos. Asimismo las tarjetas de interfaz del sistema permiten la conexión al equipo múltiplex, sin ningún equipo intermedio adicional, de la siguiente información:

- Señales de Protección Digital.
- Entradas/salidas analógicas y binarias (Mini SCADA).
- Datos asíncronos 0 –9,6 Kbps ó 19.2 Kbps.
- Datos síncronos 1,2 – 64 Kbps.
- Telefonía a 2 y 4 hilos, con señalización.
- Ethernet 10/100 BaseT
- Teleprotección de 4 ó 6 comandos cada una.

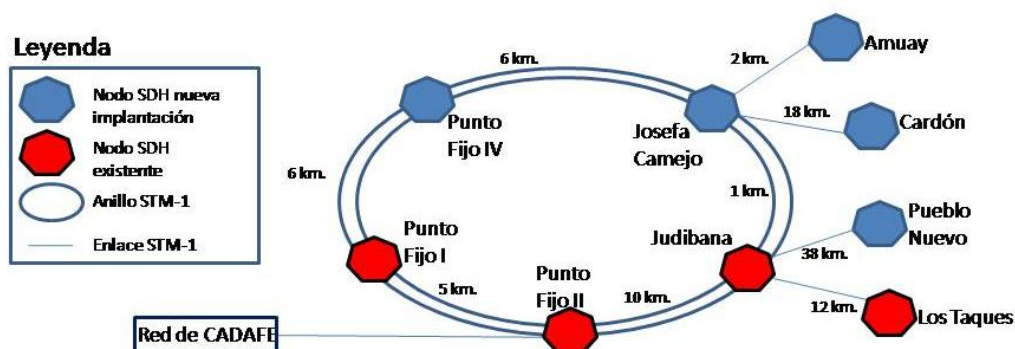


Figura 2. Esquema de la red SDH propuesta con redundancia 1+1.

El sistema propuesto es lo suficientemente flexible para permitir la realización de los enlaces punto a punto, teniendo la posibilidad de distribución, inserción y tránsito de canales individuales. En el caso de configuración en anillo es redundante y auto-recuperable en caso de fallo.

El sistema propuesto posee criterios de alarma (G.956, G.732), los cuales incluyen como mínimo lo siguiente:

- Fallo en las fuentes de alimentación.
- Pérdidas de sincronismo.
- Bajo nivel de recepción.
- BER muy alto.
- Condición de alarma en el terminal opuesto.

El equipo multiplexor es un módulo independiente y no está integrado en el equipo SDH, por lo que sólo se integran a nivel del armario de 19".

Estos equipos pueden ser utilizados en soluciones de red donde se encuentren sistemas plesiócronicos convencionales o sistemas síncronos, así como los flujos de datos procedentes de LAN y de Internet. Además se propone como opción disponible, utilizar los servicios que otorga la tecnología IP encapsulándolos en las tramas SDH, de forma que se conserven las ventajas que aportan cada una de las tecnologías. Las motivaciones que nos han llevado a proponer esta solución se describen en el subapartado siguiente, haciendo mención de las ventajas que se obtendrían.

B. Motivaciones de la solución propuesta

La utilización de equipos puramente Gigabit Ethernet en las subestaciones no es todavía recomendada ya que dichos equipos son muy utilizados por las empresas de telecomunicaciones para aplicaciones de oficina, no siendo este el caso de las empresas de energía o eléctricas, donde las aplicaciones en tiempo real son de extrema importancia. Sin embargo, una solución mixta basada tanto en la tecnología de tiempo real (SDH) como IP (Gigabit Ethernet) puede ser válida para las aplicaciones administrativas y de supervisión de la central. La funcionalidad de Gigabit Ethernet se implementaría utilizándose módulos Gigabit Ethernet, los cuales forman parte del equipo SDH, y se obtendrían las siguientes ventajas:

- Ambas tecnologías, IP y SDH, estarían supervisadas a través del mismo sistema de gestión y formarían parte del mismo equipo SDH.
- Reducción del tiempo de instalación y puesta en operación dado que las empresas fabricantes y suministradoras cuentan con amplia experiencia en la aplicación de esta tecnología.
- Reducción del número de repuestos debido a la integración de un equipo en el otro.
- Mayor flexibilidad y fiabilidad en la integración de la red a implantar con el resto de la red existente; además, mejor operabilidad para el Centro de Operación Regional.
- Facilidad en desarrollo y aprovechamiento de los cursos de formación para la operación y mantenimiento, aprovechándose la amplia experiencia del cliente en el manejo de los equipos SDH.
- Transmisión de forma autónoma y en paralelo con el tráfico de conmutación de paquetes de las señales con restricciones estrictas de tiempo, como son por ejemplo las señales de protección y las conexiones tradicionales de las centrales telefónicas E1-PABX.
- SDH es un estándar altamente utilizado y probado, lo cual lleva consigo una excelente interoperabilidad entre diferentes sistemas. Además, se trata de una tecnología con un largo futuro de tiempo de vida.
- SDH proporciona esquemas de protección de tráfico estandarizados sin desperdiciar el ancho de banda, ya que garantiza conexiones LAN gracias al mapeo fijo en SDH. Un núcleo SDH permite suministrar a terceros tanto redes de área local LAN como servicios de multiplexación por división en el tiempo TDM (como por ejemplo E1 y E3).
- SDH soporta largas distancias por defecto, mientras que GbE necesita interfaces costosas a nivel económico o equipos extras, no pertenecientes al sistema de supervisión de la red.
- SDH ofrece características Ethernet altamente estandarizadas de acuerdo con el ITU-T, mientras que las soluciones puramente Ethernet están a menudo basadas en características propietarias de calidad de servicio QoS.

V. Conclusión

Actualmente las empresas eléctricas están evolucionando a una red IP de una forma pausada y no de manera total, es decir, comienzan a proporcionar servicios de telecomunicaciones a través de una red IP sobre una plataforma SDH, de forma que no se pone en riesgo la operatividad de los sistemas de telecontrol, teleprotecciones, telesupervisión, teledatada, los cuales son de vital importancia en un entorno eléctrico. De esta manera, sin perder garantías de operatividad de los servicios de telecomunicaciones, se va teniendo experiencia de calidad y seguridad para la red IP, a la vez se da tiempo para que la tecnología IP siga madurando para aplicaciones en entornos eléctrico.

De acuerdo a los aspectos técnicos descritos y específicamente a la reducida demanda de tráfico que se prevé generar en cada una de las subestaciones que comprende el proyecto, no es justificable por un lado pagar una infraestructura que proporcione un ancho de banda de 1 Gbps o superior y menos aún a través de un multiplexor por longitud de onda. Por otro

lado, no se considera conveniente poner en riesgo la fiabilidad y disponibilidad de los servicios de telecomunicación de la red eléctrica.

En consecuencia, se propone proceder a la implantación de un Sistema de Telecomunicaciones bajo una tecnología SDH y en su defecto realizar algunas aplicaciones específicas en tecnología IP sobre las interfaces Ethernet que proporciona el mismo equipo SDH que se instale. Asimismo a través de las centrales telefónicas PABX se podrá tener aplicaciones híbridas de telefonía convencional e IP.

AGRADECIMIENTOS

Agradecer a la Empresa *Iberinco (Iberdrola Ingeniería y Construcción S.A.U.)*, empresa de ingeniería responsable de proyecto, y en especial a su departamento de *Operaciones Internacionales de Red* y al personal que lo forma. También quiero agradecer a la *Escuela Politécnica Superior* de la *Universidad Autónoma de Madrid* que, a través del Grupo Sistemas de Radiocomunicación y Comunicaciones Ópticas, ha colaborado en el proyecto con la asignación de una beca en el marco de Universidad – Empresa, y ha permitido elaborar un Proyecto de Fin de Carrera a través de los resultados obtenidos de dicha colaboración.

REFERENCIAS

- [1] [ITU-T G.652 “Characteristics of a single-mode optical fibre and cable”](#).
- [2] [ITU-T G.983.3 “A broadband optical access system with increased service capability by wavelength allocation”](#).
- [3] [ITU-T G.783 “Characteristics of synchronous digital hierarchy \(SDH\) equipment functional blocks”](#).
- [4] W. Richard Stevens, *TCP-IP Illustrated*, Addison-Wesley, 1994.