



## ON SITE SERVICES

### SEMINARIO: PRINCIPIOS Y APLICACIONES DE EQUIPOS DE TELECOMUNICACIONES PARA SUBESTACIONES ELECTRICAS

Presentado en:

División Centro Occidente CFE, Morelia a 17-18 Agosto de 2007

Autor: **SAMUEL VALLE**

Customer Service Engineer for RFL Electronics inc

Tel: 52 (55) 54188124

Fax: 52 (55) 56703890

[samuel.valle@ieee.org](mailto:samuel.valle@ieee.org) / [samuel.valle@oss.mx](mailto:samuel.valle@oss.mx)

## I INTRODUCCION

Este trabajo detalla el alcance de las telecomunicaciones en la automatización de subestaciones eléctricas y las diferentes tecnologías de comunicación, medición, control, protección que una vez operando en conjunto permiten a los operadores de sistema y de la red de S.E. del sistema de potencia monitorear y operar los sistemas en tiempo real.

En cualquier tipo de proyecto moderno en el Sector Eléctrico se debe considerar en forma integrada las áreas de Protecciones, Control, Comunicaciones y Automatización particularmente por la introducción en el mercado de Reles Multifuncionales con capacidad de comunicación a altas velocidades, interfaces de redes y protocolos complejos que facilitan la transferencia de información entre si y hacia un centro de control. Estas características, combinadas con los grandes avances que en el área de redes de comunicaciones por fibras opticas permiten el control y supervisión optima y confiable de subestaciones de potencia.

Debido a los multiples equipos involucrados y la complejidad de estos sistemas, se requieren ingenieros de amplios conocimientos en cada una de las áreas a fin de lograr su integración de forma confiable y eficiente.

Basandonos en estas tecnologías, actualmente las empresas electricas mexicanas (CFE y LyF) cuentan con amplios conocimientos y experiencia en el desarrollo de la Ingeniería de Integración de S.E. eléctricas. ***En este trabajo se muestra la solucion global de telecontrol en el sistema de potencia mediante la utilización de tecnología de punta en cuanto a reles digitales multifuncionales, sistemas de comunicaciones a traves de una red de multiplexores, la transmision de senales por fibra óptica y SCADAS de arquitectura abierta para monitorear las variables críticas de las S.E. involucradas.***

## II TECNOLOGIAS INVOLUCRADAS

El desarrollo de la tecnología digital y las comunicaciones por fibra óptica en los últimos años, ha llevado a las empresas eléctricas por un proceso de modernización y automatización en las S.E. con la finalidad de optimizar el desempeño y asegurar la confiabilidad en el suministro continuo de energía a los diferentes centros de distribución y consumo. Como ejemplo, la compañía de LyF del centro, que opera el sistema central del país en los estados de DF, Edo. De México, Morelos y Pachuca, opera desde 1997 un sistema de comunicaciones a través de multiplexores PDH para el transporte de diferentes señales de voz, datos, protección, SCADA, provenientes de cada S.E. en su sistema de potencia en tensiones de 400, 230 y 85 Kv. Asi mismo la CFE cada vez mas incorpora a nivel nacional mas sistemas de comunicaciones a traves de su red de fibra optica, la cual, desde 1996 incorpora un numero adicional de multiplexores PDH/SDH e instala Km adicionales de cable OPGW con núcleos de 36 F.O.

La inversion se ha venido realizando comenzando por las S.E. de mayor costo (subestaciones de transmisión, plantas de generación), en las que el monto global de la inversión permitía, como un costo marginal, la implementación de equipamientos para la recogida y análisis de datos, o ejecución de secuencias automáticas que facilitaran la operación del sistema.

Conforme las posibilidades y el costo que fueron ofreciendo ***los Dispositivos Electrónicos Inteligentes (DEI's en adelante) se hizo mas atractivo, las soluciones basadas en este tipo de equipos fueron migrando desde las instalaciones de mayor porte hacia instalaciones cada vez mas pequeñas.***

Actualmente se demuestra que es posible conseguir no sólo una solución homogénea a toda la problemática de la automatización de las subestaciones, sino que es posible exportar estas soluciones a los niveles mas bajos de tensión

utilizados por las compañías distribuidoras y obtener ventajas económicas si hacemos la comparación contra las soluciones tradicionales.

Una de las ventajas mayores de este tipo de concepción es que se puede diseñar el sistema de manera distribuida, concepto que hace que a la hora del diseño se afronten los problemas de forma separada, y permite también diseñar, para cada dispositivo, una solución integrada, lo que supone un gran ahorro en el importe total del proyecto, por cuanto los propios equipos de comunicación, protección, de control y de medición en la S.E.

***Las funciones de recogida de datos y medición de las variables críticas de la S.E. en tiempo real se hacen por medio de UTR (unidades terminales remotas), la supervisión de la operación de los transformadores, TCs, PTs y las líneas de transmisión a través de relevadores de diferentes tipos. Finalmente el "empaquetamiento" de toda esta información se transporta por medio de Multiplexores digitales de salida óptica para finalmente utilizar la red de fibra disponible a través de las torres de transmisión.***

De manera recíproca, los telemandos se ejecutan desde un centro de operación central, con lo que se asegura la operación en conjunto de las diferentes S.E. de todo el sistema de potencia.

Esta misma tecnología está actualmente migrando de las S.E. de Generación y Transmisión a los centros de Distribución más pequeños. Esto se logra debido a que la inversión adicional en este tipo de tecnologías se reduce a una red de comunicaciones en la propia subestación de media y baja tensión.

Los Dispositivos Electrónicos Inteligentes (DEI) realizan las funciones de protección, medida directa de los parámetros de la Red, localización de fallas, recogida de información (eventos, fallas, oscilografía), control y mando de la posición (interruptor o elemento de corte), automatismos (recierre), etc.

Cada DEI dispone únicamente de las funciones requeridas para la función que desempeña. Este dimensionamiento "a medida" permite obtener una configuración óptima de prestaciones/costo adaptada a cada instalación.

Entre los múltiples parámetros a considerar que deben recoger los DEIs se encuentran los siguientes:

#### **Relés de protección y equipos de medida**

Relés de protección:

Distancia.  
Sobrecorriente.  
Sobrecorriente Direccional.  
Verificación de sincronismo.  
Sobre y bajo voltaje.  
Recierre.  
Diferencial de línea.  
Diferencial de barras.  
Diferencial de transformador, reactor y generador.  
Sobreexcitación y pérdida de excitación.  
Oscilación de potencia.  
Direccional de potencia y tensión.  
Por falla de interruptor.

Los medidores multifunción envían datos en bloque de múltiples variables como :  
Contadores de pulsos de energía .  
Kva, Kvar, Armonicos, Corrientes, Voltajes, FP, etc.

#### **Las UTRs recolectan datos de los transformadores de potencia tales como:**

- Medida de la resistencia de aislamiento.
- Medida de la resistencia de devanados.
- Corriente de bujes.
- Medida del factor de potencia.
- Medida de corriente de excitación.
- Medida de la rigidez dieléctrica del aceite.
- Pruebas funcionales de cambiadores de taps, bombas de aceite, ventiladores, control y señalización.

Los Interruptores envían :

- Medida de la resistencia de aislamiento.
- Medida de la resistencia de los contactos principales.
- Medida del factor de potencia.
- Medida de corriente y resistencia de bobinas de cierre y apertura, medida de tiempos de apertura y cierre, secuencias de maniobras, etc.

Los Transformadores de corriente envían:

- Medida de la resistencia de aislamiento.
- Medida de la resistencia de los devanados secundarios.
- Verificación de las curvas de saturación, relación de transformación y polaridad.
- Medida del factor de potencia y capacitancias
- Valores instantáneos de corrientes primarias y secundarias.

Los Transformadores de potencial:

- Medida de la resistencia de aislamiento.
- Medida de la resistencia de los devanados secundarios.
- Verificación de la relación de transformación y polaridad.
- Medida del factor de potencia y capacitancias.
- Inyecciones de tensión secundarias.

Todas estas son las variables críticas de los diferentes dispositivos en una S.E. eléctrica. Sin embargo, pensar que solo estas señales justificarian la instalación de los multiplexores y la fibra óptica, sería equivalente a explotar solo un 10% de la capacidad instalada. Por tal motivo, se enlazan servicios complementarios como son:

- Transmisión de voz a través de líneas de abonado remoto y centrales telefónicas (PBX).
- Transmisión de datos por medio de Ethernet y redes LAN/WAN.
- Video a través de cámaras digitales para visualizar las S.E. que operan sin operadores.
- Otros usos a futuro como Internet de alta velocidad, porteo de señales de otras compañías que utilicen los canales disponibles para sus propios fines, etc

### Centralización de la información en una sola Unidad Central de Subestación.

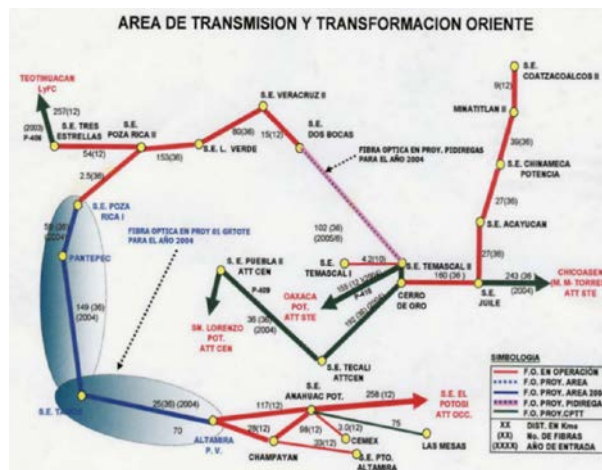
**Un Multiplexor central en cada S.E. recoge toda la información de los DEI's de posición para enviarla a un Sistema SCADA externo a través de la fibra óptica.** De esta manera los operadores de sistema realizan la ejecución de secuencias automáticas (entrada de líneas de reserva, aislamiento de tramos en falla, deslastres de líneas por sobrecarga de transformadores, etc.).

Por todo lo anterior, es fácil deducir por que actualmente las S.E. están invirtiendo fuertemente en automatizar sus sistemas para así volver mínima la interrupción en el flujo de energía a los centros de consumo. Esto se logra cuando toda la información de las variables críticas de los sistemas de la S.E. están disponibles para los operadores de sistema que están tomando decisiones confiables y seguras en tiempo real. La siguiente figura muestra las líneas de transmisión de CFE.

### CFE: Áreas de Control

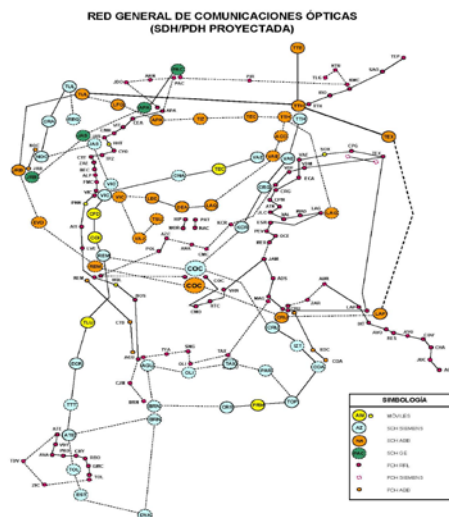


En 2003 se efectuó una licitación que tiene por objetivo la instalación de una red de fibra óptica el sistema oriente de red de fibra óptica de CFE. La siguiente figura ilustra los alcances de dicho proyecto que interconectará las señales de las S.E. de CFE involucradas.



### III OPERACIÓN Y TELECONTROL EN EL AREA METROPOLITANA DE LUZ Y FUERZA DEL CENTRO.

La siguiente figura detalla el sistema de S.E. de potencia del área metropolitana de la compañía de Luz y Fuerza del centro.



En esta figura se ve que la red de luz y fuerza, tiene actualmente fibra óptica instalada en todo un anillo de aproximadamente 50 S.E. de un total de 132. Estas subestaciones cuentan cada una de ellas con un Multiplexor PDH de 2.048Mbps marca RFL ELECTRONICS modelo

IMUX2000E, el cual es especialmente blindado para su operación en ambientes de alta inducción electromagnética, tales como el de las subestaciones de potencia.



**El sistema de comunicaciones de LyF utiliza 30 canales de 64kbps para polling de los canales tributarios (tales como RTUs, Centrales telefónicas, abonados, datos sincronicos, datos asincronicos, reles de proteccion diferencial, teleproteccion (4 funciones para sensar reles de distancia, sobrecorriente, falla interruptor), medidores multifunción (KVAs, KVARs, Pulsos, corrientes, Voltajes, factor de potencia, Armonicos, etc.). los 2.048 Mbps de ancho de banda (30canales X 64kbps = 2.048Mbps), son utilizados para interrogar a cada uno de los DEIs y la trama multiplexada de 2 Megas se transporta por medio de interfaces laser monomodo de 1300 Nm a través de la fibra hasta el otro extremo, y así sucesivamente a todos los nodos.**

El sistema de multiplexores RFL puede ser configurado como un anillo con enrutamiento automatico en caso de falla de algun nodo para proporcionar redundancia completa en topologia lineal y de cross coneccion, como se puede apreciar en la siguiente ilustracion.

**¡Error! No se pueden crear objetos modificando códigos de campo.**

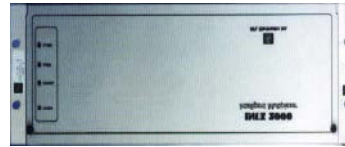
**¡Error! No se pueden crear objetos modificando códigos de campo.**

Como se ve en esta ilustracion las direcciones primarias de toda la trama de 2Mbps (E1) que originalmente se encontraba enrutada por los canales 5 y 1 del multiplexor superior y 4 y 6 del multiplexor de la derecha, se reenrutan ahora por 1 y 3, y 6 con 3. Manteniendo viva la comunicacion en los 4 nodos del anillo.

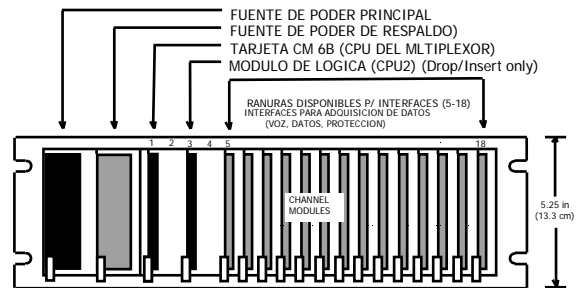
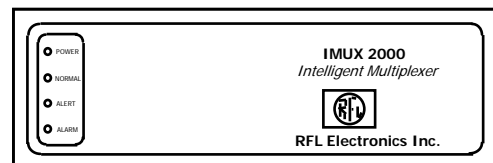
Esta es la proteccion que utiliza LyF en sus nodos cuando el tráfico de señal usa un multiplexor con

cross-conneccion (DACS: Digital Access Crossconecction System).

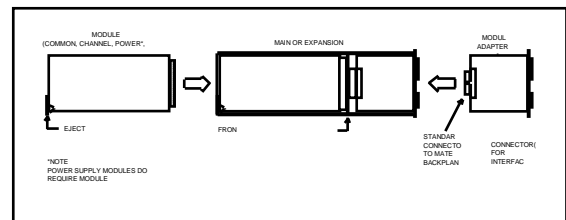
La red de LyF utiliza el siguiente multiplexor E1 (2.048Mbps), y el diseno de este multiplexor es de tipo modular con interfaces tipo tarjeta de servicios insertable en la parte frontal e interfaces adaptadoras en la parte posterior como se ve en la siguiente ilustracion:



VISTA FRONTAL DEL MULTIPLEXOR RFL IMUX 2000E



LA PARTE FRONTAL DEL MULTIPLEXOR ALOJA LAS TARJETAS DE SERVICIOS QUE SE NECESITARON PARA EL TRANSPORTE DE DATOS PROTECCION Y VOZ



LA PARTE POSTERIOR UTILIZO LAS ADAPTADORES PARA ACOPLAR LA SENAL DE CADA CANAL TRIBUTARIO (VOZ, DATOS, LAN, VIDEO, PBX, TELEPROTECCION, G703, SH FIB, RJ11, ETC)

IV TENDENCIAS DE EXPLOTACION A FUTURO

LyF tiene pensado seguir expandiendo su red de fibra optica y multiplexores para dar servicios de porteo a futuro. En este sentido, **la red esta evolucionando a otra plataforma de servicio conocida como SDH. Esta plataforma maneja en su primera jerarquia de orden un ancho de banda de 155 Mbps (Nivel STM-1). Con esta tecnologia, LyF facilmente podria en un primer paso tener una red de centrales telefonicas con todos sus abonados conectados internamente. De esta manera podria ser independiente de la red publica de Telmex, al contar con sus propias torres con linea de F.O. para interconectar a todos sus centros de servicio.**

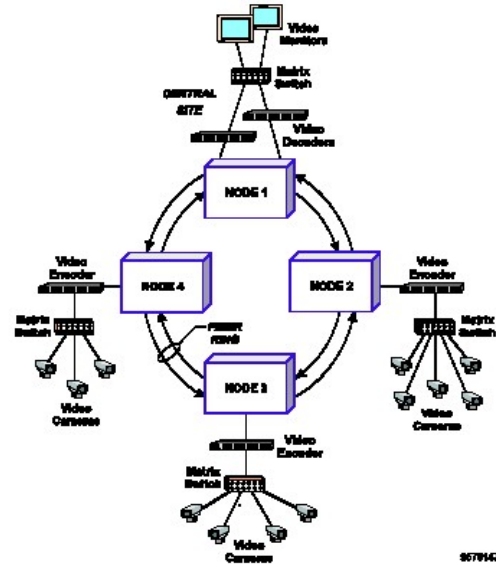
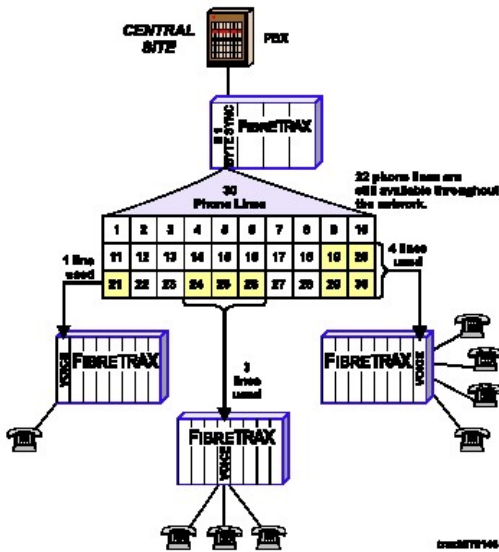


Figure 2-9 Traditional Video Network



0202071401

De la misma forma podria con un ancho de banda STM-1, facilmente interconectar todas las S.E. criticas con camaras de video. Igual podria dar una red Lan con servicios de internet de alta velocidad y formar redes LAN virtuales sobre sus lineas propias. Con esto, se lograria un ahorro considerable de recursos que actualmente destina al pago de estos servicios con los operadores publicos. La siguientes ilustraciones muestran como sera el sistema en 2011.

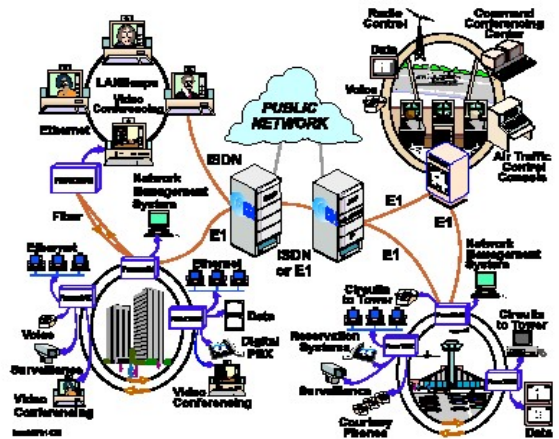
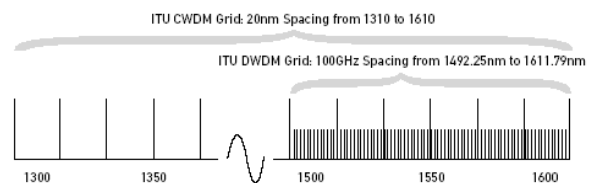


Figure 1-1 The Intellect Total Communications Solution

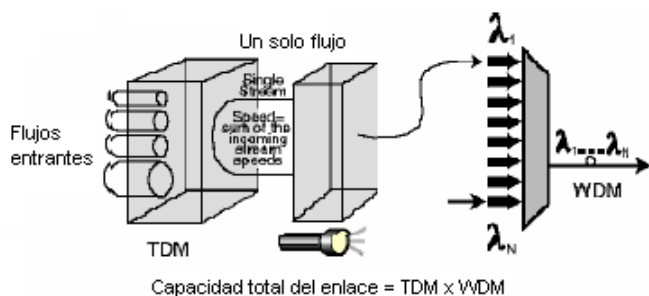
Paralelamente al desarrollo de esta tecnologia en cuanto a multiplexores. **Los fabricantes de fibra han desarrollado en los ultimos anos, fibras con margenes de dispersion reducida y alto grado de pureza en sus componentes para dar paso a otra tecnologia que se conoce como WDM (Wide Dividing Multiplexing) o multiplexaje por division de ancho de banda. Esto es que un mismo multiplexor podra optimizar el medio de transmision de la F.O. y enviar senales a diferentes longitudes de onda para lograr aprovechar al maximo el canal disponible.**



**LA WDM Y SU IMPACTO EN EL MUNDO DE LAS COMUNICACIONES**

Las redes necesitan ancho de banda. Hasta hace relativamente poco, no obstante el enorme crecimiento de la Internet, la mayoría de los mensajes que surcaban la red eran mensajes escritos con unos cuantos cientos o miles de caracteres; pequeños, comparados con los megabytes de ancho de banda que consumen las gráficas animadas que hoy en día navegan por la red en todo el mundo. En una época se creyó que debido a que las fibras ópticas tenían mucho más ancho de banda que los conductores de cobre a los que sustituían, dicha tecnología sería más que suficiente para las necesidades futuras de las comunicaciones (e-mail). ¡Gran equivocación!

No obstante la revolución que causaron las fibras ópticas en las comunicaciones, fue necesaria una segunda revolución, la de WDM (*Wavelength Division Multiplexing* = Multiplexaje por División de Longitud de Onda) para poder satisfacer la enorme demanda que ha traído la WWW. Esto se debe a que las imágenes en movimiento y el sonido demandan mucho más ancho de banda que los caracteres, y la WWW está orientada a imágenes y sonido. Una nueva generación de tecnología de fibra óptica, a uno de cuyos proyectos se le puso de manera muy apropiada el nombre de **Proyecto Oxígeno para la red global, envía señales en 16 diferentes longitudes de onda a través de cada uno de 4 pares de fibras ópticas, con lo cual se logran velocidades de transmisión de 640 gigabits por segundo a través de océanos (los discos de las PC's contemporáneas tienen capacidades de 64 a 320 gigabits). A la velocidad citada se puede enviar todo un disco duro de los grandes en menos de un segundo.** Con estas velocidades no habrá que esperar tanto para bajar un software de la red. Desde el punto de vista de conversaciones telefónicas, 640 Gbits/s equivale a 10 millones de conversaciones simultáneas, suficiente para darle servicio a la mitad de la población del D.F. al mismo tiempo, si todos (incluyendo bebés y ancianos) tuvieran computadora, conexión con Internet y lo necesitaran a la vez. Adiós esperas para conectarse a la red.



La tecnología WDM está teniendo una importante influencia en la industria de las telecomunicaciones, justo a tiempo cuando se estaban saturando las viejas fibras ópticas. Las empresas telefónicas han podido evitar tener que tender costosos cables nuevos; en su lugar, simplemente bombean longitudes de onda adicionales por las mismas fibras ya tendidas. No obstante que se previó un crecimiento del volumen de las señales que tendrían que viajar por las fibras ópticas y se instalaron fibras para ello, la demanda debido a la Internet ha sido tan fenomenal que la reserva se ha agotado, y se espera que la demanda siga creciendo debido a lo que muchos expertos predicen sobre el tráfico de video en ambos sentidos viajando por la red. Aunque el nombre suena complicado, **WDM utiliza una idea vieja y sencilla que ha sido utilizada en radio difusión desde hace mucho: enviar varias señales con diferentes frecuencias simultáneamente por el mismo medio de transmisión.** La frecuencia y longitud de onda están íntimamente ligadas por la velocidad de la luz, mientras los radiotécnicos prefieren usar frecuencia, los que trabajan con luz prefieren usar longitud de onda. Todas las comunicaciones se están transformando a señales digitales y **la tecnología WDM está creciendo más rápido que la Ley de Moore (el poder de cómputo se duplica cada 18 meses), pues la tecnología WDM está logrando duplicar la capacidad de transmisión de las fibras cada 12 meses.** La luz más adecuada para transmisión por fibra óptica tiene una frecuencia de aproximadamente el doble de la luz roja, o sea una longitud de onda de 1.3 a 1.6 micras (una micra es un milésimo de milímetro o un millonésimo de metro); los pulsos de luz que llevan las señales se atenúan después de viajar 200 Km en la fibra. Los amplificadores de luz no se llevaban bien con señales a diferentes frecuencias hasta que se inventó el amplificador de fibra dopado con erbio, que logra amplificar cada señal en diferente frecuencia sin revolverlas, como hace nuestro oído cuando varias personas nos hablan al mismo tiempo.

Por ultimo, mencionare que he visto que La CFE actualmente ya esta especificando equipo con tecnología WDM para sus futuras licitaciones.

## VII CONCLUSIONES

La industria eléctrica de un país que pretenda reestructurarse debe revisar cuidadosamente su infraestructura actual de telecomunicaciones. Normalmente las empresas de energía eléctrica cuentan con infraestructura de comunicaciones en el nivel de generación, transmisión, distribución y comercialización para cubrir las necesidades particulares de sus respectivas operaciones. Sin embargo, es conveniente definir un plan maestro

de telecomunicaciones del mercado que parta de la infraestructura actual y defina las reglas del juego, así como la forma de transitar ordenadamente hacia la infraestructura requerida, tomando en cuenta las necesidades de comunicación a corto, mediano y largo plazos, así como las tendencias tecnológicas de mayor influencia.

En cuanto a normatividad, se deben definir, los protocolos a utilizar, las normas y tecnologías para transmisión de Información (voz, datos, imágenes, etcétera), las reglas para hacer crecer la red (agregar nodos o enlaces), las especificaciones para conectarse a la red (puertos de acceso), las condiciones para enlazarse a través de redes públicas o privadas (red de redes), los mecanismos de seguridad en la red, etcétera. La seguridad en redes de comunicaciones es un tema al que se le seguirá dando una gran atención en los años venideros, ya que es un problema serio, no resuelto totalmente hasta la fecha y, en el caso que nos ocupa, indispensable para el funcionamiento confiable del mercado. **La competencia en el sector telecomunicaciones y la reestructuración del sector eléctrico están creando, las condiciones para que las empresas de energía eléctrica entren al mercado de las telecomunicaciones, amplíen el espectro de servicios de valor agregado a sus clientes finales e incluso incrementen su cartera de clientes.** Además de los servicios de la propia red troncal, la empresa eléctrica puede aportar al negocio de las telecomunicaciones otros activos como fibra oscura (capacidad instalada, pero no utilizada) derechos de vía de sus líneas de transmisión y distribución, su infraestructura de torres para soporte de cables de comunicaciones o para instalación de equipo de comunicación inalámbrica, fuerza de comercialización, cartera de clientes, etcétera.

## VIII FUENTES RECOMENDADAS

- Dalarsson, N., "Trends in telecommunications networks and their effects on power systems", *Proceedings of the 20 The International Telecommunications Energy Conference*, S.F. California, Estados Unidos, 1998, pp.8-14.

- WDM Description on the All Optical Networking Consortium Homepage at

<http://www.ll.mit.edu/aon/>

- Bases de datos de la pagina de CFE

<http://cfe.gob.mx>

- Bases de datos de la pagina del instituto de investigaciones electricas

<http://www.iie.org.mx>

- Bases de datos de la pagina de LyF

<http://www.lfc.gob.mx>

- Website de la compania RFL Electronics Inc

<http://www.rflect.com>

## AUTOR



### JOSE SAMUEL VALLE LARA

Ingeniero Mecánico Electricista por la UNAM (1997). Certificado por RFL Electronics en PDH IMUX 2000 E1 / RFL 9300 & Teleproteccion 9745. Actualmente se desempeña como ingeniero de servicio dando soporte técnico a la red de equipos de RFL Electronics instalados en el sistema de Subestaciones eléctricas de LyF y la C.F.E en México. (Agosto 2007).