

# Revista de Telecomunicaciones de Alcatel

La Revista de Telecomunicaciones de Alcatel es una publicación técnica trimestral de Alcatel que presenta de manera rigurosa sus investigaciones, desarrollos y productos en todo el mundo.

## Consejo Editorial

**Christian Grégoire**  
Alcatel, París

**Alain Bravo**  
Alcatel, París

**Peter Radley**  
Alcatel, Londres

**Philippe Goossens**  
Editor Jefe

## Editores

**Bernard Le Mouël**  
Editor Jefe

**Catherine Camus**  
Editora Jefe Adjunta  
Directora de la edición francesa, París

**Virginie Denis**  
Asistente Editorial, París

### Directores Asociados

**Andreas Ortelt**  
Director edición alemana, Stuttgart

**Gustavo Arroyo**  
Director edición española, Madrid

**Isabelle Liu**  
Director de la edición china, Beijing

### Editor Colaborador

**Mike Deason**  
Edición inglesa, Barnston, RU



Las direcciones de las oficinas editoriales pueden encontrarse en la última página de la Revista.

En esta publicación no se hace ninguna mención a derechos relativos a marcas o nombres comerciales que puedan afectar a algunos de los términos o símbolos utilizados. La ausencia explícita de dicha mención no implica, sin embargo, la falta de protección sobre esos términos o siglas.

## Optinex™: Experiencia de futuro en conectividad óptica.

- 154 **Editorial:**  
**La revolución del ancho de banda**  
*C. Reinaudo*
- 157 **La transmisión óptica avanza hacia el mundo IP**  
*C. Coltro/G. Grammel*
- 163 **Preparando el futuro**  
*M. Erman*
- 171 **Redes submarinas ópticas en el umbral de los Tbit/s por capacidad de fibra**  
*O. Gautheron*
- 181 **Evolución de las redes troncales DWDM de alta velocidad**  
*F-X. Ollivier/S. Thompson/C. Zugno*
- 195 **Interconectores ópticos: lo más novedoso de la red óptica básica**  
*P. Perrier/S. Thompson*
- 203 **SDH/SONET evolucionan hacia una plataforma de servicios múltiples: nodos y puertos multiservicio**  
*D. Marazza/H. Kleine-Altekamp*
- 211 **Gestión de red para redes de transmisión multi-tecnología**  
*P. Fogliata/Y. Gautier/E. Malpezzi/C. Spinelli/M. Vandereviere*
- 221 **Componentes ópticos para el nuevo milenio**  
*G. Chrétien*
- 230 **Abreviaturas en este número**

Revista técnica editada por Alcatel España, S.A. - Domicilio Social: C/ Ramírez de Prado, 5 - 28045 Madrid, España - Depósito legal: M. 21998/1998 - ISSN: 1266-9091

Imprime: Egraf, Madrid, España, 9.500 ejemplares - ©Alcatel España, S.A.

Si desea recibir más información sobre cualquiera de los temas de este número, envíe un correo electrónico a Jean-Luc Beylat en [Jean-Luc.Beylat@alcatel.fr](mailto:Jean-Luc.Beylat@alcatel.fr)



Christian Reinaldo

## La revolución del ancho de banda

De la misma manera que las telecomunicaciones están afectando a nuestras vidas diarias, también se está produciendo un cambio drástico en el propio mundo de las telecomunicaciones. Por un lado, la explosión de los nuevos servicios está generando una demanda creciente de capacidad de transmisión. Por otro, la globalización económica está creando una necesidad creciente de redes mundiales. La liberalización de los mercados de telecomunicaciones y el impacto de la competencia también están contribuyendo a la aparición de nuevos operadores globales. En Alcatel, estamos convencidos de que únicamente las soluciones de redes ópticas pueden allanar el camino a la «revolución del ancho de banda», que es el resultado inevitable de la evolución en marcha.

### Navegando por Internet y la onda móvil

Mientras los servicios fijos de voz de banda ancha están bien consolidados en la mayoría de los países, las comunicaciones móviles están actualmente experimentando un crecimiento explosivo, con una previsión de mil millones de abonados móviles en el 2002, según la UIT (Unión Internacional de las Telecomunicaciones). La provisión de servicios para aplicaciones de gran ancho de banda, tanto en el sector empresarial como en el doméstico, es otro de los puntos de atención. La sociedad actual es, más que nunca, consciente de las ventajas que puede obtener de la tecnología de datos, y cada vez más aplicaciones se trasladan al mundo on line en entornos como la banca, la compra, el ocio y el comercio electrónico. En resumen, la tecnología y las nuevas aplicaciones están pasando a formar parte de nuestras vidas. No es sorprendente que Internet sea uno de los principales motores de la demanda global de capacidad de red. Según la UIT, en el 2002 habrá cerca de 600 millones de usuarios accediendo a la Red.

Los clientes corporativos devoran enormes volúmenes de ancho de banda altamente fiable en aplicaciones críticas, mientras que los usuarios domésticos muestran un gran apetito por el acceso a Internet y por la distribución de vídeo. Esta necesidad está impulsada por el despliegue masivo de la tecnología xDSL (Bucle Digital de Abonado) y por el lanzamiento de la solución LMDS (Servicio Local de Distribución Multipunto), conocida como xDSL inalámbrica. Consecuentemente, la capacidad requerida a la red central se duplica cada doce meses. También están aumentando las expectativas de los usuarios acerca de la disponibilidad y fiabilidad, ya que muchas aplicaciones críticas circulan por estas redes. Por ello, la futura red central tendrá que ser extremadamente flexible y fiable, pero al mismo tiempo sencilla de gestionar. Y lo que es más importante, tiene que tener un bajo coste. Ya se puede anticipar que algunas de estas evoluciones afectarán a los segmentos regionales y de negocios de las redes metropolitanas. La liberalización y globalización de los mercados de las telecomunicaciones y el impacto de la competencia también están impulsando la demanda de capacidad, lo que tendrá un efecto de largo alcance en el panorama de las telecomunicaciones. Además, a diferencia del tradicional tráfico de voz, que es por naturaleza local, el tráfico de datos, y en especial el de Internet, tiene una característica más global. El proceso en marcha de liberalización de los mercados de telecomunicaciones ha dado como resultado la aparición de más de 4.000 nuevos operadores de telecomunicaciones en todo el mundo. Cada uno de ellos busca proporcionar a sus clientes una capacidad de alta calidad y bajo coste, ya sea instalando su propia infraestructura o alquilando la de otros. Sin embargo, la gran demanda de nuevos servicios, junto con el rápido desarrollo tecnológico, dificulta que los operadores puedan prever sus requisitos de ancho de banda para los próximos años.

Con dichas incertidumbres, algunos operadores no desean invertir fuertes sumas para mejorar sus propias infraestructuras. Las redes privadas de cable, que ofrecen ancho de banda al por mayor a los operadores de telecomunicaciones, tendrán un papel cada vez más importante en el futuro. Finalmente, pero no por ello menos importante, la demanda de capacidad está también propiciando la integración de los sistemas de cables submarinos y de las redes de telecomunicaciones terrestres. Por ello, los operadores de cable submarino están o bien firmando acuerdos con operadores de fibra terrestre, o bien creando sus propias redes en tierra. El objetivo es proporcionar una verdadera comunicación entre ciudades, en lugar de sólo una transmisión de costa-a-costa.

### **Alcatel coge a tiempo la Onda Luminosa**

Como líder mundialmente reconocido en conectividad óptica, Alcatel está en una posición única para ayudar a operadores y proveedores de servicios a aprovecharse de la revolución del ancho de banda. Alcatel es el único suministrador que domina todos los elementos de redes ópticas, desde los componentes a los sistemas y a la gestión de red, y desde las soluciones terrestres a las submarinas. Líder mundial en redes submarinas, sistemas de transmisión síncrona, transconectores, DWDM (Multiplexación por División de Longitud de Onda Densa) terrestre y submarina, y sistemas de gestión de red, Alcatel diseña e instala soluciones llave en mano integradas que permiten a sus clientes minimizar sus costes operativos.

No sólo es Alcatel el único suministrador que ofrece un completo abanico de soluciones de conectividad óptica, sino que también establece de manera consistente la velocidad del desarrollo tecnológico. La corporación tiene una larga historia de liderazgo tecnológico, desde el primer sistema submarino instalado en 1851 entre el Reino Unido y Francia, hasta el reciente récord mundial de transmisión DWDM a 40 Gbit/s. Alcatel realiza cuantiosas inversiones en sus actividades de conectividad óptica para permanecer en la vanguardia de la evolución tecnológica y ampliar sus capacidades de producción. La experiencia única de Alcatel en óptica permite a la compañía presentar una visión completa para el futuro de las redes ópticas inteligentes y ofrecer las soluciones asociadas.

La red actual soporta una variedad de servicios, básicamente transportados a través de TDM (Multiplexación por División de Tiempo), frame relay e IP (Protocolo Internet). Los nodos de la red están generalmente planificados para una capacidad fija y no soportan anchos de banda extremadamente altos. El aprovisionamiento

de servicios es complicado y lento como resultado de la complejidad y la poca flexibilidad de la red de transporte. En la mayoría de los casos, la capacidad de transmisión se gestiona de forma separada a la de los servicios, y la propia gestión de la red de transmisión se fragmenta de acuerdo al suministrador o al tipo de elemento de red. En un futuro previsible, junto al explosivo crecimiento mundial de los servicios IP, que requerirán de un enorme ancho de banda sólo alcanzable por la transmisión fotónica, los estudios de mercado y las sugerencias de los clientes indican que los servicios heredados como TDM y ATM, continuarán creciendo en los países ETSI (Instituto Europeo de Normas de Telecomunicación).

Por ello, la opinión de Alcatel es que los servicios propietarios e IP tendrán que coexistir en una red multi-servicio con dos capas: una de servicios de datos y una de transporte óptico. La capa de servicios de datos constará de IP y de una red potente multiservicio. La capa de transporte será una red de transporte completamente óptica que surgirá de la tecnología DWDM actual, pero mejorada con funciones que hoy día suministra la capa SONET/SDH (Red Óptica Síncrona/Jerarquía Digital Síncrona). Además, el equipo SONET/SDH no se quedará obsoleto. Aunque el núcleo de la red será totalmente óptico, con nodos y canales de alta capacidad, aún serán necesarios servicios de baja capacidad, en especial en los extremos de la red. Estos servicios son aún requeridos, por ejemplo, para soportar redes propietarias y servicios de línea alquilada. La interconexión del equipo SONET/SDH de extremo se implementarán, sin embargo, sobre un núcleo óptico. Finalmente, una capa IP mejorada con calidad de servicio y facilidades de ingeniería de tráfico, junto a una capa óptica de nueva generación proporcionará la diversidad, características y fiabilidad de los servicios que necesitan los operadores.

En línea con esta visión de la red, el catálogo global de productos ópticos Optinex™ de Alcatel es una oferta única y totalmente nueva diseñada para una futura red donde los servicios heredados e IP coexistan. Al usar esta solución, los operadores ahorrarán entre el 50 y el 70% en los costes de creación de la red, en comparación con las soluciones puras IP o SONET/SDH. Además, serán capaces de reducir los costes operativos de la red hasta en un 50% y la velocidad de entrega de anchos de banda más altos para los nuevos servicios. Los operadores no tendrán que conocer por adelantado qué combinación de tráfico tendrán que gestionar, o qué coste añadir para la conversión de sus rentables servicios tradicionales hacia IP. Integrarán fácilmente aplicaciones de datos con sus redes de transmisión, gestionarán todos los servicios con una única plataforma

de gestión, y se beneficiarán de unos costes bajos en los servicios IP, mientras mantienen un coste reducido en los servicios actuales.

Esta compacta solución se aprovecha de la nueva tecnología fotónica de Alcatel, de sus adquisiciones de empresas en el mundo de los datos, de su vasta experiencia en gestión de red y de su posición de liderazgo en el mercado mundial de transporte óptico. Los elementos claves de la red multiservicio son un transconector óptico fotónico que ofrece hasta 4.000 puertos de gestión y restauración de longitud de onda transparente; una familia de pasarelas ópticas que puede preparar longitudes de onda completas o fracciones de longitudes de onda, incluyendo la visibilidad y supervisión de cualquier carga útil SONET o SDH; un sistema DWDM de gran distancia que ofrece hasta 240 longitudes de onda y velocidades de transmisión de hasta 40 Gbit/s; una plataforma central de enrutamiento que ofrece inicialmente 640 Gbit/s de capacidad IP sobre una plataforma de operador, escalable a múltiples Terabit/s; y gestión de red multiservicio y multivendedor para circuitos propietarios e IP. Estos elementos pueden operar individualmente en un entorno multivendedor, o integrarse para proporcionar todas las ventajas de la conectividad óptica inteligente, como el ancho de banda bajo demanda, entrega de un servicio premium, o la gestión de redes privadas virtuales.

En Alcatel, estamos convencidos de que esta solución de red multiservicio permitirá a nuestros clientes sacar el mejor partido de la revolución del ancho de banda que se está llevando a cabo. Por esta razón, nosotros fomentamos esta solución sobre cualquier otra que consideramos más limitada.

Alcatel está totalmente comprometida con esta visión de la red y la está integrando con su amplia experiencia en el despliegue y gestión de redes de transmisión terrestres y submarinas, y con el conocimiento y experiencia de las compañías de datos adquiridas. El enriquecimiento conjunto de ideas de ambos mundos dará como resultado unas soluciones innovadoras y un equipamiento avanzado capaces de dar respuesta a las principales preocupaciones de los operadores actuales. Alcatel tiene una completa cartera de productos gestionados por una plataforma común, y dispone de una probada capacidad para proporcionar soluciones llaves en mano, incluso a escala mundial. La compañía brinda una nueva visión del mundo de las redes IP, que se integra con el mundo real de los beneficios generados por los servicios combinados propietarios, mediante la convergencia de tecnologías en productos multiservicio escalables para la naciente capa óptica.

Alcatel dispone ya de la visión, experiencia y soluciones para aliviar la presión a la que se enfrentan los operadores por la revolución, aparentemente sin fin, del ancho de banda.



**Christian Reinaudo**  
*Presidente*  
*Optics Group de Alcatel*



C. Coltro



G. Grammel

# La transmisión óptica avanza hacia un mundo IP

> Los servicios IP afectarán a la implementación de redes de transmisión, conforme evolucionen desde la tecnología SDH actual a una red de capa óptica.

## Introducción

Hasta mediados de los años 80, la infraestructura de transmisión estaba diseñada para proporcionar «Erlangs» a las centrales de las redes telefónicas públicas conmutadas (RTPC), donde residían todas las funciones de Operación, Administración, Mantenimiento y Aprovechamiento de red (OMAP&P). La misma red de transmisión no tenía apenas funciones OMAP&P. En los años 90, con la llegada de la Jerarquía Digital Síncrona (SDH), como capa de transmisión para plataformas de infraestructura multiservicio, las redes de transmisión asumieron la plena «responsabilidad» para el soporte de los procesos de negocio.

Hoy día, en el ecuador de una nueva discontinuidad tecnológica, con la aparición de la tecnología de Protocolo Internet (IP) como capa de protocolo multiservicio, y las redes de capa óptica como plataformas de transmisión propuestas, es previsible un nuevo cambio en el modelo de capa de transmisión. La función de la capa de transmisión está definida como la transmisión de tráfico más fiable y económica entre dos puntos de red y desde el cliente a los puntos de red. Para alcanzar estos objetivos de una forma más

rentable, el nivel de inteligencia de la red, en términos de capacidades OAM&P, que ha ido adquiriendo la capa de transmisión se puede considerar como verdaderamente espectacular.

La **Figura 1** ilustra todo este proceso y extrapola un futuro escenario en el cual la capa de transmisión, como plataforma multiservicio, necesitará ajustarse con cualquiera de las tecnologías actualmente en uso.

## Necesidad de inteligencia

El principal requerimiento en la red de transmisión, como se ilustra en la **Figura 1**, es la necesidad de un incremento de inteligencia para facilitar la tarea de

las capas superiores y contribuir positivamente a la mejora de la red de telecomunicación. Este concepto se extrapola de un análisis de cómo los operadores obtienen ganancias de sus servicios. Dicho de una manera más simple, se ofrecen los mejores servicios, pero los ingresos obtenidos a cambio, no hacen muy rentable la inversión. La capa de transmisión podría ayudar a que la capa de red IP fuera más fiable, aumentando, al mismo tiempo, su índice de rentabilidad.

La calidad es ciertamente importante cuando se ofrecen servicios IP, ya que el precio cargado por un servicio puede verse incrementado más rápidamente que la calidad en sí misma. La **Figura 2** muestra un estudio de los precios

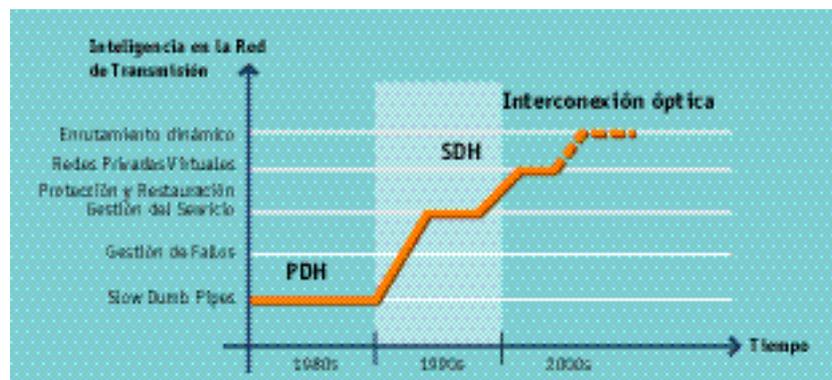


Figura 1 – Visión estratégica de la evolución de una red de transmisión.

PDH: Jerarquía Digital Plesiócrona

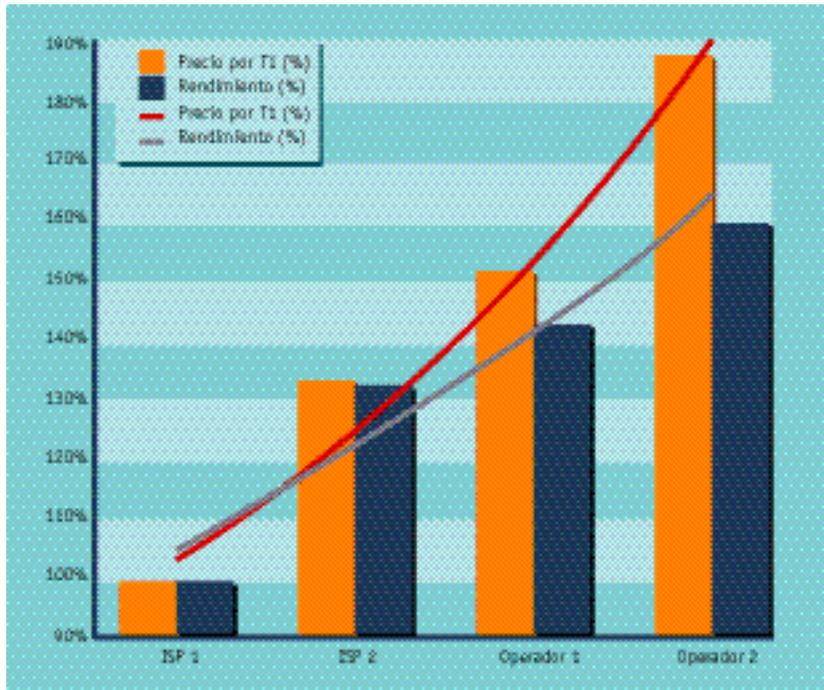


Figura 2 – Calidad y análisis de precios en redes de servicio IP.

de servicios IP, en el cual el precio y el rendimiento efectivo de ISP 1, se estableció en el 100% como marco de referencia. Esta figura sintetiza el resultado de un estudio efectuado por una compañía independiente con sus equipos de prueba conectados a varias redes dorsales de operadoras, utilizando enlaces de acceso de clase corporativa T1. Las medidas de rendimiento del Protocolo de Control de Transmisión (TCP) se realizaron de una forma continua, por un periodo de 30 días. El estudio ofrece un par de resultados interesantes. Primero, las operadoras, en línea con sus tradiciones, son mejores que los Suministradores de Servicio Internet (ISP) ofreciendo servicios de alta calidad. Segundo, el nivel de calidad alcanzado es excelente.

### Implementando inteligencia

El concepto de inteligencia en la red de capa de transmisión no es tan inverosímil como la intelligen-

cia en la RTPC o en la interconexión de direccionamiento. Aquí, nos referimos a la inteligencia de dos maneras. Primero, al conocimiento de la capa de transmisión del cliente para ayudarlo a llevar a cabo sus tareas de la forma más rentable. Segundo, al grado de transparencia de la capa de transmisión para ejecutar, en tiempo real, el establecimiento de los circuitos y alcanzar un Acuerdo de Nivel de Servicio (SLA) específico, así como la retirada de los mismos, cuando ya no se necesiten. Esto se realiza, normalmente, por la capacidad de la red de transmisión de ser gestionada extremo-a-extremo por:

- Acceso centralizado tradicional desarrollado por el administrador de red.
- Usuario corporativo, gracias a sus capacidades de Red Privada Virtual (VPN).
- Sistema de gestión de capa del cliente para realizar enrutamiento dinámico y balanceo de carga

La **Figura 3** ilustra el concepto de inteligencia en la red de transmisión, en términos del grado de transparencia OAM&P.

### Aportar calidad a los servicios IP

La capa de transmisión se ha diseñado teniendo siempre en cuenta las capas del cliente. En caso de supervivencia de redes de transmisión que atienden a la RTPC, el tiempo de conmutación de protección de la red era la principal consideración. Todos los mecanismos de protección se definieron para conmutar en 50 ms y garantizar que las llamadas no se vendrían abajo como consecuencia de un fallo en la red de transmisión. Aun cuando los conmutadores digitales son, en general, capaces de mantener por muchos segundos una llamada establecida antes de dejarla caer, la especificación de tiempo de 50 ms asegura la estabilidad de las llamadas en conmutadores electromecánicos donde resistencia, inductancia, capacidad y constantes de tiempo masa-elasticidad-fricción, proporcionan tiempos de ocupación de llamada mucho más cortos. Por otro lado, si se analiza el caudal de transmisión del TCP en una red IP, se puede observar que hay determinados parámetros que influyen

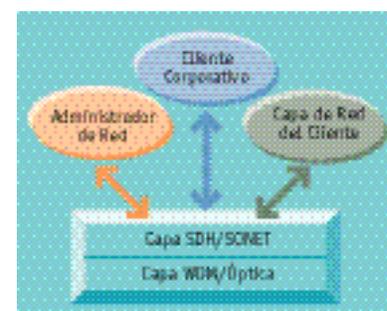


Figura 3 – Transparencia de la red de transmisión.

**SONET:** Red Óptica Síncrona  
**WDM:** Multiplexación División Longitud de Onda

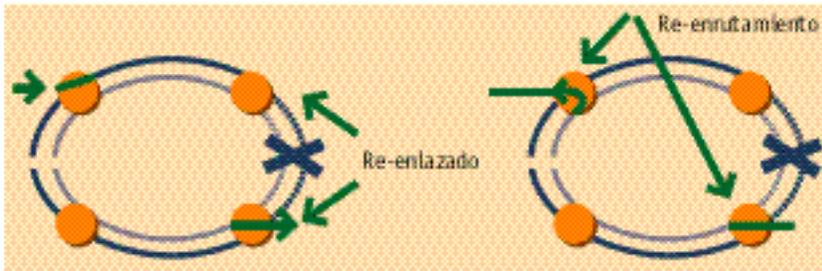


Figura 4 – Uso de MS-SPRING G.841 Anexo 4.

en la calidad de servicio TCP/ IP. Estos parámetros minimizan los retrasos y pérdidas en los paquetes. El retardo en la transmisión en una red puede variar significativamente como consecuencia de la protección y restablecimiento en los escenarios de interrupción de servicio previstos e imprevistos. Es sabido que en la protección en anillo, donde la diferencia entre rutas activa y reserva es 2, las diferencias entre los retardos de las vías de transmisión activa y reserva, pueden ser muy significativas. Si el retardo de la vía de transmisión de la red se da bajo condiciones de fallo dobles, las prestaciones de los servicios TCP/IP se degradarán debido a ello durante el tiempo necesario para reparar la red, es decir, durante el Tiempo Medio de Restauración (MTTR). La gama de valores promedio MTTR está entre las 12 horas en áreas metropolitanas y las 24 horas en redes de larga distancia. Puede estar incluso entre los 15 y 30 días en redes submarinas. Podría paliarse o reducirse mediante el uso de los algoritmos del Anexo A MS-SPRING (Anillo de Protección Compartida de Sección Multiplexora), que fueron originalmente diseñados para redes submarinas, pero que están actualmente instalándose en redes terrestres relativamente grandes. La **Figura 4** ilustra cómo trabaja el MS-SPRING G.841 v su Anexo versión A. Para

evitar el cierre del bucle en los nodos adyacentes al fallo y conmutar a la ruta de los nodos de destino, la solución G.841 Anexo A, es la más apropiada para la protección del tráfico IP. Si consideramos el restablecimiento, los resultados son ligeramente distintos. En general, los trabajos de restablecimiento se utilizan en redes malladas donde el promedio global de rutas distintas está entre 3 y 4. Ahora, hay una mejor opción para encontrar caminos de restablecimiento, no muy distintos en términos de retardo de las rutas de trabajo, que en el caso de la protección de anillos. Así, hacer sistemas de restablecimiento siendo conscientes de la susceptibilidad de

los servicios TCP/ IP al retardo en la transmisión en el evento de fallo se hace necesario, para los algoritmos de restablecimiento, elegir un camino de reserva con un retardo de tráfico similar al de la ruta anterior. Los parámetros de calidad utilizados por este mecanismo son los objetivos de fiabilidad y los de la variación del retardo en la transmisión para el modo de operación normal y durante el mantenimiento.

Dependiendo del servicio soportado, la red de transmisión puede mantener objetivos de disponibilidad puros para servicios de voz, así como la disponibilidad y rigurosos objetivos de demora para una alta calidad de tráfico TCP/IP. La **Figura 5** ilustra como los diferentes tipos de protección y mecanismos de restablecimiento ayudan a mejorar la Calidad de Servicio (QoS) en una red TCP /IP real. Los resultados mostrados dan la capacidad de procesamiento TCP/ IP en una red IP para cuatro caminos seleccionados aleatoriamente, tomando el rendimiento de una red basada en MS-SPRING como referencia.

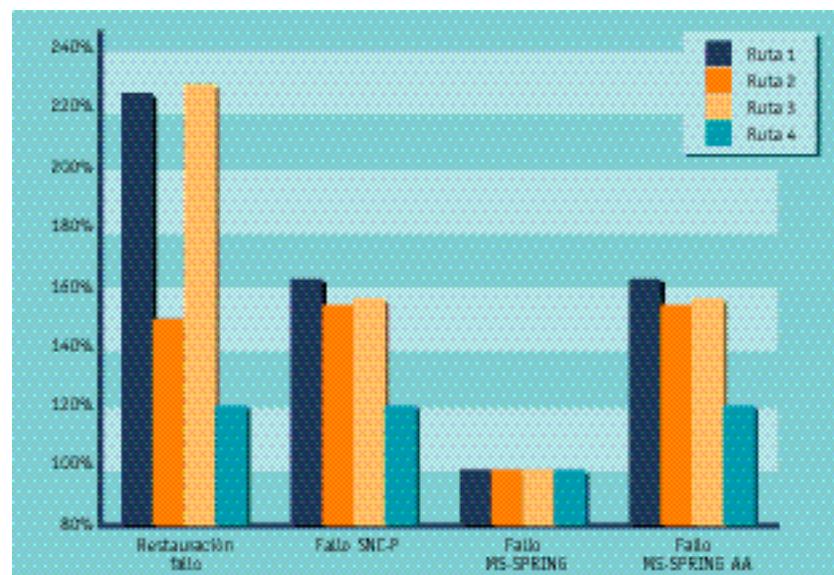


Figura 5 – Ejecución de protección y restauración en una red TCP/IP.

Esta figura muestra lo que fue intuitivamente explicado anteriormente: el restablecimiento es el mecanismo de supervivencia de más fácil utilización para redes TCP/IP; Anexo A del MS-SPRING y Protección-Conexión SubRed (SNC-P) son las siguientes opciones más efectivas, mientras que MS-SPRING normal, es el de menor efectividad.

### Funciones administrativas de OAM&P

Como en cualquier mecanismo normal de control de procesos, en la gestión de la red se ven implicados un número determinado de procesos. Hay dos mecanismos principales: aquellos que observan la red y aquellos que la controlan para alcanzar un determinado objetivo de configuración o efectividad de la misma. Las aplicaciones siguientes pertenecen al dominio de la observación:

- Topología de red y utilización de recursos.
- Localización de fallos y administración de servicios.
- Efectividad de circuito y supervisión del tráfico.

El primer proceso es importante para entender el estado de utilización de la red e identificar cuellos de botella. La localización de fallos y la función de supervisión son cruciales para el mantenimiento, mientras que la administración de servicios, prestación de los circuitos y la supervisión de tráfico son utilizados para soportar centros de llamada asistidos por web, minimizando así el personal de atención al cliente en la organización del usuario. Las siguientes aplicaciones tienen que ver con la gestión y control de red:

- Aprovisionamiento administrativo de cliente-iniciado y de la capa-cliente.
- Resistencia

- Seguridad.
- Dimensionado de la red y asignación de recursos.

Aprovisionamiento administrativo de cliente-iniciado y de la capa-cliente es un modo de controlar la conectividad de la red desde un punto central, como un Centro de Operaciones de Red, desde un cliente que alquila una VPN (Red Privada Virtual) o desde una plataforma de datos/voz que utiliza la red de transmisión.

La resistencia incluye funciones de observación y control.

La seguridad incluye procesos como el Dominio de Acceso a la Red (NAD), que administra el acceso a los recursos de la red, y el Dominio del Acceso a la Función (FAD), que administra el acceso a las funciones de red desde el sistema de gestión de red para garantizar servicios como las líneas alquiladas de Jerarquía Síncrona Digital/Multiplexación por División de Longitud de Onda (SDH/WDM). Los servicios sin conexión, como el IP, requieren técnicas de encrip-

tación y encapsulado, como es el caso del servicio IPsec.

Debido al crecimiento del tráfico, las redes necesitan adaptarse a él con expansiones geográficas, e incrementar su capacidad. Las redes no se construyen en una única etapa; han de ser planificadas, eliminar los cuellos de botella y actualizarse para enfrentarse a los servicios demandados. La interacción entre el sistema de gestión de red, la planificación de la misma y el diseño de herramientas, ayuda a los operadores de red a llevar a cabo esta compleja tarea de una forma más eficiente. Además, dependiendo de las predicciones de crecimiento del tráfico y de la demanda, será necesario implementar algunos recursos para garantizar el compromiso entre la escalabilidad de la red y los objetivos de ocupación de la misma.

En resumen, éstos son los principales aspectos de la gestión de red. Como con cualquier proceso, se pueden implementar de forma centralizada o distribuida. La mayoría de ellos se adaptan mejor en una implementación

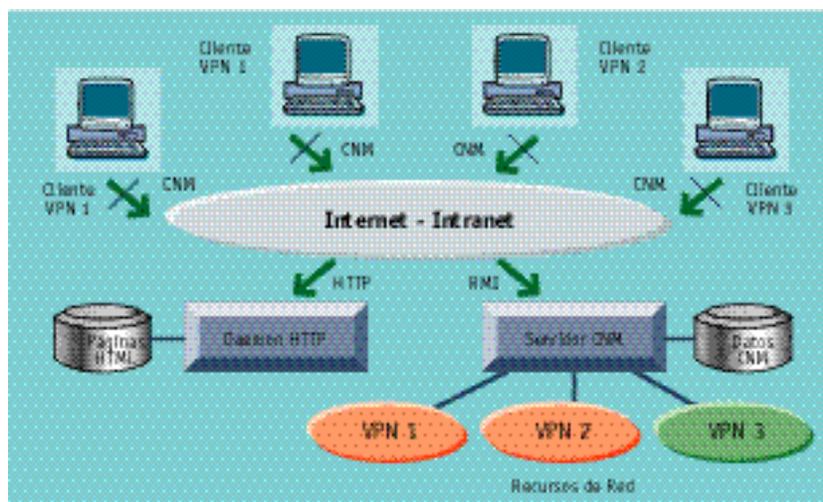


Figura 6 – Implementación de VPNs en redes de transmisión.

**CNM:** Customer Network Management  
**HTML:** HyperText Markup Language

**HTTP:** HyperText Transfer Protocol  
**RMI:** Remote Method Invocation

centralizada como la gestión de servicios, administración de recursos, planificación y dimensionado y facturación.

El aprovisionamiento de servicios está tan cerca de actividades como la planificación y optimización de recursos que se lleva a cabo, normalmente, utilizando sistemas de gestión de red centralizados. Sin embargo, las nuevas implementaciones están considerando el uso de soluciones de aprovisionamiento distribuido.

### Servicios de red privadas virtuales

Los operadores utilizan las VPNs para aumentar el valor de sus servicios e incrementar su rentabilidad. Pueden ofrecer a sus clientes (por ejemplo, usuarios corporativos) la capacidad de establecer, administrar y verificar la calidad del servicio que están recibiendo, utilizando un PC y un navegador de web conectado al sistema de gestión de red/servicios del operador. Esto crea islas privadas corporativas en una infraestructura pública manejada por el operador de la red. Todo esto lleva incorporado un sistema de medidas de seguridad total, para evitar la filtración de información OAM&P entre diferentes VPNs. La **Figura 6** ilustra el concepto de VPN.

### Coordinación entre las capas IP y de transmisión

Se han desarrollado y utilizado con total éxito aplicaciones de enrutamiento de transmisión dinámico en un gran número de RTPCs por todo el mundo, como por ejemplo en la RTPC de AT&T. En este caso los conmutadores RTPC eran capaces de establecer o echar abajo conexiones proporcionadas por la red de la transmisión.

Por una parte, este tipo de enrutamiento ha mejorado la calidad

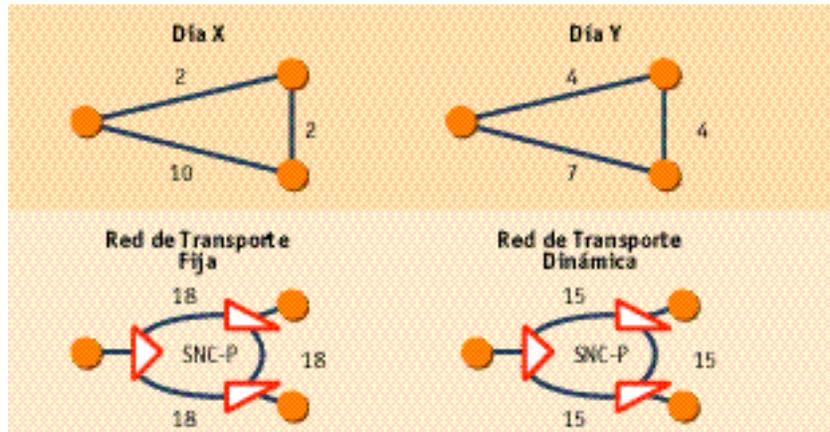


Figura 7 – Reducción de capital desembolsado utilizando enrutamiento dinámico.

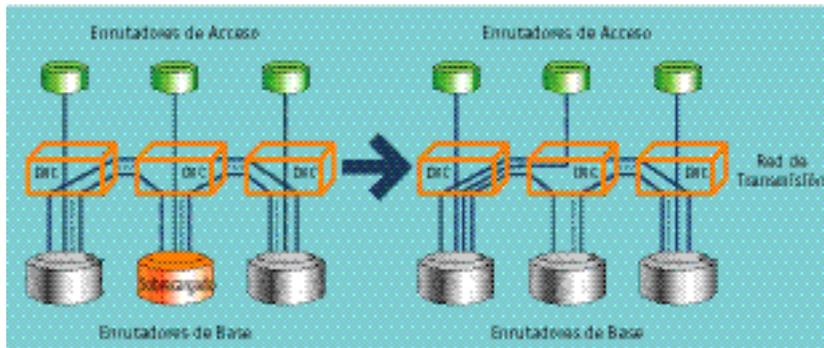
de servicio e incrementado los beneficios, reduciendo el número de llamadas bloqueadas durante la sobrecarga de la infraestructura y fallos en la red. Por otra parte, utilizando eficazmente la capacidad del tráfico reserva, se optimiza la inversión de la red, desbloqueando la capacidad que no podría ser utilizada de otro modo debido a una falta de flexibilidad. Se han obtenido medidas de las mejoras en la ejecución, cuando se utiliza tráfico dinámico y enrutamiento de transmisión en la RTPC de AT&T, con prestaciones de bloqueo de llamadas de 99% a 99,999% en el día más ocupado del año [1].

Como resultado de la presión que supone la optimización en el desembolso del capital y la calidad de servicio en redes IP, el enrutamiento dinámico parece ser la arquitectura de red más apropiada para interconectar la capa IP y la red de transmisión. Esto ha sido reconocido por los principales grupos de estandarización como el IETF (Internet Engineering Task Force) y la UIT-T (International Telecommunications Union – Telecommunications).

El enrutamiento dinámico requiere que la capa IP configure la

red de transmisión subyacente de acuerdo al tráfico proyectado, las variaciones de carga, los fallos y la congestión en la red. También requiere una infraestructura de transmisión subyacente flexible y dinámicamente configurable. Todo esto puede llevarse a cabo mediante multiplexores de extracción/inserción y transconectores digitales, así como con multiplexores ópticos de extracción/inserción y transconectores ópticos de próxima aparición.

Existen varias razones por las cuales el concepto de enrutamiento dinámico de transmisión ofrece también beneficios en una red de paquetes de banda ancha. Una es la inseguridad en las previsiones de tráfico. En condiciones normales de mercado, la mayoría de los operadores están sobredimensionando exageradamente sus redes para mantenerse al día debido al crecimiento en la demanda del tráfico y la necesidad de proporcionar una razonable calidad de servicio (QoS). El encaminamiento dinámico de recursos en tiempo real, allí donde son requeridos, minimiza la inversión a efectuar en la red. Las variaciones en la carga a diferentes horas del día y diferentes días de la semana puede gestionarse



**Figura 8 – Mejora de la QoS con el enrutamiento dinámico.**

más eficazmente por una red que utiliza enrutamiento dinámico de transmisión, que por otra que lo haga mediante enrutamiento fijo. El siguiente ejemplo clarifica algunos de los beneficios del enrutamiento dinámico. Tiene en cuenta las cargas de tráfico en red de dos días X e Y. Más comúnmente, cubriría las diferencias en cargas y la no-coincidencia de flujos de tráfico intermedios, supongamos, domingo y lunes. La **Figura 7** ilustra las cargas de tráfico posibles entre tres nodos IP y las consecuencias en la red de transmisión utilizando enrutamiento dinámico y enrutamiento fijo.

Como puede verse en la **Figura 7**, una red de enrutamiento dinámico de transmisión es más eficaz en la gestión de las variaciones de la carga de tráfico que una red de transmisión fija. Si la red está basada en una red de anillos de protección de conexión de subred, la solución de enrutamiento fijo requiere una carga neta de capacidad de anillo, de 18, mientras que la solución de enrutamiento dinámico requiere una capacidad neta de carga de 15. Esto es porque la solución de enrutamiento fijo ha de ser dimensionada para soportar la carga de tráfico más alta por enlace en ambos días ( $10+4+4=18$ ). En comparación

una red de enrutamiento dinámico ha de dimensionarse para la carga en la red en el peor día, es decir,  $7+4+4=15$ . Una red de enrutamiento dinámico dimensionada para transportar una carga útil de 15 en el día Y, puede transportar una de 14 en el día X. Si las variaciones en la carga de tráfico son mayores y la complementariedad del tráfico es, de alguna forma, mantenida, se incrementarían los beneficios del enrutamiento dinámico.

Para extender los beneficios del enrutamiento dinámico de transmisión, se debería poder cambiar la conectividad entre nodos y la tasa de línea de algunos enlaces. Si un nodo está más cargado y como consecuencia de ello más congestionado que otros, el enrutamiento dinámico debería ser capaz de trasladar la capacidad de entrada desde el nodo en congestión a otros más aliviados de carga. Estos cambios necesitan ser coordinados por la capa IP para permitir la actualización de las tablas de enrutamiento según los cambios en la conectividad de la red, como queda reflejado en la **Figura 8**.

### Conclusiones

Este artículo ha analizado como ha evolucionado la red de transmisión para preparar el terreno

hacia un rápido crecimiento de los servicios de datos. Los factores clave del éxito en las condiciones de competitividad del mercado actual son: calidad de servicio, prestaciones rápidas y rendimiento en la red, teniendo como consecuencia unos mayores ingresos y mayores cuotas de mercado.

Los elementos flexibles de la red óptica y los sistemas de gestión de red inteligente son la clave para asegurar el soporte, desde todos los ángulos posibles, de la gestión de servicios extremo-a-extremo. ■

### Referencia

1. A. Odlyzko: «Economics of the Internet: Utility, Utilization, Pricing, and Quality of Service», **AT&T Research**, Julio 1998.

**Claudio Coltro** es director de Estrategia de Red en el grupo de Estrategia de Productos de Red del Grupo de Óptica, en Vimercate, Italia.

**Gert Grammel** es responsable de IP, SDH e Interconexión de Redes de Capa Óptica en el grupo de Estrategia de productos de Red del Grupo de Óptica, en Vimercate, Italia.



M. Erman

# I Preparando el futuro

> Los servicios IP afectarán a la implementación de una red de transmisión, evolucionando desde la actual tecnología SDH/SONET a una red de capa óptica.

## Introducción

La investigación en el campo de las comunicaciones ópticas y las tecnologías relacionadas, como el láser y la fibra óptica, tiene una larga historia. Sin embargo, durante décadas, ha permanecido confinada a la investigación en laboratorios. Hace diez años, el fenómeno físico del quantum en semiconductores era debatido entre entusiastas científicos, pero no atraía mucho la atención del mercado. Hoy, las tecnologías ópticas se ven como una nueva mina de oro, y las conferencias técnicas sobre el tema atraen no sólo a la comunidad técnica, sino también a los capitalistas aventureros. Esto es un reconocimiento a la importancia de las tecnologías ópticas en las telecomunicaciones.

Tras el desarrollo de las fibras de muy baja pérdida, la óptica comenzó en los primeros años de la década de los 90, con el invento del Amplificador de Fibra Dopada de Erblio (EDFA) que permitió transmitir casi a distancias ilimitadas. El EDFA fue el que facilitó la segunda mayor revolución, que se fraguó en la introducción –hace unos pocos años– de la Multiplexación por División de Longitud de Onda (WDM). Gracias a la capacidad

de los EDFAs de amplificar varias longitudes de onda simultáneamente, el WDM se ha confirmado como la forma más económica y práctica de mejorar las redes.

Estos adelantos tecnológicos extraordinarios han coincidido en el tiempo con una continua demanda de incremento de capacidad, disparada, a su vez, por la liberalización, la globalización y, por supuesto, por la explosión de los servicios móviles y de Internet. Todos estos factores juntos han dado como resultado lo que mucha gente relaciona con la «ley óptica de Moore», que está relacionada con el crecimiento exponencial de la capacidad de transmisión que se duplica cada 4 a 12 meses (dependiendo del país y de los enlaces de la red), una velocidad más rápida que la de la electrónica. Esta acelerada tasa de crecimiento de la capacidad está impactando en todos los sectores de nuestra industria: los ciclos de desarrollo necesitan acortarse, los ciclos de vida de los productos se reducen, y la tasa de innovación necesita acelerarse. Consecuentemente, la investigación y el desarrollo son más importantes que nunca.

Alcatel ha invertido continuamente en investigación y desarrollo y ha desarrollado internamente muchas de las tecnologías

clave. En el campo de la óptica, los tres centros de investigación corporativos localizados en Richardson (Dallas, Estados Unidos), Stuttgart (Alemania) y Marcoussis (cerca de París, Francia) cubren las actividades de investigación que abarcan todos los campos, desde las tecnologías básicas hasta las de la red. Los laboratorios de Stuttgart y Marcoussis incluyen amplias capacidades de procesamiento que permiten que estas tecnologías sean desarrolladas con un nivel tal de madurez que las permite ser transferidas con facilidad a la producción.

La investigación en Alcatel tiene fuertes lazos con las principales instituciones académicas y universitarias. Es más, los laboratorios de Marcoussis son parte del «Optics Valley», situado al sur de París, donde hay una alta concentración de universidades, laboratorios de investigación e industrias trabajando en el campo de la óptica. En el campo de los componentes optoelectrónicos, Alcatel ha creado OPTO+, un laboratorio de investigación en combinación con FT R&D, situado en Marcoussis. Todo ello da a Alcatel la fuerza y la experiencia para ser el protagonista clave en el campo de las telecomunicaciones ópticas.

### Tendencias y direcciones en investigación

Las direcciones en investigación tienen que tener en cuenta las principales tendencias que se observan en la área de las telecomunicaciones, como son:

- **Incremento de la capacidad:**

Se espera que la demanda de capacidad, durante los próximos años, continúe, al menos, a un ritmo igual al actual. Esto significa que de las capacidades de hoy en día, cercanas a un Tbit/s por fibra, se necesitará alcanzar hasta 10 Tbit/s o más por fibra. Considerando que en el ámbito de la columna vertebral de la red, la distancia entre dos regeneradores puede ser superior a unos pocos cientos de kilómetros, esto significa que estamos hablando de redes de ¡10 petabit/s.km o más!. Otra importante medida de capacidad es la densidad espectral, que es

el número de bit/s por Hz. Un típico sistema comercial con canales de 10 Gbit/s y 100 GHz tiene una densidad espectral de 0,1 bit/s/Hz. El reto para los investigadores está en incrementar este orden de magnitud.

- **Mejorar las redes existentes y construir nuevas redes:**

Dada la infraestructura de fibra existente, la pregunta sobre cómo mejorarla nos dirige hacia cuestiones técnicas importantes referentes a la fibra instalada y a la infraestructura de la red. Al mismo tiempo, alrededor de 80 millones de kilómetros de fibra monomodo se venden al año, lo que significa que, además, se están instalando nuevas redes. La optimización y las opciones técnicas para una red que «se diseña desde el principio» son diferentes.

- **Reducción de costes:** Este es, por supuesto, un elemento clave para los operadores y

tiene múltiples impactos. El incremento de la densidad espectral en la transmisión WDM supone ya una reducción de «coste por bit». Sin embargo, uno de los retos claves hoy en día, es reducir el coste de los componentes ópticos y de los subsistemas. En los laboratorios de desarrollo, esto se refleja en los continuos esfuerzos por integrar varios elementos sin reducir las características de funcionamiento. Dispositivos más compactos, menor consumo de energía, y funcionalidades más amplias, todo ello contribuye a las reducciones de costes. Pero las reducciones de costes alcanzadas a través de las curvas de aprendizaje en los procesos de producción no son suficientes; se necesitan otros avances tecnológicos. Avanzadas tecnologías de empaquetado para dispositivos optoelectrónicos, regeneradores y originales arquitecturas de red son las típicas

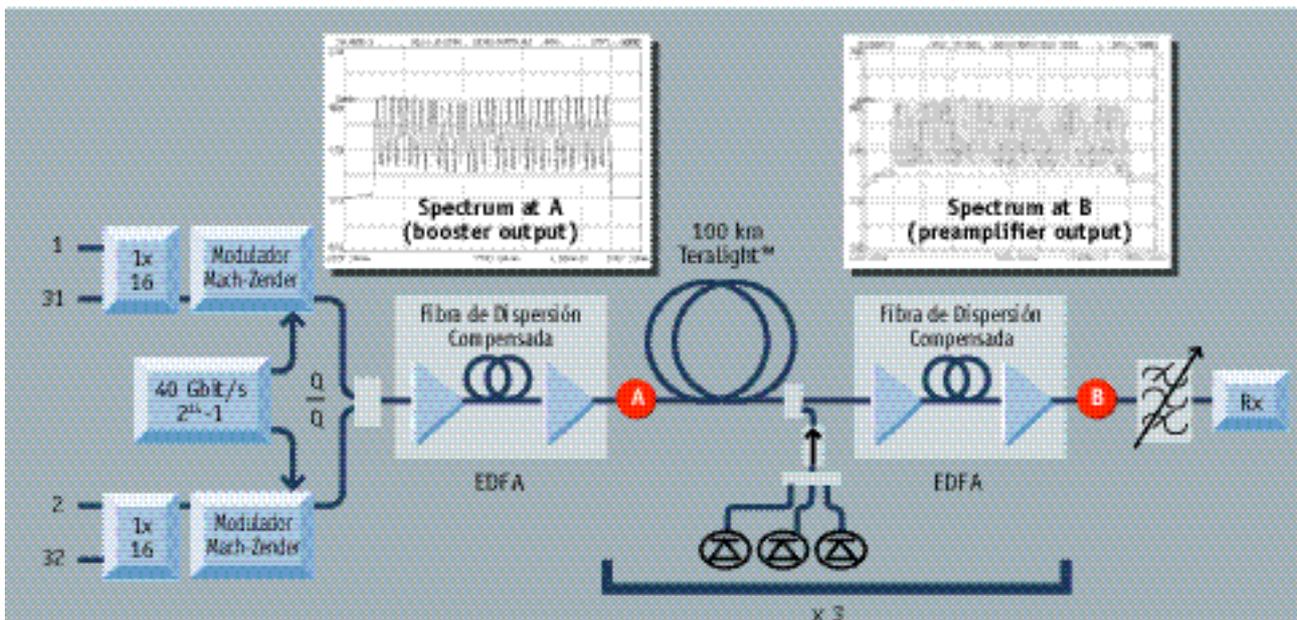


Figura 1 – Sistema de transmisión experimental operando a 1,28 Tbit/s (32x40 Gbit/s) sobre tres tramos de 100 km. de fibra de Teralight™; todos los canales alcanzan un porcentaje de errores de bit de  $10^{-9}$ .

áreas donde los grupos de investigación están haciendo las contribuciones más significativas.

- **Impacto del tráfico de datos en las redes:** El tráfico de datos y, más específicamente, el tráfico de Internet, está, por supuesto, impactando en la red y en los elementos ópticos de la red (transconectores, routers, etc.). Una importante área de investigación está en el diseño de esquemas innovadores que nos lleven mas allá de las actuales soluciones, para optimizar la utilización de los recursos de la transmisión WDM respecto a la explosiva naturaleza del tráfico de datos.

**Actividades de investigación en transmisión**

Comenzando desde un sistema WDM dado, hay varios caminos por los que se puede mejorar la capacidad: incremento de la velocidad binaria de un canal dado, ensanche de la gama espectral de los amplificadores ópticos (ventana de transmisión) y estrechamiento del espaciado entre los canales. Se necesita utilizar estas tres propuestas para alcanzar la capacidad última de transmisión.

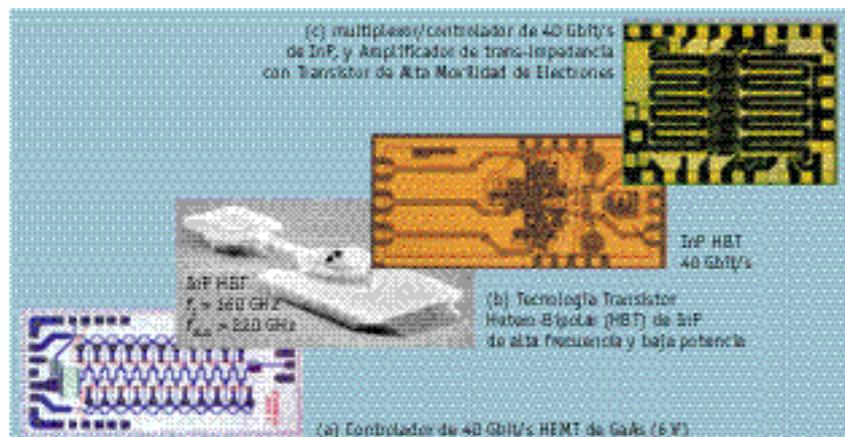
El incremento de la velocidad binaria de cada canal requiere una electrónica de más alta velocidad. A más altas velocidades los empeoramientos de la fibra –dispersión cromática y Dispersión en Modo Polarización (PMD)– pueden, también, limitar la distancia de transmisión o la capacidad alcanzable. La investigación de Alcatel ha hecho significativas contribuciones en ambas áreas. Esto ha quedado ilustrado con la reciente demostración de la transmi-

sión de Tbit/s basada en una velocidad binaria de 40 Gbit/s por canal (32x40 Gbit/s sobre 300 km. de fibra Teralight<sup>TM</sup> con proceso electrónico completo, como se muestra en la **Figura 1**).

La investigación de Alcatel está trabajando en equipos electrónicos y optoelectrónicos de alta velocidad para sistemas de 40 Gbit/s y mayores. La experiencia en el diseño de la electrónica avanzada de SiGe ha demostrado ser un activo importante. Para algunas funciones electrónicas, sin embargo, donde la potencia y el ruido son importantes (por ejemplo, controladores de modulador, circuitos de decisión, preamplificadores), también se está investigando en microelectrónica de semiconductores del grupo III-V (ver **Figura 2**), enfocándose en los dispositivos InP que tienen la potencialidad de ir más allá de los 40 Gbit/s. En el campo de los equipos opto-electrónicos, las investigaciones han demostrado, que, por ejemplo, los moduladores de electro-absorción de 40 Gbit/s, se pueden usar solos o integrados con láser. Por supuesto, Alcatel está teniendo

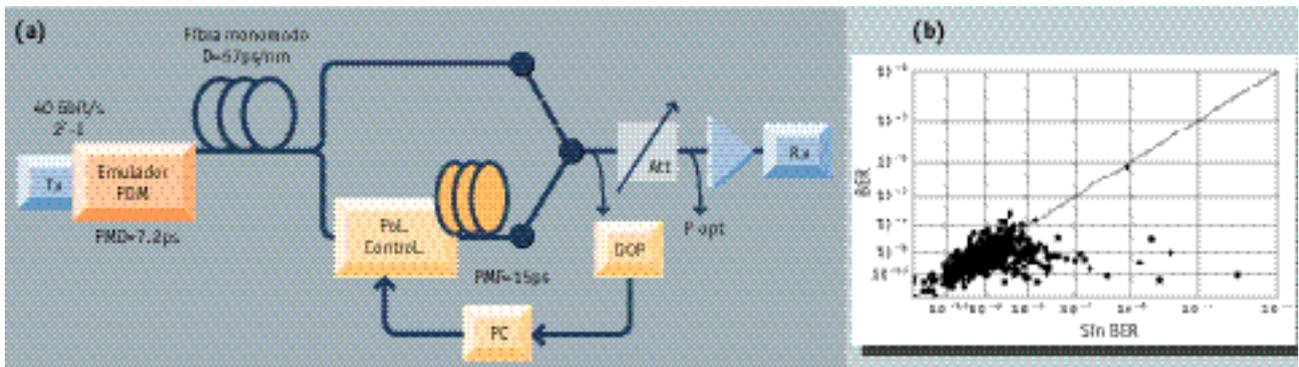
en consideración todos los componentes ópticos y electrónicos para una cadena de transmisión completa, desde el transmisor al receptor, y ya está preparando la tecnología que será capaz de alcanzar los 160 Gbit/s por longitud de onda.

En situaciones prácticas, donde el PMD de la fibra no es suficientemente bajo (fibras «antiguas» y/o enlaces largos), se necesita un compensador PMD. Los investigadores de Alcatel han trabajado en la solución de compensaciones para el PMD. Se han estudiado varias arquitecturas para compensadores de PMD ópticos y electrónicos y algunas se han usado en pruebas de campo en enlaces existentes de 10 Gbit/s. Recientemente, se han hecho demostraciones de compensación de PMD a 40 Gbit/s (ver **Figura 3**). Hoy, esencialmente, los sistemas WDM usan la ventana proporcionada por el primer amplificador de fibra dopado con Erblio, ahora llamada, banda C (ventana de 30 nm alrededor de 1,55  $\mu$ m). Las propiedades de la fibra, sin embargo, amplían la posibilidad de explorar ventanas espectrales más anchas: las bandas llamadas L y XL en la



**Figura 2 – Tecnologías de semiconductores de alta velocidad basadas en tecnologías del grupo III-V.**

- (a) controlador de 40 Gbit/s HEMT de GaAs (6 V),
- (b) tecnología Transistor Hetero-Bipolar (HBT) de InP de alta frecuencia y baja potencia,
- (c) multiplexor/controlador de 40 Gbit/s de InP, y Amplificador de trans-impedancia con Transistor de Alta Movilidad de Electrones (HEMT) 40 Gbit/s de InP.



**Figura 3 – Estructura de compensador PMD totalmente óptico.**

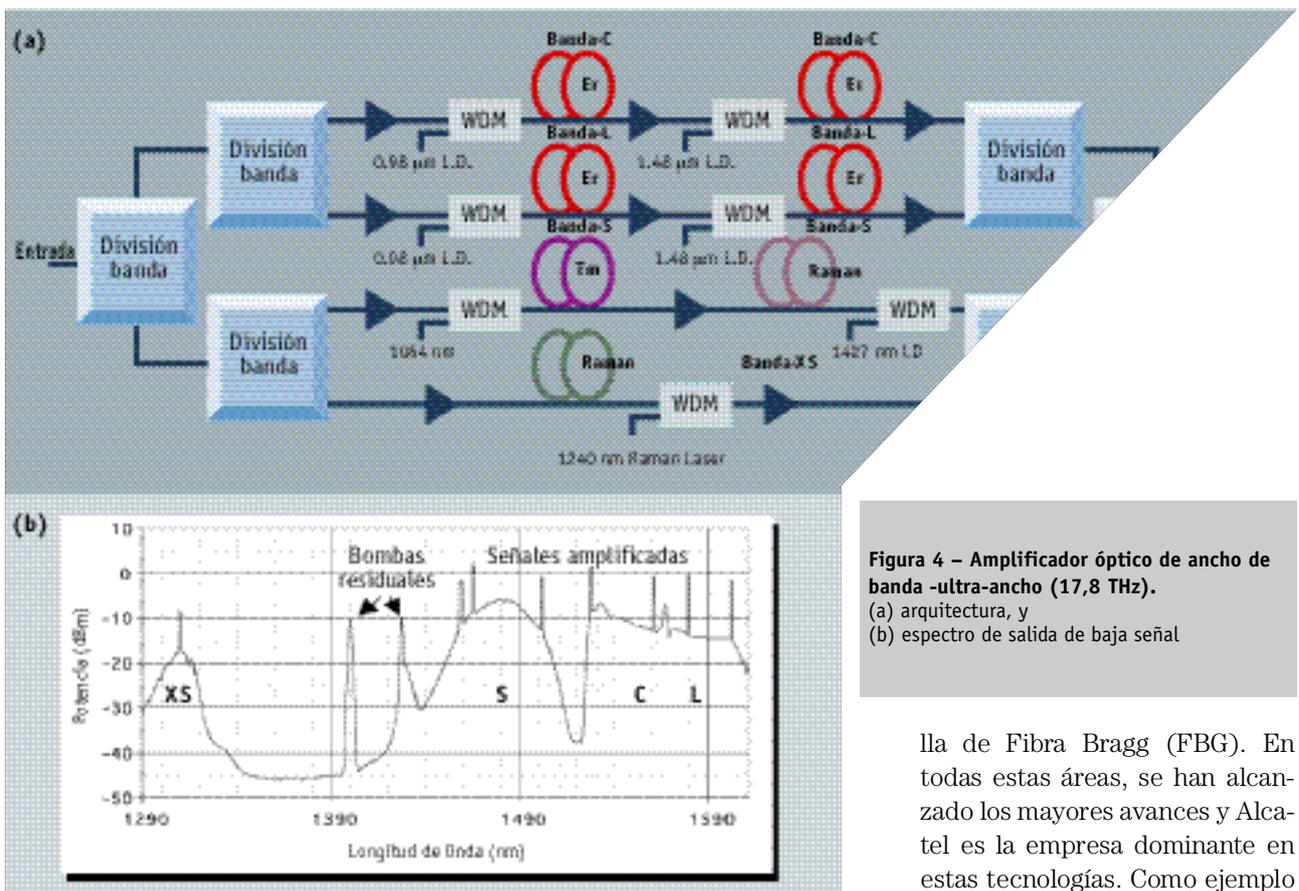
(a) arquitectura independiente de la velocidad binaria, y (b) los resultados a 40 Gbit/s muestran la gran mejora en la tasa de errores en los bits.

**DOP:** Grado de Polarización    **PC:** Ordenador Personal    **PMF:** Fibra con Mantenimiento de la Polarización

proximidad de los 1,6  $\mu\text{m}$ , la banda S en la proximidad de los 1,5  $\mu\text{m}$  e, incluso, más abajo en la región de los 1,3  $\mu\text{m}$ . Tan amplia gama de longitudes de onda requiere amplificadores ópticos específicos. Alcatel está trabajando en materiales avanzados y arquitectura de amplifica-

dores para cubrir estas cuatro ventanas, como se ilustra en la **Figura 4**. Recientemente, se ha alcanzado un récord mundial, una ventana de amplificación óptica de 17,8 THz, lo que permite, en teoría, la propagación desde 5 a 10 Tbit/s con un razonable espaciado de canales.

El funcionamiento de los amplificadores ópticos depende fuertemente de algunos dispositivos tales como, las bombas de semiconductores de alta potencia (980 nm y 1.480 nm), fibras especiales, y filtros de ganancia plana basados en la tecnología de Reji-



**Figura 4 – Amplificador óptico de ancho de banda -ultra-ancho (17,8 THz).**  
 (a) arquitectura, y  
 (b) espectro de salida de baja señal

lla de Fibra Bragg (FBG). En todas estas áreas, se han alcanzado los mayores avances y Alcatel es la empresa dominante en estas tecnologías. Como ejemplo

de ello están las demostraciones realizadas con láseres de 1.480 nm, trabajando en monomodo con un par de potencia de salida de más de 1 W.

Estrechar el espaciado de canales significa enfrentarse a problemas como la falta de linealidad de las fibras, la conmutación y el filtrado óptico. Hay que llevar a cabo una cuidadosa optimización de las características de las fibras, llegando a un equilibrio entre la supresión de la falta de linealidad y el coste de la compensación de la dispersión. La fibra Teralight™ de Alcatel, que es el primer resultado de esta investigación, ofrece, en ambos casos, altas tasas de bits (40 Gbit/s) y alta eficacia espectral (0,4 bit/s/Hz). A bajas tasas de bits (10 Gbit/s), el espaciado de canales se puede incluso bajar más. El típico espaciado entre canales de los sistemas de transmisión de última generación es de 50 GHz (inclusivo se prevé un espaciado menor, de unos 25 GHz). El filtrado óptico es una tecnología crítica, como lo es también la del espaciado de canales; Alcatel ha estado investigan-

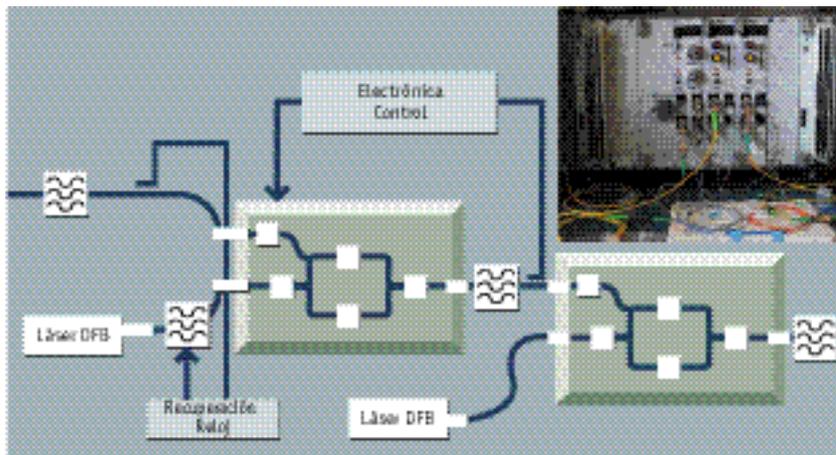


Figura 6 – Regenerador 3R completamente óptico.

DFB: Respuesta Distribuida

do ambas, la tecnología FBG y las Rejillas de Guía de Onda en Array (AWG). La **Figura 5** muestra los resultados para un demultiplexor AWG de 40 canales.

Densidades espectrales más altas requieren estrechar el espectro de la señal modulada para dejar espacio al filtrado. Por ello, estamos dirigiendo las investigaciones hacia nuevos formatos de modulación que combinen buenas propiedades de transmisión con una alta eficacia espectral. Hemos

mostrado, por ejemplo, lo que se conoce como Transmisión Binaria Desfasada (PSBT), basada en una combinación de amplitud y modulación de fase, que dobla la tolerancia a la dispersión cromática y reduce a la mitad el ancho del espectro de cada canal. Por otro lado, las transmisiones ultra largas en distancias transoceánicas precisan de un formato de modulación que sea capaz de resistir a los efectos de la propagación. En esta área hemos estudiado la opti-

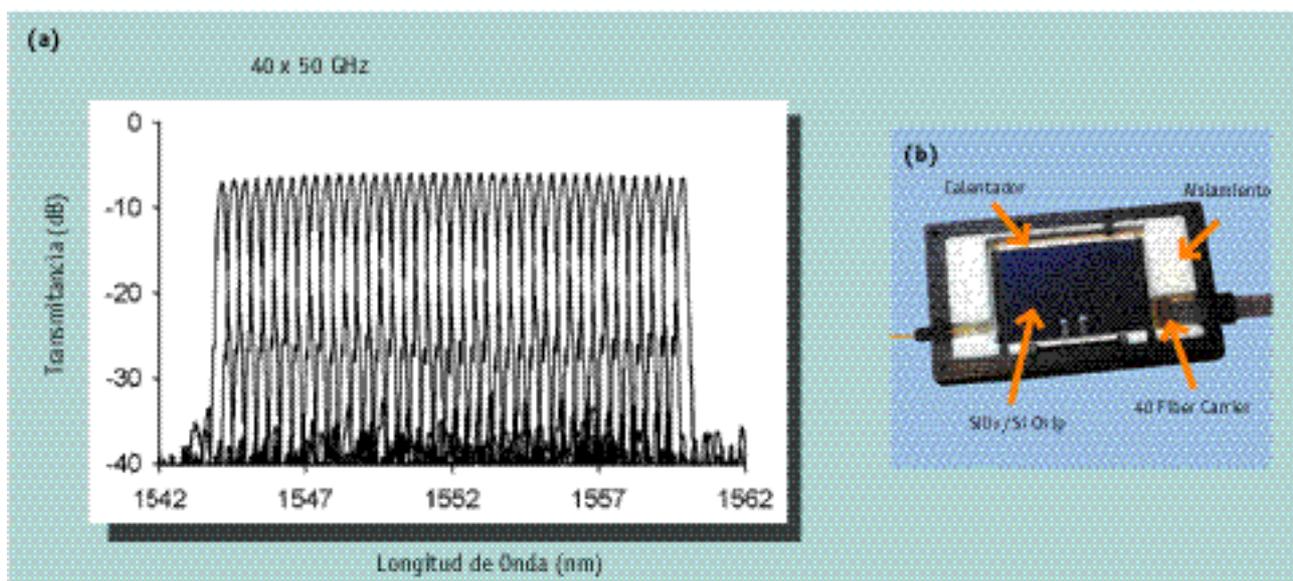
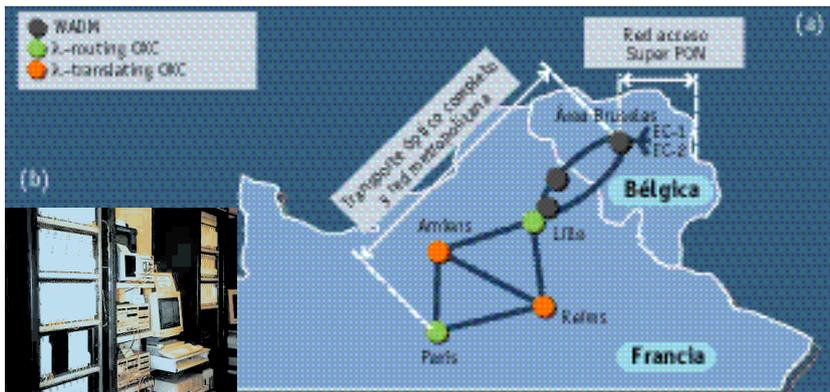


Figura 5 – Demultiplexor AWG de 40 canales con un espaciado entre canales de 50 GHz (a) respuesta espectral, y (b) dispositivo empaquetado



**Figura 7 – Proyecto PELICAN**

(a) topología de las pruebas de campo  
(b) conmutación óptica de traducción de longitud de onda.

**OXC:** Transconector Óptico    **WADM:** Multiplexor de Longitud de Onda de Extracción/Inserción  
**PON:** Red Óptica Pasiva

mización del diseño de enlaces que soporten el manejo de la dispersión de solitones (un solitón es un corto e intenso pulso óptico). El incremento de distancia entre los regeneradores electrónicos es tan importante como la capacidad. Sin embargo, al incrementarse la velocidad binaria, la acumulación de fluctuaciones de fase y de ruido obliga a una regeneración de señal más frecuente. Los laboratorios de investigación de Alcatel están investigando sobre la regeneración 3R completamente óptica (Reforma, Retemporización, Reamplificación) como una potencial alternativa de ahorro de coste efectivo frente a soluciones optoelectrónicas. Varias soluciones se están validando en este momento, todas ellas trabajando con tasas de bits de hasta 40 Gbit/s, con posibilidad de incluso tasas de bits más altos. La **Figura 6** ilustra un primer esquema, basado en la falta de linealidad en estructuras interferométricas de semiconductores activos que es compatible con la integración óptica. Varios cientos de componentes se han concatenado en cascada y, libres de fallos, a 10 Gbit/s, permitiendo alcances de decenas de miles de km.; incluyendo esto, la completa recupe-

ración del reloj óptico basándose en un láser autopulsante. Otra solución basada en la transmisión no lineal y en la modulación síncrona con un modulador InP, tiene la capacidad de regenerar varios canales WDM simultáneamente, con una reducción significativa de coste por canal. Se ha realizado ya una primera demostración de una transmisión de 4x40 Gbit/s en 10.000 km. con una regeneración periódica usando este dispositivo.

#### Actividades de investigación en redes ópticas

La investigación de Alcatel es pionera en un buen número de nuevas tecnologías y conceptos relacionados con las redes ópticas. En el pasado, se han presentado multiplexores ópticos de extracción/inserción y transconectores totalmente ópticos. En pruebas de campo, durante la trayectoria del ACTS del proyecto OPEN se han pasado pruebas a los transconectores totalmente ópticos, que usan sofisticadas tecnologías completamente ópticas (como la traducción de la longitud de onda y la conmutación óptica). En este momento, se están realizando

amplias pruebas de campo en las redes de France Telecom y Belgacom. Estas pruebas que incluye conmutaciones ópticas, multiplexores ópticos extracción/inserción y redes de acceso óptico (ver **Figura 7**), son parte del proyecto europeo PELICAN. Este proyecto pone su mayor énfasis en demostrar que la red funciona sobre una infraestructura de red WDM totalmente óptica.

La tendencia en las transmisiones muestra un crecimiento explosivo del WDM, que es mucho más rápido que la Multiplexión por División en el Tiempo (TDM). En el ámbito de la red, sin embargo, el número de nodos con la columna vertebral de WDM (por ejemplo, los transconectores) parece mantenerse limitado. Esto implica que los transconectores van a crecer considerablemente en tamaño y, al final, habrá que manejar miles de longitudes de onda. Dado que los transconectores ópticos (ver el artículo de Perrier y Thompson en esta revista) tienen la capacidad de ser transparentes al número de longitudes de onda, surgen las siguientes cuestiones: ¿Qué cantidad de longitudes de onda se manejarán? y ¿qué clase de tecnología y arquitectura será capaz de proveer la escalabilidad y la potencialidad en un servicio que está necesitando mejoras por el rápido y todavía impredecible crecimiento del tráfico?

Los investigadores de Alcatel están estudiando una solución que es la del concepto de longitud de onda asociada, para construir una nueva jerarquía de multiplexión en WDM. Por ejemplo, una nueva granularidad consistente en hasta 16 longitudes de onda a 10 Gbit/s podría ser la alternativa a la solución TDM de 160 Gbit/s. Estas nuevas entidades deberían cambiar a lo que se llama sistema de transconectores ópticos de

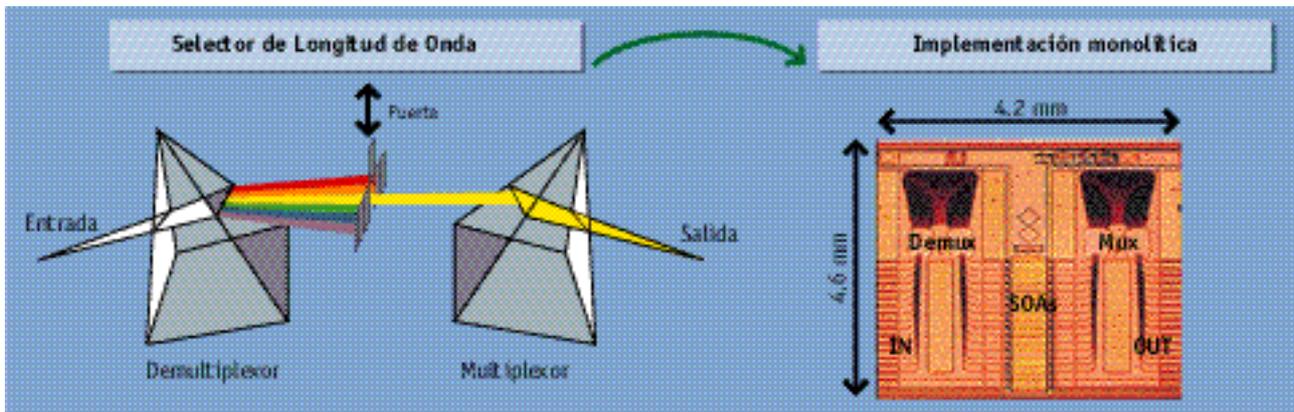


Figura 8 – Selector de longitud de onda monolítica usado como filtro rápido de longitud de onda (a) principio de operación, y (b) chip de InP

multigranularidad. Aquí, multigranularidad se refiere al hecho de que el transconector óptico puede, igualmente bien, conmutar el tráfico completo de una determinada fibra (conmutación de fibra), a un grupo de longitudes de onda o a una única longitud de onda. Solamente es aplicable la última situación en unos transconectores lambda. En un transconector de multigranularidad, los conmutadores ópticos usados en la matriz son de banda ancha y pueden ser utilizados independientemente para fibra, banda de longitud de onda o conmutación de longitud de onda. La escalabilidad del transconector se consigue particionando la matriz óptica. Los primeros modelos de construcción de una red europea, así como su arquitectura, han mostrado que el número de puertos transconectores se puede reducir, al menos, por un factor de cuatro en capacidades superiores a decenas de Tbit/s.

El tercer campo de estudio dentro de estas investigaciones se refiere al impacto de los datos tanto en redes centrales como en redes metropolitanas. En esta área estamos llevando a cabo diferentes trabajos de investigación, partiendo del acuerdo de una optimización común del Protocolo de Internet (IP) Terarou-

ters y transconectores ópticos (circuito de detección en flujos de IP, la aplicación de Conmutación de Etiqueta de Multiprotocolo a canales ópticos, requisitos de capacidad y estudios de funcionamiento) para una nueva generación de redes centrales con WDM de datos, hacia conceptos de redes más avanzados. En particular, estamos investigando la posibilidad de la conmutación de estallido óptico, donde los paquetes IP se concatenan en un contenedor óptico, con lo que se gana en orden de magnitud en la capacidad de transmitir de los Terarouters de etapa simple, mientras proporciona una mejor utilización de los recursos y una mejor adaptabilidad a la impulsividad del tráfico de datos que los transconectores ópticos. (ver *Revista de Telecomunicaciones de Alcatel*, 2<sup>o</sup> Trimestre de 1999: «Convergencia de datos, voz y multimedia sobre WDM: El caso de los routers ópticos», de D. Chiaroni y otros).

En el área de las redes metropolitanas, se están llevando a cabo una serie de estudios para optimizar tanto la capacidad, como la flexibilidad, con la idea de hacer frente al tráfico de datos, utilizando las posibilidades que ofrecen las tecnologías de conmutación óptica. Se están te-

niendo en consideración los siguientes conceptos:

- El uso de la transparencia de la tecnología óptica para proporcionar la diferenciación de servicio.
- Soluciones de anillos ranurados asociadas a la transmisión de paquetes, con la ventaja de proporcionar flexibilidad de asignación de ancho de banda completo basándose en las técnicas de Acceso Múltiple por División en el Tiempo (TDMA). La utilización de recursos se optimiza sin almacenamiento interno gracias al uso del protocolo de Control de Acceso al Medio (MAC).
- El formato de transmisión avanzada. Por ejemplo, estamos considerando la transmisión directa de tramas de Ethernet al interior de la infraestructura óptica. También estamos investigando en la Multiplexación Óptica por División de Código (OCDM); cuando se utiliza con técnicas TDMA, esto puede proporcionar soluciones de asignación de ancho de banda muy flexible.

Actualmente se están llevando a cabo pruebas de campo en la red de Deutsche Telekom para de-

mostraciones de algunas de estas técnicas, así como, soluciones de administración de redes metropolitanas con costos eficaces, en un entorno de multidistribuidores.

Se necesitan varias tecnologías clave para desarrollar estos conceptos y llevarlos a soluciones prácticas. Todo ello, incluye transceptores de bajo coste y grandes conmutadores ópticos, que actualmente se están desarrollando para transconectores de longitud de onda. Sin embargo, se requieren otros dispositivos funcionales para progresar más y poder implantar los conceptos de "islas ópticas" y "conmutación de impulsos". Ya se ha mencionado la importancia de los regeneradores ópticos 3R para la transmisión; también hay otros dispositivos claves para las redes ópticas que podrían contribuir a una reducción de costes en general, reduciendo el número de transceptores.

En el área óptica la conmutación de impulsos se están haciendo frente a diferentes retos que están ligados a la velocidad de conmutación (rango de nanosegundos) que son necesarios para esta aplicación. Igualmente, son necesarios conmutadores ópticos rápidos (en espacio y en longitud de onda). Debido a los estrictos requisitos de velocidad, solamente unas pocas tecnologías son capaces de realizar estas funciones. Las investigaciones de Alcatel están desarrollando una tecnología genérica, basada en el uso del Amplificador Óptico de Semiconductores (SOA) como bloque básico de arquitectura para realizar varias de estas funciones. Todo esto se está realizando en paralelo con tecnologías de integración monolítica e híbrida, que puedan hacer a estas tecnologías atractivas

desde el punto de vista del coste. Como ejemplos de tales propuestas, tenemos el selector rápido de longitud de onda y la matriz óptica rápida. La **Figura 8** muestra el selector monolítico de longitud de onda, que, en realidad, se está utilizando como un filtro rápido de longitud de onda (tiempo de reconfiguración de nanosegundos). Este dispositivo utiliza una tecnología monolítica para integrar dentro de un chip InP, una AWG de 16-canales (usado como un demultiplexor), una serie de 16 SOAs que se utilizan como puertas ópticas, y una segunda AWG de 16-canales (usado como un multiplexor). La integración ha permitido fabricar este dispositivo en un chip de menos de 20 mm<sup>2</sup>, una cifra sensiblemente menor de las de otras propuestas. Aún más, ya que estos amplificadores tienen una ganancia interna, la operación final de este dispositivo no muestra pérdidas de ganancia.

Las matrices ópticas también se pueden construir utilizando series de SOA. En este caso, para obtener módulos compactos se utiliza tecnología híbrida, usando una placa madre Si para el alineamiento de SOAs y de fibras. Se podría alcanzar una mayor mejora reemplazando la placa madre Si por otra placa madre SiO<sub>2</sub>/Si, que integre guías onda SiO<sub>2</sub>/Si de baja pérdida. Por este camino se pueden añadir otras funciones pasivas y optimizar el enganche de fibras.

### Conclusiones

«La óptica será en el siglo XXI lo que la electrónica fue en el siglo XX», este es el vaticinio y el sueño de todos aquellos que han trabajado en este campo en los últimos años, y ya está empezando

do a ser realidad. Como tecnología de transporte, la transmisión óptica ha superado a todas las otras propuestas gracias a los avances en la tecnología WDM. En los próximos años, las tecnologías ópticas continuarán enfrentándose a la demanda creciente de capacidad como resultado ineludible de una más amplia expansión de Internet y de más servicios orientados al vídeo. Sin embargo, aunque la capacidad de las fibras se mantenga ajustada a la propia Ley de Moore, cada nuevo paso requerirá nuevos avances en las tecnologías ópticas: fibras, dispositivos ópticos y tecnologías de sistemas.

Las investigaciones de Alcatel se están anticipando a estos pasos y preparando para el futuro. Ya, el futuro de la óptica es mucho más que el ser autopistas de alta capacidad. Es radicalmente una nueva red óptica, donde todo el conjunto de la arquitectura de la red se beneficiará de las ventajas específicas de la óptica WDM y de la transparencia que pueda traer. Las soluciones para las redes del futuro vendrán de la correcta combinación de nuevos conceptos y de las tecnologías avanzadas, ajustándose ambas, a las demandas del mercado. Las investigaciones de Alcatel están comprometidas con el servicio de estos objetivos. ■

**Marko Erman** es director del Programa Estratégico de Óptica y director científico de Fotónica del Centro de Investigación Corporativo de Alcatel. También es administrador y director ejecutivo de OPTO+, un laboratorio de investigación conjunta con FT R&D.



O. Gautheron

# Redes submarinas ópticas en el umbral de los Tbit/s por capacidad de fibra

> A partir del próximo año, las redes submarinas transoceánicas de telecomunicaciones serán capaces de transmitir más de 1 Tbit/s sobre una única fibra óptica.

## Introducción

El mercado de las redes submarinas ópticas de muy alta capacidad ha crecido mucho en los últimos años. Alcatel ha contribuido a este crecimiento con el desarrollo de sistemas de transmisión basados en la Multiplexación por División de Longitud de Onda (WDM), una técnica que permite transmitir simultáneamente varias longitudes de onda sobre una única fibra óptica [1]. La fibra óptica tiene una atenuación muy baja (0,2 dB/km.) en la ventana de transmisión de 1,5 a 1,6  $\mu\text{m}$ , lo cual representa un ancho de banda disponible de alrededor de 15.000 GHz, o un potencial de transmisión digital de al menos 5 Tbit/s por fibra, equivalente a 80 millones de canales telefónicos.

Hoy, Alcatel está a punto de ofrecer enlaces transoceánicos capaces de transmitir datos a 1 Tbit/s por fibra óptica. Para soportar esta capacidad de transmisión, Alcatel ha desarrollado muchas innovaciones tecnológicas para el equipo submarino (repetidores y fibra óptica) y para el equipo terminal usado en los enlaces con y sin repetidor. Este artículo describe estas innovaciones.

## Movimiento del mercado hacia redes de muy alta capacidad

En 1995, Alcatel colaboró en la puesta en servicio de la primera red submarina con Amplificadores de Fibra Dopada de Erbio (EDFA). El enlace de 6.300 Km. entre Estados Unidos y Europa (TAT12, TAT13) incorpora 133 repetidores en línea dando una capacidad total de 10 Gbit/s sobre dos fibras, cada una con una longitud de onda de 5 Gbit/s. Poco después, se introdujo la tecnología WDM y con ello la facultad de aumentar las capacidades de transmisión y de ofrecer las funciones de enrutamiento de la longitud de onda a través de las unidades de deri-

vación submarinas. Un ejemplo es la red Sea-Me-We 3, recientemente puesta en servicio, que utiliza la tecnología WDM de  $8 \times 2,5$  Gbit/s.

No obstante, la carrera hacia mayores capacidades está ganando prioridad frente el enrutamiento submarino de la longitud de onda. Tras instalar el primer sistema transoceánico WDM (Gemini), Alcatel está completando actualmente la puesta en servicio de la red Southern-Cross, que une fundamentalmente Australia con Estados Unidos, transmitiendo dieciséis longitudes de onda moduladas de 2,5 Gbit/s por fibra. El cable tiene cuatro pares de fibras y por consiguiente ofrece una ca-

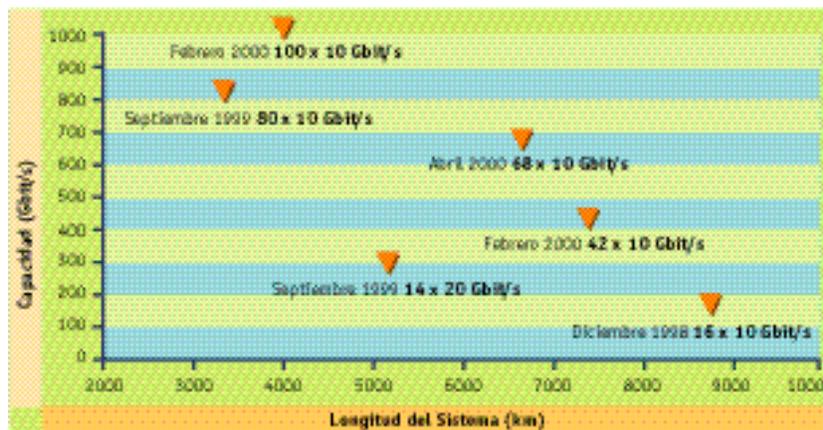


Figura 1 – Resultados de las pruebas hechas por Alcatel en el laboratorio.

pacidad total de transmisión de 160 Gbit/s en ambas direcciones. Alcatel está desplegando una red capaz de transmitir treinta y dos longitudes de onda moduladas de 10 Gbit/s por fibra sobre 5.300 Km. a través del Atlántico (Atlantica-1). Para demostrar esta viabilidad, Alcatel realizó la primera transmisión de  $32 \times 10$  Gbit/s sobre un enlace de 6.380 km. [2] en el laboratorio.

Recientes pruebas de laboratorio han demostrado que, para finales de 2001, Alcatel será capaz de desplegar sistemas de 6.500 Km. con una capacidad total de 5,44 Tbit/s (transmisión WDM de  $68 \times 10$  Gbit/s por fibra en un cable con ocho pares de fibras). Esto representa un aumento de 500 veces la capacidad en seis años en distancias transoceánicas. La **Figura 1** resume las principales pruebas de transmisión WDM de 10 Gbit/s realizadas por Alcatel sobre bucles de recirculación (el principio de transmisión sobre un bucle de recirculación está descrito en [4]) en los dos últimos años. Está claro que el terabit por segundo por fibra hace que la barrera de distancias más grandes de 6.000 Km. esté en peligro con la generación de productos que se encontrarán disponibles a finales del 2002.

La **Figura 2** muestra los espaciados típicos de repetidor que Alcatel puede alcanzar en función de la longitud del enlace y de la capacidad transmitida por la fibra.

En la práctica, se pueden emplear simultáneamente tres métodos para aumentar la capacidad de transmisión en un cable submarino:

- aumentar el número de longitudes de onda por fibra;

- elevar la velocidad por longitud de onda;
- usar más fibras por cable.

Las dos primeras soluciones dan lugar inevitablemente al aumento del ancho de banda óptico de los repetidores.

### Amplificación óptica de banda ancha

#### Ganancia plana de un EDFA

El ancho de banda óptico natural de un EDFA se encuentra alrededor de los 25 nm y la respuesta espectral se acerca a la ganancia pico que es aproximadamente Gaussiana. Se cumple que el ancho de banda de un enlace con, por ejemplo, cien EDFAs en cascada no es más de 2,5 nm. Por lo tanto es esencial introducir filtros ópticos para aumentar el ancho de banda óptico para transmitir varias longitudes de onda. Pensando en eso, el Centro de Desarrollo de Alcatel ha desarrollado una tecnología que se pueda utilizar para grabar una rejilla óptica de unos pocos milímetros de largo en una fibra óptica. El filtro óptico resultante, que se

llama Fiber Bragg Grating (FBG), se comporta como un rechazador óptico a una determinada longitud de onda [3]. Optimizando el perfil de atenuación de este FBG, se puede obtener una respuesta espectral que es inversa de la del EDFA, lo que significa que se puede crear un EDFA de banda ancha introduciendo un FBG en la salida del amplificador óptico.

Esta técnica se ha utilizado para alcanzar un ancho de banda de 12 nm en redes de transmisión tales como la Southern-Cross, que permite transmitir 16 espaciados en 0,8 nm. La técnica se utilizó después para aumentar el ancho de banda de cada EDFA a 27 nm. No obstante, ya que el perfil de ganancia de un EDFA sobre una banda de 27 nm es desigual, tuvo que crearse un filtro de perfil complejo, que requería tres FBGs en cascada en vez de sólo uno. La **Figura 3** muestra las respuestas espectrales de los filtros diseñados para aplanar la ganancia sobre 12 nm y 32 nm. Esta técnica se utilizó en el laboratorio para demostrar la transmisión de 68 canales espaciados en 0,4 nm en una distancia de

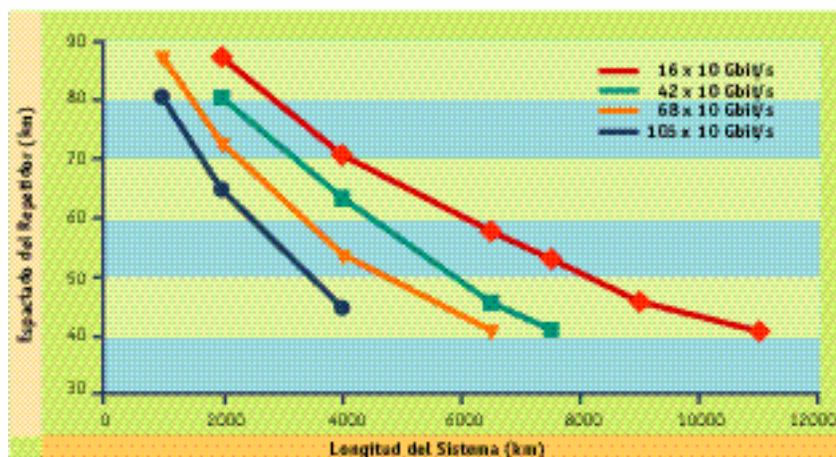


Figura 2 – Espaciado del repetidor con respecto a la longitud del enlace y de la capacidad transmitida por la fibra.

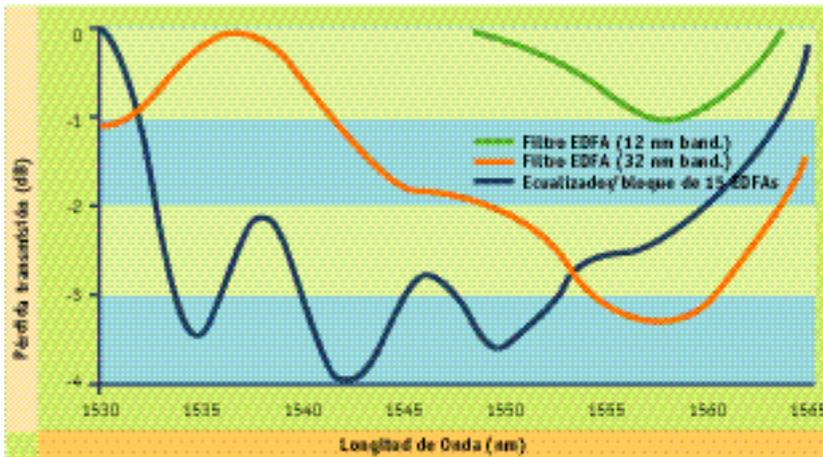


Figura 3 – Perfiles de ganancia plana de filtros ópticos construidos usando FBGs.

6.600 km. usando un bucle de recirculación. El espectro óptico a la salida de este enlace se muestra en la **Figura 4**, que también incluye, para comparación, el espectro que se obtiene sin filtros de ganancia plana.

No obstante, es imposible alcanzar la ganancia plana perfecta de cada EDFA, por lo que se deben insertar filtros adicionales, conocidos como ecualizadores de perfilado (SEQ) y Ecualizador de Inclinación (TEQ), en el enlace en cada 15 repetidores aproximadamente.

### Filtros especiales

Los SEQs compensan las imperfecciones residuales de la ganancia de un bloque de aproximadamente 15 EDFAs. Un SEQ se construye con varios FBGs en cascada para obtener el perfil requerido. La **Figura 3** muestra el perfil de cada filtro, con cinco FBGs diferentes, que se introdujo en el bucle de recirculación usado en la prueba de 68x10 Gbit/s en 6.600 km. La capacidad de Alcatel para construir estos filtros a petición mientras se construyen los repetidores es

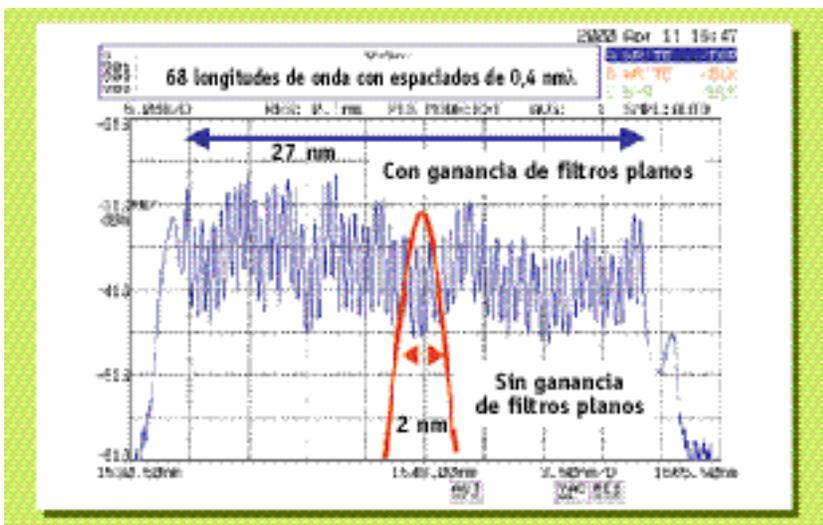


Figura 4 – Espectro óptico a la salida del enlace de 68x10 Gbit/s en 6.600 Km.

una de las claves de su éxito en la instalación de enlaces de gran capacidad y de enlaces para trayectos muy largos.

No obstante, cuando el enlace se sumerge el perfil de ganancia se va distorsionando gradualmente según aumenta la edad del cable del enlace, el cual tiene una vida prevista de 25 años. En la práctica, la mayor atenuación de la fibra y las reparaciones de las secciones dañadas del cable dan lugar a una pérdida total media adicional por sección de 0,5 dB, lo que origina que el pico de ganancia de EDFAs se desplace hacia las longitudes de onda bajas [4]. La **Figura 5** muestra la conmutación de ganancia resultante en este caso de transmisión de 32x10 Gbit/s sobre 8.000 km. con una pérdida adicional por sección de 0,8 dB. Ya que la inclinación de ganancia en dB es una función lineal de la longitud de onda, estas distorsiones de la ganancia se pueden compensar insertando unos pocos TEQs ópticos variables y de perfil lineal, los cuales se pueden controlar remotamente desde el terminal. Esto es posible al compensar remotamente estos TEQs las variaciones de ganancia resultantes de la edad de cable a lo largo de la vida del sistema.

### ¿Qué repetidor usar para una transmisión de 2 Tbit/s?

Para poder aumentar la capacidad de transmisión por encima de 1 Tbit/s (hasta 2 Tbit/s, por ejemplo), es necesario ampliar el ancho de banda del enlace a más de 27 nm. En la práctica, aunque se puede reducir el espaciado entre canales de 0,4 nm a 0,3 nm (ó 37 GHz) para un enlace WDM de 10 Gbit/s, es esencial suministrar un ancho de banda óptico de 36 nm. La otra técnica, que con-

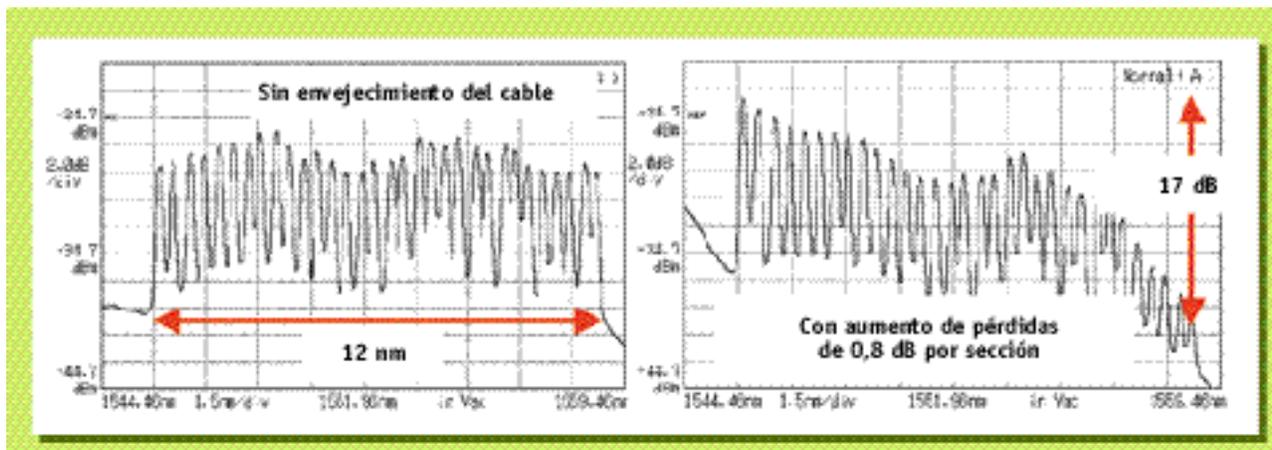


Figura 5 – Conmutación de ganancia debida a pérdida adicional de 0,8 dB por sección (enlace de 8.000 Km.).

lleva el aumento de la velocidad del canal en lugar del número de canales, supone el aumento de espaciado de las longitudes de onda a causa del espectro más amplio introducido por la modulación; también requerirá que el ancho de banda óptico esté por encima de 36 nm.

**Banda C extendida**

La primera línea de investigación para aumentar del ancho de banda de los EDFAs por encima de 27 nm implica un total aprovechamiento de las capacidades de la actual banda de amplificación, la banda C (1.530 a 1.570 nm),

mediante la optimización de los filtros de ganancia plana. La **Figura 6** muestra el perfil de ganancia de los prototipos de EDFA producidos en los laboratorios de Alcatel.

La producción masiva de estos EDFAs será, sin ninguna duda, difícil, y probablemente será necesario insertar si es posible el perfil variable complejo, controlable remotamente por los SEQs en el enlace. Estos filtros sintonizables y sumergibles (y, por extensión, muy fiables) llegarán a ser componentes estratégicos en la construcción de enlaces de muy alta capacidad y de trayectos largos.

**Banda C+L**

Al modificar algunos de los parámetros del EDFA, la banda de amplificación espectral puede llevarse a la banda L (1.585 a 1.610 nm). El resultado es un EDFA de doble banda C+L formado por un EDFA de banda C acoplado en paralelo con un EDFA de banda L, doblando así la banda de amplificación óptica. Usando esta técnica, Alcatel ha alcanzado la transmisión de 1 Tbit/s sobre 4.000 Km. [5]. La **Figura 7** ilustra el espectro óptico a la salida del enlace para los 55 canales transmitidos en la banda C y para los 45 canales transmitidos en la banda L.

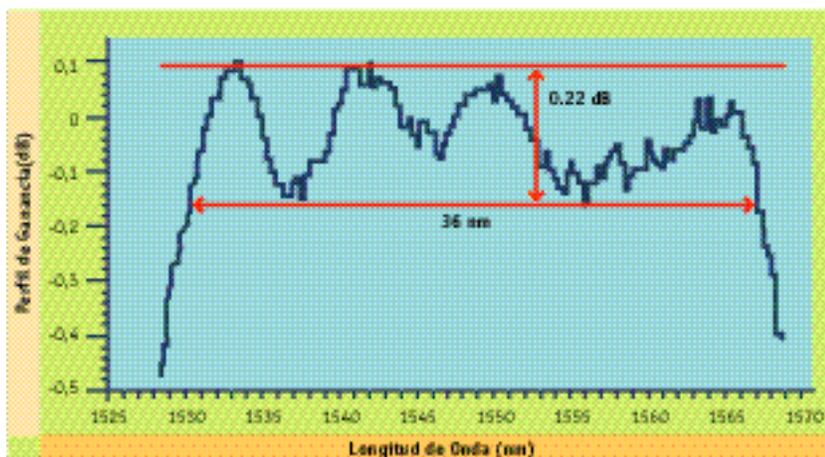


Figura 6 – Perfil de ganancia de un EDFA de banda C extendida.

**Potencia transmitida y alimentación de potencia**

Mientras que el aumento de capacidad tiene que ir acompañado por un incremento del ancho de banda del EDFA, es también importante resaltar que el total de la potencia transmitida por los EDFAs debe aumentarse para evitar la degradación de la relación señal/ruido de cada canal. En los sistemas actuales que transmiten 68 longitudes de onda moduladas a 10 Gbit/s, la po-

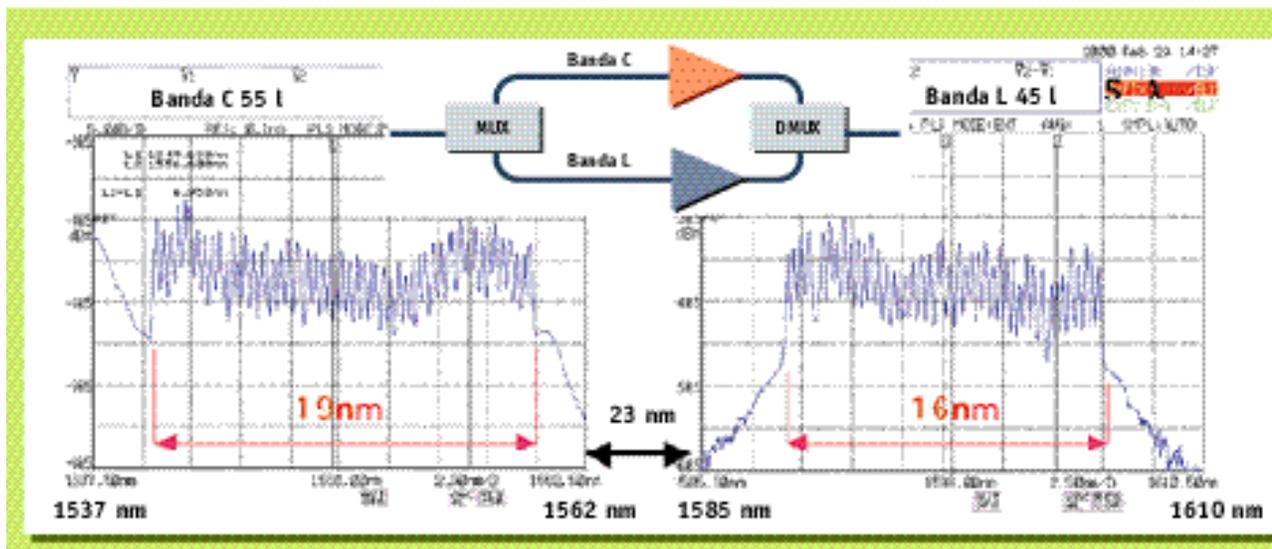


Figura 7 – Espectro óptico en la salida de un enlace de 1 Tbit/s sobre 4.000 Km. usando EDFAs de banda C+L.

tencia total de salida de los repetidores es de +14 dBm, ó 25 mW. Además, los filtros en los EDFAs tienen pérdidas que aumentan con el ancho de banda espectral ecualizado, así los EDFAs de banda ancha deben equiparse con diodos láser de bombeo de 980 nm que emiten potencias por encima de 150 mW, al tiempo que tienen una fiabilidad excelente.

El aumento de la capacidad de transmisión estará acompañado inevitablemente por un fuerte incremento del consumo de energía eléctrica en el enlace, debido especialmente a que también se aumenta el número de fibras por cable. Por ejemplo, para un enlace transatlántico con ocho pares de fibras, 160 EDFAs por fibra y una capacidad de transmisión de 1,5 Tbit/s en la banda C+L, el voltaje necesario para alimentar a este enlace es de alrededor 25 KV. Dado que las actuales fuentes de energía liberan 12 KV, no hay duda que será necesario instalar una fuente de energía en cada extremo del enlace.

### Fibra óptica submarina

#### La actual tecnología WDM

La calidad de la transmisión depende en principio de dos parámetros de la fibra: los efectos no lineales de Kerr (variación del índice de acuerdo a la intensidad de la luz que se propaga por la fibra) y la dispersión cromática (variación del índice y, por lo tanto, de la velocidad de propagación, con la longitud de onda). Los efectos no lineales de Kerr se pueden agrupar en dos categorías:

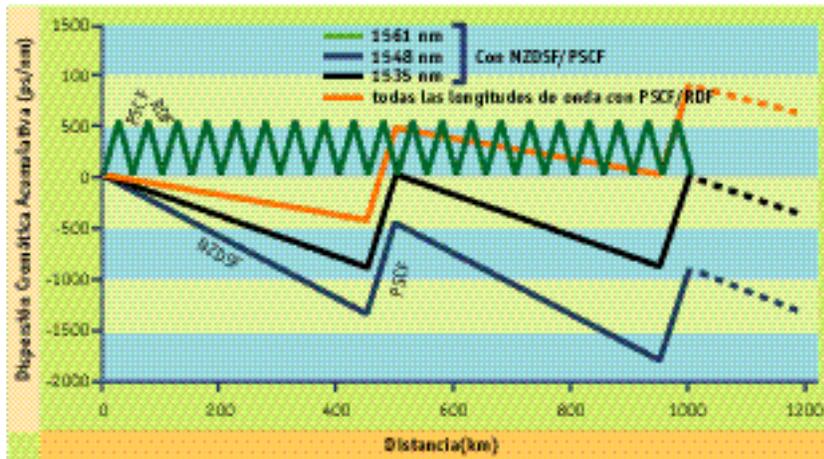
- Modulación de la fase de cada canal, resultante de la modulación del índice de la fibra por la intensidad de la luz.
- Mezcla de Cuatro Ondas (FWM), consistente en la generación de una cuarta longitud de onda a partir de la propagación de las otras tres longitudes de onda.

En el caso de la FWM, cuando la onda de luz espúrea generada tiene la misma longitud de onda que la uno de los canales modu-

lados, la calidad de la señal transmitida por este canal puede degradarse considerablemente. Para reducir el arranque inicial de la señal creada por la FWM, sólo es necesario asegurar que los tres canales que generan la onda espúrea la propagan a la misma velocidad, es decir, que la dispersión cromática de la fibra no es cero.

A la inversa, en el caso de modulación espúrea de la fase generada por el efecto Kerr, es mejor reducir la dispersión cromática acumulativa a lo largo del enlace para evitar la distorsión del pulso.

Con esa lógica, para reducir los efectos espúreos no lineales de Kerr, es esencial usar fibra con dispersión cromática distinta de cero sobre todo el enlace para reducir la FWM, y la dispersión cromática igual a cero en intervalos regulares a lo largo del enlace para reducir el impacto de la modulación espúrea de la fase. Esta es la razón por la que los actuales enlaces submarinos desarrollados por Alcatel para transmisión WDM a 2,5 Gbit/s y a 10



**Figura 8 – La dispersión cromática acumulativa en función de la distancia en las configuraciones NZDSF/PSCF y PSCF/RDF.**

Gbit/s usan dos tipos de fibra: una, llamada fibra con dispersión desplazada no nula (NZDSF), que tiene una dispersión cromática de  $-2$  ps/nm.km, y otra, conocida como fibra de núcleo de silicio puro (PSCF), que tiene una dispersión de  $+18$  ps/nm.km. De las diez secciones de la fibra, nueve son NZDSF y una es PSCF. En consecuencia, la dispersión cromática acumulativa se reduce a cero cada diez secciones, aunque la dispersión cromática local nunca es cero.

### ¿Qué fibra hay que usar para la transmisión de 2 Tbit/s?

Dado que la dispersión cromática de las fibras varía linealmente con la longitud de onda, la dispersión cromática acumulativa no se puede reducir simultáneamente a cero en intervalos regulares para todas las longitudes de onda. Esta variación lineal, llamada pendiente de dispersión cromática, es tal que, si la dispersión acumulativa se compensa con exactitud periódicamente para el canal en el centro del espectro, entonces la dispersión cromática acumulativa para los canales en los dos extremos será

típicamente de  $\pm 6.000$  ps/nm para un enlace de  $68 \times 10$  Gbit/s en 6.000 km. (**Figura 8**).

Para superar este problema, se está investigado un nuevo tipo de fibra, llamada Fibra de Dispersión Inversa (RDF). La principal característica de la RDF es que su pendiente de dispersión cromática tiene el signo contrario de la de la fibra normal. La idea es combinar la RDF con la PSCF en cada sección para reducir la dispersión cromática acumulativa a cero al final de cada sección en todas las longitudes de onda. Si la distribución PSCF/RDF es simétrica en cada sección (**Figura 8**), la dispersión cromática de la RDF será de  $-20$  ps/nm.km y su pendiente de dispersión será exactamente opuesta a la de la PSCF. La dispersión cromática acumulativa residual al final del enlace es entonces cero para todas las longitudes de onda. Además, el uso de una configuración PSCF/RDF es adecuado para la transmisión en las bandas C+L combinadas, ya que la dispersión cromática de la PSCF y de la RDF nunca se cancela en una ventana de  $1,5 \mu\text{m}$ , eliminando así la FWM (a dife-

rencia de la NZDSF, para la cual la dispersión cromática se cancela alrededor de los  $1.580$  nm). La configuración PSCF/RDF también ofrece la ventaja nada despreciable del aumento del área del núcleo de la fibra, lo que significa que la intensidad de la luz se reduce (a potencia óptica constante), y a su vez también se reducen los efectos no lineales. Así, la PSCF tiene un área del núcleo de  $110 \mu\text{m}^2$  mientras que en la fibra NZDSF no es mayor de  $70 \mu\text{m}^2$ . Para aprovechar el beneficio de la mayor área de la PSCF, la sección que incluye a la PSCF debe ser colocada en la salida del repetidor donde la potencia óptica está en su máximo. No obstante, la desventaja actual de la RDF es su elevada sensibilidad a las micro-curvaturas y a las macro-curvaturas, cuyo efecto es aumentar la atenuación cuando forma parte del cable.

### Terminal de enlace submarino

#### Formato y velocidad de modulación

Cuando se pasa de la generación de sistemas de transmisión WDM de  $2,5$  Gbit/s a la generación WDM de  $10$  Gbit/s, se tiene que modificar el formato de modulación para mantener la calidad de transmisión: la modulación de amplitud Sin Retorno a Cero (NRZ) usada a  $2,5$  Gbit/s se sustituyó por la modulación con Retorno a Cero (RZ) a  $10$  Gbit/s. Además, para los sistemas de  $10$  Gbit/s, se añadió la modulación de fase a  $10$  GHz sincronizada con la modulación de amplitud. Lógicamente, podríamos imaginar el aumento de la capacidad de transmisión con el incremento de la velocidad binaria por longitud de onda, pasando típica-

mente a 40 Gbit/s para ajustarse a la red terrestre. No obstante, si la velocidad binaria se multiplica por cuatro, también lo hace la banda de ruido del receptor óptico. Entonces, es necesario aumentar la potencia óptica por canal en la misma proporción para evitar la degradación de la relación señal/ruido. Esto significa que cualquier efecto no lineal se intensificará, de forma que la calidad de la transmisión se degradará de forma prohibitiva si no se aplica una nueva técnica de modulación. Actualmente, la única solución conocida consiste en volver a formatear la señal durante la propagación usando uno o más moduladores ópticos. Este proceso de regeneración óptica se está estudiando actualmente con éxito en los laboratorios del centro de investigación de Alcatel [6]. No obstante, no es fácil implementar la técnica en un enlace WDM, y ello implica el uso de componentes que no son lo suficientemente fiables para las aplicaciones submarinas.

Además, el aumento de la velocidad binaria por longitud de onda por encima de 10 Gbit/s no se puede utilizar para aumentar la

capacidad transmitida en una determinada banda óptica ya que el espaciado entre dos longitudes de onda varía virtualmente de una forma lineal con la velocidad binaria. Así, un aumento de la velocidad binaria no significa que la eficiencia espectral (expresada en bit/s/Hz) se pueda incrementar fácilmente.

### Tratamiento de la señal digital

En paralelo con las técnicas de modulación analógica descritas arriba, existe una herramienta muy efectiva que se puede utilizar para aumentar considerablemente la capacidad total de transmisión: el código de corrección de errores en recepción (FEC). La eficacia de un FEC se expresa en términos de ganancia de codificación, reflejando la diferencia entre la proporción de errores antes y después de la corrección en la recepción. La distancia de transmisión de un sistema de 68x10 Gbit/s como una función de la ganancia FEC se ilustra en la **Figura 9**.

Los enlaces WDM funcionando a 2,5 Gbit/s utilizan un código simple Reed-Solomon con una ganancia de codificación de 6 dB.

No obstante, el paso a enlaces WDM de 10 Gbit/s ha significado la introducción de un nuevo y más potente código formado por la concatenación de dos códigos Reed-Solomon que dan una ganancia de codificación equivalente a 8 dB. Esto significa que si la proporción de errores en modo recepción es 10-3, la proporción de errores obtenidos después de la corrección por el descodificador es menor de 10-13, que es la proporción de errores máxima permitida por los sistemas submarinos. Actualmente se están investigando nuevos tipos de FEC, tales como códigos basados en una decisión por programa que pruebe el impulso detectado en varios niveles; el código entonces maneja la información que ya no es binaria sino multinivel, permitiendo que se alcance una ganancia de codificación de 10 dB [7].

### Enlaces sin repetidor

El mercado de los enlaces sin repetidor está experimentando la misma velocidad de crecimiento que el mercado de los enlaces de trayecto largo, ya que tales enlaces ofrecen muchas ventajas: no hay riesgo de fallo de repetidor, no se requiere alimentación de potencia eléctrica y el uso de más fibras por cable da lugar a una alta capacidad total de transmisión. El objetivo para los enlaces de trayecto largo y para los sin repetidor es transmitir la capacidad más grande posible sobre la distancia más larga posible.

Como ejemplo, sobre una distancia de 300 km., la capacidad alcanzable se ha multiplicado por 128 en sólo cuatro años. En 1996, Alcatel instaló un enlace entre las Islas Caimán y Jamaica

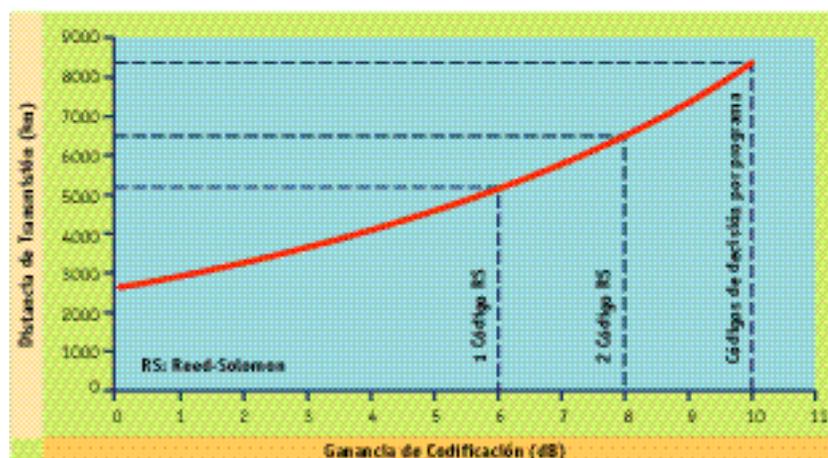


Figura 9 – Distancia máxima de transmisión como una función de la ganancia por codificación FEC para un sistema de 68 x 10 Gbit/s.

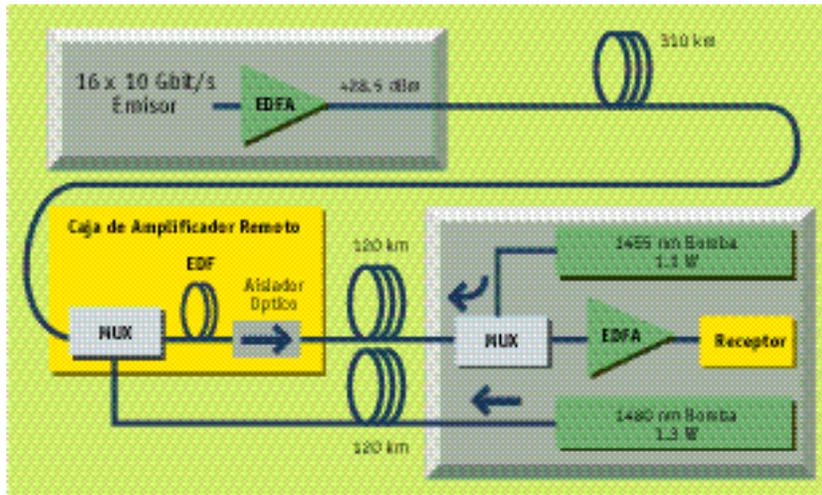


Figura 10 – Representación esquemática de un enlace sin repetidor con pre-amplificación Raman y con amplificación de fibra dopada de erbio.

EDF: Fibra Dopada de Erbio      Mux: Multiplexor Óptico

con una capacidad de 2,5 Gbit/s por fibra. Hoy, Alcatel ha sido seleccionada para suministrar el enlace Pangea entre Holanda y el Reino Unido, ofreciendo una capacidad por fibra de  $32 \times 10$  Gbit/s.

Además, los resultados de laboratorio de Alcatel son líderes mundiales actualmente con la reciente transmisión de 32 canales modulados a 40 Gbit/s ( $1,28$  Tbit/s por fibra) sobre una distancia de 250 km. [8], y  $32 \times 10$  Gbit/s sobre 450 km. [9]. Estos niveles de rendimiento se alcanzaban principalmente usando técnicas que son específicas para enlaces de multiplexores sin repetidor: amplificación Raman y amplificación de fibra dopada con erbio (**Figura 10**).

En el caso de amplificación remota de fibra dopada con erbio, se inserta en la línea una Caja de Amplificador Remoto (RAB) que contenga sólo los componentes pasivos que constituyen un Amplificador de Fibra Dopada de Erbio (EDFA). La fuente óptica activa de bombeo se localiza en el terminal y se usa una fibra adi-

cional para transmitir la señal desde la bomba a la parte pasiva del amplificador.

Los desarrollos tecnológicos han aumentado considerablemente la potencia transmitida por los láseres de bombeo, en especial como resultado de la introducción de los láseres de fibra los cuales actualmente liberan potencias superiores a 1 W. Para limitar la atenuación de señal desde la bomba a la RAB, la longitud de onda elegida para el láser de bombeo es de 1.480 nm en vez de los 980 nm usado en los EDFAs de los enlaces de trayecto largo. Esta técnica se puede usar en ambos extremos del enlace; la distancia entre las RABs y la fuente de bombeo es de alrededor de 80 Km. para una potencia de bombeo de 1 W.

En el caso de amplificación distribuida Raman, una señal de la bomba con una longitud de onda aproximada de 1.450 nm se envía en la misma fibra igual que las señales moduladas. Usando los efectos no lineales distribuidos del tipo Raman, esta señal genera una ganancia óptica en la

banda espectral que va de 1.535 a 1.565 nm. De nuevo, la potencia de inyección de la señal de bombeo es un parámetro clave. La misma técnica de láser de fibra se utiliza para inyectar potencias de más de 1 W a 1.450 nm, generando así una ganancia de alrededor de 25 dB por el efecto Raman.

Se usa la fibra PSCF y, ya que un cable sin repetidor puede contener hasta 48 pares de fibras (24 pares con una RAB), es posible desplegar enlaces sin repetidor capaces de transmitir más de 15 Tbit/s sobre una distancia de aproximadamente 200 Km.

## Conclusiones

Usando la tecnología WDM, Alcatel es actualmente capaz de ofrecer redes ópticas submarinas que pueden transmitir 68 canales modulados a 10 Gbit/s sobre 6.500 km. (y 32 canales sobre 250 km. en enlaces sin repetidor) sobre una única fibra óptica. Para aumentar un poco más la capacidad de transmisión, las actuales mejoras tecnológicas se dirigen en principio a aumentar el ancho de banda de los amplificadores ópticos y a reducir las variaciones espectrales de la dispersión cromática de la fibra óptica. Estas nuevas técnicas permitirán a Alcatel ofrecer redes transoceánicas capaces de transmitir más de un centenar de longitudes de onda moduladas a 10 Gbit/s, dando una capacidad total de más de 8 Tbit/s ya que el cable puede tener al menos ocho pares de fibras. Los estudios actuales están analizando técnicas más complejas, tales como la regeneración óptica a 40 Gbit/s y la amplificación óptica multi-banda.

El objetivo para los próximos años es alcanzar una capacidad de 2 Tbit/s sobre una única fibra, tanto para enlaces transoceánicos como para enlaces sin repetidor. Cuando se combina con los nuevos medios ópticos de protección para el despliegue de redes multi-cable, estas capacidades abrirán la puerta a la expansión sin límites de la red Internet por todo el mundo. ■

### Bibliografía

1. J. Chesnoy, O. Gautheron, L. Le Gourrierec, V. Lemaire: «Evolution of WDM Submarine Systems towards Terabit/s Integrated Networks», *Revista de Telecomunicaciones de Alcatel*, 3<sup>er</sup> Trimestre 1998.
2. G. Vareille, F. Pitel, R. Uhel, G. Bassier, J-P. Collet, G. Bourret, J-F. Marcerou: «340 Gbit/s (34x10 Gbit/s, 50 GHz spacing DWDM) Straight Line Transmission over 6380 Km. with Full System Implementation Assessment», *Proceedings of OFC'99*, post-deadline paper, San Diego, California, Estados Unidos, 1999.
3. O. Gautheron, P. Sansonetti, G. Bassier, I. Riant: «Optical Gain Equalization with Short Period Fiber Gratings», *Proceedings of ECOC'97*, volume 3, págs. 131-134, Edimburgo, Reino Unido, 1997.
4. J-B. Leroy, P. Marmier, C. Laval, O. Gautheron: «32x10 Gbit/s Transmission over 8000 Km. using hybrid Raman-Erbium-doped Fiber Optical Amplifiers», *Proceedings of OFC'99*, WJ3-1, San Diego, California, EE.UU., 1999.
5. G. Vareille, F. Pitel, O. Ait Sab, J-F. Marcerou: «1 Tbit/s WDM C+L Band Transmission over 4000 Km. of Non-Zero-Dispersion Shifted Fiber», paper submitted to ECOC 2000.
6. O. Leclerc, B. Dany, D. Rouvillain, P. Brindel, E. Desurvire, C. Duchet, A. Shen, F. Devaux, A. Coquelin, M. Goix, S. Bouchoule, L. Fleury, P. Nouchi: «160Gbit/s All-Optical Regenerator», *Proceedings of CLEO 2000*, San Francisco, California, EE.UU., CDP14, 2000.
7. Ait Sab, J. Fang: «Concatenated Forward Error Correction Schemes for Long-haul DWDM Optical Transmission Systems», *Proceedings of ECOC'99*, volume 2, págs. 290-291, Niza, Francia, 1999.
8. E. Brandon, J-P. Blondel, F. Boubal, L. Buet, V. Havard, A. Hugbart, L. Labrunie, P. Le Roux, D. Toullier, R. Uhel: «1.28 Tbit/s (32x40 Gbit/s) Unrepeated Transmission over 250 Km.», paper submitted to ECOC 2000.
9. J-P. Blondel, E. Brandon, L. Labrunie, P. Leroux, D. Toullier G. Zarris: «Error free 32 x 10 Gbit/s Unrepeated Transmission over 450 Km.», *Proceedings of ECOC'99*, post-deadline paper PD-6, Niza, Francia, 1999.

**Olivier Gautheron** es director del Submarine Optical Fiber Link Design Department en Alcatel Submarine Networks Unit, Villarceaux, Francia.



F-X. Ollivier



C. Zugno



S. Thompson

# Evolución de las redes troncales DWDM de alta velocidad

> La disponibilidad de nuevas tecnologías hará posible realizar en el futuro el sueño de una «red totalmente óptica».

## Introducción

El rápido crecimiento de la red de comunicación global se está haciendo posible debido a la disponibilidad de nuevas tecnologías de fibra óptica. Este crecimiento está siendo dirigido por las expectativas de todos los participantes, desde los fabricantes de componentes hasta los suministradores de servicios de red, de obtener atractivos beneficios de sus inversiones de capital.

Los diodos láser, amplificadores ópticos, multiplexores por división de longitud de onda densa (DWDM), hasta los más recientes láseres ajustables, los nuevos tipos de fibra y los conmutadores totalmente ópticos, están fomentando la expansión de la red, todo ello apoyado por las expectativas de beneficios cada vez mayores como resultado de la explosión en el uso de Internet.

Existen ahora oportunidades considerables para los nuevos operadores de entrar en este mercado competitivo. Tienen la ocasión de explotar las «nuevas» tecnologías para satisfacer las necesidades de sus servicios con un coste atractivo. Por otro lado, los operadores ya establecidos están contra-atacando mediante el despliegue de

potentes soluciones para actualizar de forma rentables sus redes actuales.

Satisfacer las necesidades de los operadores nuevos y establecidos supone un desafío considerable para los fabricantes de equipos en las áreas siguientes:

- El gran incremento de la anchura de banda de la red para abaratar, en gran medida, los costes del transporte.
- Soluciones escalables de infraestructuras a prueba de futuro (fibra y equipo).
- Alta fiabilidad de la red.
- Gestión extremo-a-extremo y Calidad de Servicio (QoS) para soportar el alquiler de los canales.
- Tiempos muy cortos de puesta en servicio.

Todos lo anterior debe afianzarse y gestionarse por medio de redes avanzadas gestionadas de transporte.

## Progresar hacia el sueño «totalmente óptico»

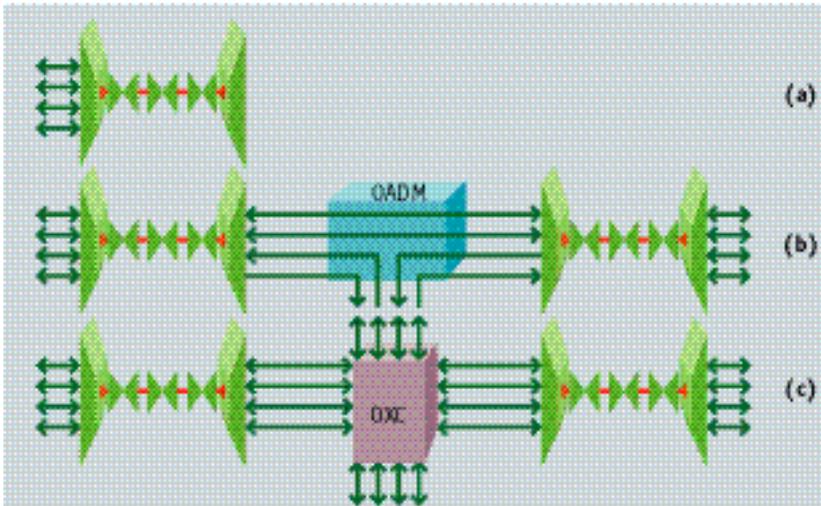
El mercado de la conectividad óptica, que empezó alrededor de 1996, consistió inicialmente en los sistemas DWDM desplegados

por los operadores de larga distancia para la transmisión troncal. Mientras los sistemas de DWDM están invadiendo hoy otros entornos prometedores de la transmisión, como los extremos de la red, el metropolitano, y los segmentos de acceso, las aplicaciones troncales multicanal de larga distancia todavía lideran el mercado de transmisión de redes ópticas y son la fuerza impulsora del despliegue de las últimas tecnologías fibra óptica.

Originalmente, el punto-a-punto era la única topología usada en el despliegue del WDM (*Figura 1a*) que no constituía una capa óptica, sino una tecnología aislada para reforzar la capacidad exhausta en las rutas con fibra insuficiente.

Los nuevos multiplexores ópticos de inserción/extracción (OADM) con capacidades de protección y un número elevado de canales/longitudes de onda de adición/extracción (típicamente hasta 16) ya están disponibles. Aunque no soportan todavía de forma totalmente flexible y gestionable la conectividad total, a cambio hacen posible el despliegue en la red troncal de topología de anillos ópticos simples, lineales y muy útiles (*Figura 1b*).

Sin embargo, se necesita de un nuevo paso para el soporte de la



**Figura 1 – Evolución de la red troncal.**

(a) punto-a-punto, (b) lineal con OADM y (c) lineal con OXC

conectividad total. Esto puede lograrse desplegando Conectores de Cruce Ópticos (OXC) para la conmutación de los canales en la capa óptica (**Figura 1c**).

La nueva generación de OADMs junto con la capacidad más alta de los DWDMs y los OXCs, llenará el hueco actual. Soportarán una conectividad totalmente flexible y gestionable, la escalabilidad de soluciones diferentes con distintos grados de complejidad, diferentes tipos y niveles de protección, y facilidades para controlar la cali-

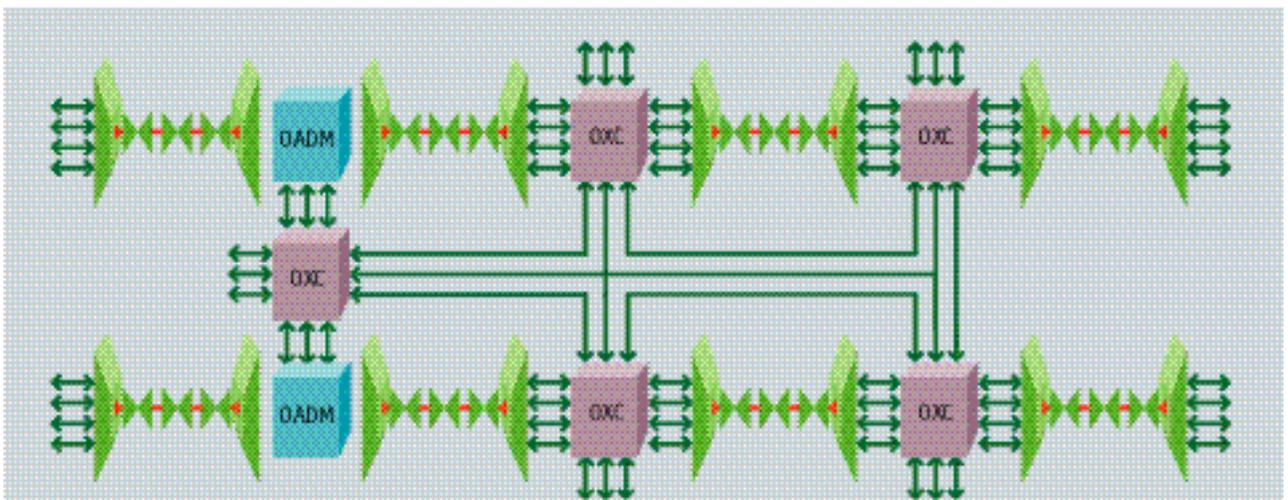
dad del servicio en la red. Finalmente, esto implica, el cumplir totalmente con una capa óptica consistente.

Con las redes de transmisión que necesitan adaptarse flexiblemente a diferentes arquitecturas y modelos de tráfico, la topología inicial punto-a-punto se espera que evolucione hacia topologías lineales, de anillo y de malla. Sin embargo, a menudo un enfoque híbrido proporcionará una solución óptima, como se muestra en las **Figuras 2** y **3**.

El objetivo de las futuras redes troncales es el de realizar transparentemente el transporte y la gestión de los canales ópticos enteramente en el dominio óptico, reduciendo, por tanto, la necesidad del proceso e interpretación de la señal. Este objetivo está dirigido principalmente por:

- Por el incremento de la capacidad dentro de las redes de los operadores.
- Por las aplicaciones de operador a operador.
- Por el número creciente de Proveedores de Servicios de Internet (ISP) que necesitan del rango total de longitudes de onda para la conexión de sus enrutadores a través de la red troncal, con longitudes de onda que puedan establecerse y deshacer automáticamente.

El movimiento hacia una transmisión «totalmente óptica» esta fundamentado en la posibilidad de reducir los costes de la red minimizando las conversiones ópticas/eléctricas a los puntos de la regeneración en los sistemas de transmisión troncales de larga dis-



**Figure 2 – Evolución de la red troncal; red lineal interconectada.**

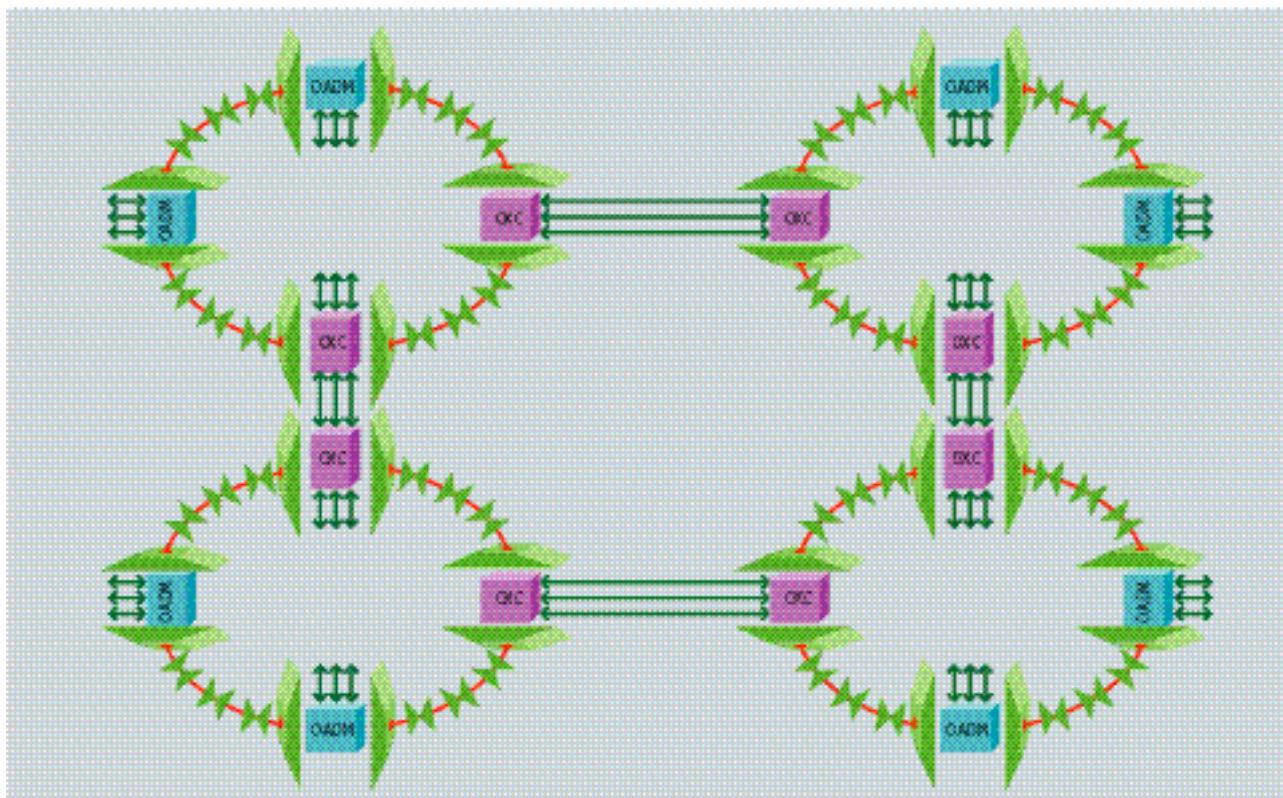


Figure 3 – Evolución de la red troncal; red de anillo interconectada.

tancia. La transición hacia soluciones exclusivamente ópticas debe ser segura y esta migración requerirá tecnologías maduras en todas las partes de la red para lograr soluciones rentables. Además, el requisito de una capa óptica consistente [1] capaz de definir y gestionar los «canales ópticos» de extremo-a-extremo totalmente en el dominio óptico (incluyendo el seguimiento para protección y QoS) sólo puede lograrse hoy con alguna conversión eléctrica/óptica.

Según algunos operadores y analistas, durante algún tiempo existirán soluciones híbridas utilizando equipo DWDM que es compatible con las capas de cliente de los existentes Jerarquía Digital Síncrona/Red Óptica Síncrona (SDH/SONET) y Modo de Transferencia Asíncrono (ATM). Cuando los nuevos operadores

entren en el mercado y los operadores tradicionales actualicen sus redes para acomodar la transición de conmutación de circuitos a conmutación de paquetes, ten-

drán la oportunidad de desplegar un nuevo modelo central troncal de alta velocidad que integre toda la funcionalidad para el transporte de datos usando enrutado-

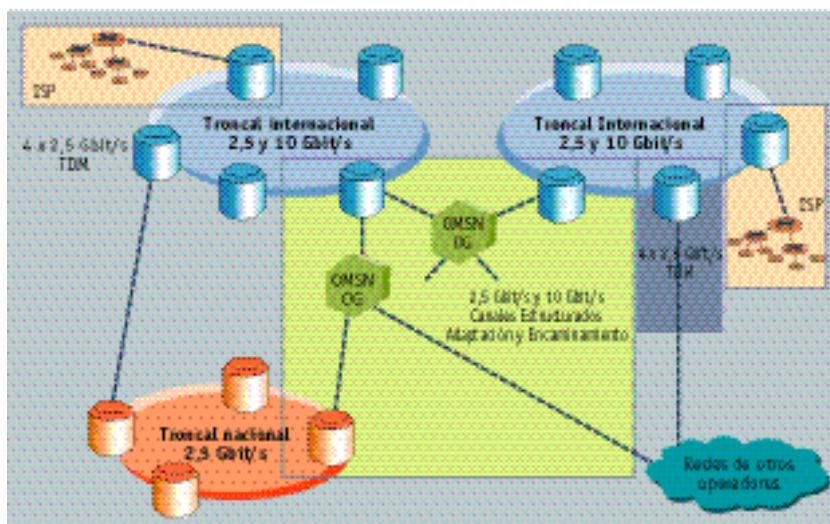


Figure 4 – Visión de la red para el año 2000.

OMSN: Nodo de Servicio Multióptico. OG: Pasarela Óptica. ISP: Proveedor de Servicios Internet.

res, conmutadores ATM y conmutadores de longitud de onda en la misma línea óptica como el DWDM de alta velocidad.

### Evolución de los productos de Alcatel

Hoy, las redes internacionales troncales multicanal de larga distancia de alta velocidad están basadas en la transmisión DWDM multicanal de 2,5 y 10 Gbit/s (**Figura 4**). Las distancias largas se logran usando la codificación de Corrección del Error hacia Adelante (FEC) y los Amplificadores Ópticos de Fibra Dopada con Erblio (EDFA) a lo largo del camino de transmisión. La funcionalidad de OADM se proporciona usando facilidades de inserción/extracción fijas o parcialmente reconfigurables. Cada canal emplea un láser dedicado ajustado a su longitud de onda operacional.

Canales transparentes de 2,5 bit/s (por ejemplo, canales donde no existe ninguna necesidad de conocer la estructura) se transmiten o bien transparentemente con longitudes de onda de 2,5 Gbit/s, o multiplexados a concentradores de 10 Gbit/s por Multiplexación por División en el Tiempo (TDM), y posteriormente transmitidos dentro de longitudes de onda de 10 Gbit/s. Las puertas de acceso ópticas proporcionan capacidades de adaptación y flexibilidad VC4 para adaptar el tráfico de menor jerarquía a la alta capacidad de la red troncal y capacidades de conmutación para el soporte de redes interconectadas. La protección está implantada, pero como el definitivo canal óptico todavía está definiéndose [2], Alcatel ha usado una solución propietaria para la gestión del canal y el segui-

miento de la QoS en la capa óptica. Los productos de Alcatel del año 2000 para redes troncales de larga distancia de alta velocidad forman parte de la estrategia de producto global Alcatel Optinex™ cuyo objetivo es proporcionar los a los clientes soluciones a prueba de futuro de gestión extremo-a-extremo. Estos productos están basados en una plataforma DWDM escalable junto con nodos multi-servicio ópticos (MSN) y puertas de acceso con capacidades escalables de adaptación y conmutación:

- Alcatel 1640 WM: El sistema DWDM para redes troncales internacionales de larga distancia capaces de transportar hasta 80 canales a 10 Gbit/s con OADM. La codificación FEC permite alcanzar la distancia de transmisión.
- Alcatel 1670 OMSN: Nodo de Multi-Servicio Óptico de 10 Gbit/s.
- Alcatel 1680 OGM: Gestor de Puerta de Acceso Óptica de 10 Gbit/s.
- Alcatel 1664 SX: Puerta de Acceso Óptico (OG) con hasta 1280 (incrementable hasta 16.000) VC4 equivalente en capacidad de conmutación, y hasta 2,5 Gbit/s por puerto (hasta 10 Gbit/s hacia finales del año 2000).
- Sistemas de Protección Óptica (OPS) para gestionar la protección DWDM en el dominio óptico.

Los recientes desarrollos prometen importantes aumentos en la capacidad de transporte de la fibra portadora de la capacidad. La utilización de los DWDMs en las aplicaciones de redes troncales está incrementando el número de longitudes de onda que pueden ser transportadas en una sola fibra, mientras

que se mantiene o aumenta la distancia de transmisión.

Se necesita tener cuidado para empaquetar herméticamente cada vez más y más longitudes de onda en la misma banda:

- El empaquetado de las longitudes de onda demasiado cercanas puede reducir la distancia de transporte máxima.
- Más longitudes de onda significarían más láseres y filtros más estrechos que incluso son más caros de mantener.
- Los actuales transconectores no tienen la capacidad requerida para manejar un número muy elevado de longitudes de onda.

Las comparaciones entre los costes de las diferentes tecnologías son necesarias para determinar la manera más rentable de lograr la misma anchura de banda total que la del DWDM. Como un ejemplo, se podría lograr un rendimiento de 1,6 Tbit/s:

- Asignando 80 canales en la banda C y otros 80 canales en la banda L usando con un espaciado de canal de 50 GHz.
- Explotando totalmente la banda C por medio del uso de hasta 160 canales de 10 Gbit/s con una reja de canal de 25 GHz.
- Aumentando la capacidad por canal/longitud de onda hasta 40 Gbit/s y asignando 40 canales en la banda C con un espaciado de canal de 100 GHz.

Los proveedores tendrán que estar preparados para adaptarse a las necesidades de sus clientes considerando caso por caso.

Se espera que durante los próximos dos años, habrá otro aumento de todas las jerarquías de la transmisión, con una nueva referencia

máxima de 40 Gbit/s. Una concentración TDM de, por ejemplo, 10 Gbit/s canales transparentes de hasta 40 Gbit/s, en asociación con el transporte DWDM, soportará este proceso, permitiendo la optimización de la anchura de banda sobre las plataformas de transmisión existentes. Tan pronto como los segmentos de red de punto a punto tengan que ser interconectados para realizar topologías protegidas más complejas, los transconectores ópticos con un centro totalmente óptico o eléctrico, permitirán la conmutación de las longitudes de onda y su reencaminamiento entre las subredes, sin ninguna necesidad de agregar señales para ser procesadas completamente en los nodos de la red, con independencia de cómo se trate el tráfico, añadiendo coste y complejidad.

Las necesidades de los operadores de transconectores ópticos están basadas en los siguientes objetivos:

- Proporcionar la necesaria conectividad para sus redes, incluyendo las funciones de restauración para incrementar la fiabilidad.
- Automatizar el proceso de puesta en servicio; el Multi-Protocolo Lambda Switching (MPIS) es un fuerte candidato para soportar eficazmente esta facilidad.
- Impulsar la capacidad con el objetivo de manejar miles de longitudes de onda en el futuro.

Tienen que estar previstas soluciones flexibles y escalables para su uso en el periodo de transición, dependiendo de la tecnología que esté disponible para satisfacer las necesidades de los operadores. Durante los próximos dos años, Alcatel reforzará su oferta de redes troncales del futuro en

línea con estas tendencias (*Figura 5*).

Los sistemas de DWDM actuales aumentarán en capacidad por medio de los siguientes procedimientos: agregar más canales y usar una velocidad binaria más alta, mejorar la eficacia espectral y reforzar el abanico de soluciones que puedan ofrecerse para ajustarse con precisión al diseño y a la topología de la red del cliente.

Reducción del espaciado de los canales, EDFAs mejorados, una nueva generación de amplificadores ópticos Raman y los formatos de modulación mejorados son las nuevas tecnologías que permitirán aumentar la distancia máxima que puede lograrse sin regeneración.

La funcionalidad OADM totalmente flexible se logrará a través de una nueva generación de filtros ópticos gestionados.

Las puertas de acceso ópticas de mejor capacidad y la primera generación de OXCs, capaces de conmutar las longitudes de onda en la capa óptica sin procesar la carga útil, comenzarán en ese

momento a coexistir. La disponibilidad de equipos de conmutadores ópticos externos o internos, junto con la normalización del Canal Óptico (OCH) a primeros del año 2001, permitirá una gestión de la capa óptica extremo-a-extremo DWDM de multivendedor para protección y QoS.

Los láseres ajustables estarán disponibles para reducir el costo de comprar y mantener las facilidades dedicadas a la longitud de onda. También permitirán la conversión de la longitud de onda, el encañamiento y el rápido aprovisionamiento de los OXCs.

Los productos de Alcatel que cumplan con estos requisitos emergentes incluyen:

- El Alcatel 1640 WM DWDM para redes internacionales troncales de larga distancia: Soporta hasta 160 canales a 10 Gbit/s en las bandas C y L. Subsecuentemente evolucionará para soportar un espaciado de canal de 25 GHz, permitiendo transportar el mismo número de canales solamente en la banda C.

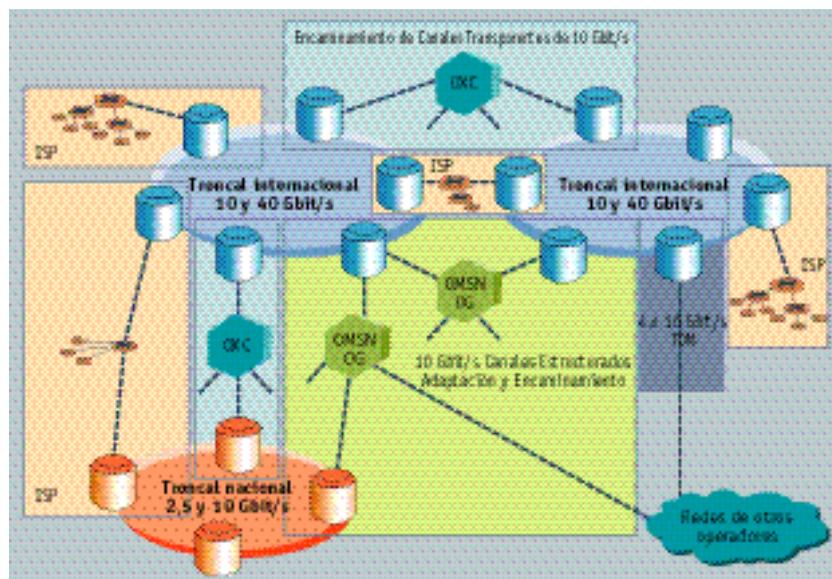


Figure 5 – Visión de la red en el año 2001.

Una nueva capacidad se añadirá a la plataforma del Alcatel 1640 para transportar hasta 40 longitudes de onda a 40 Gbit/s en la banda C después del TDM de 4x10 Gbit/s canales de cliente. La protección interior y la conectividad en la capa óptica aumentarán la flexibilidad de este sistema para transportar y encaminar los canales claros, por ejemplo, de 10 Gbit/s de encaminamientos centrales. La mejora de los formatos de modulación y los amplificadores ópticos Raman incrementarán más todavía las distancias de transmisión alcanzables a 10 Gbit/s y a 40 Gbit/s sin regeneración.

Finalmente, los láseres ajustables permitirán un OADM flexible y la conversión de la longitud de onda, encaminamiento y un rápido aprovisionamiento.

- El Alcatel 1670 OMSN que integrará interfaces WDM a 10 Gbit/s.

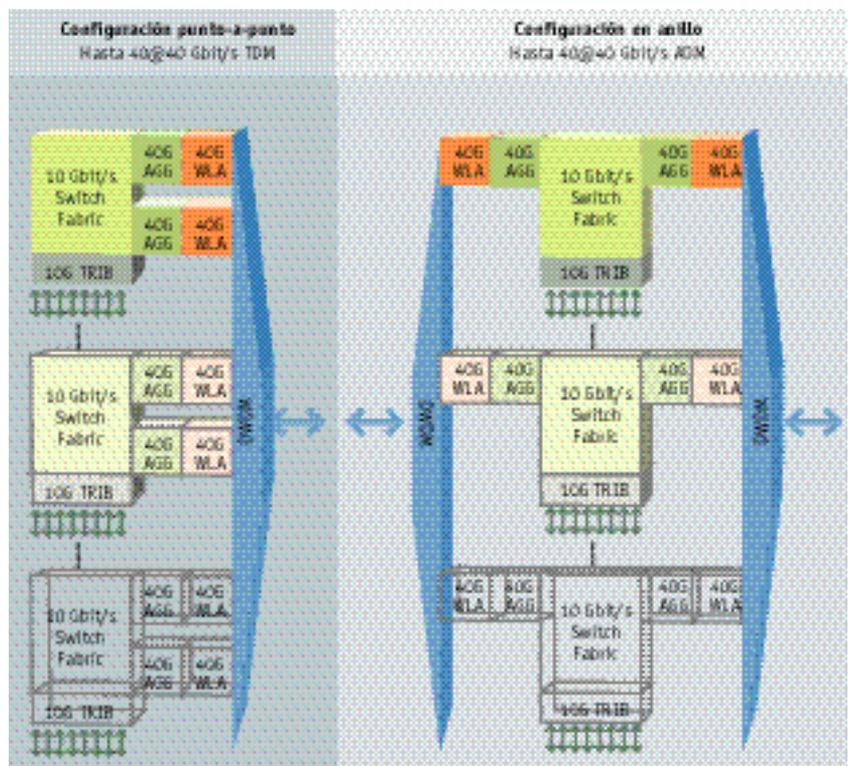
La puerta de acceso óptica Alcatel 1664 SX que será mejorada hasta una capacidad equivalente de conmutación de 16000 VC4 usando una arquitectura híbrida que puede hacer frente a los servicios de ordenamiento altos (hasta VC4-64c) y a los canales ópticos (2,5 y 10 Gbit/s).

- El Alcatel 1660 OLX que se desplegará como la primera generación de grandes OXCs.

### Productos de alta velocidad para las redes troncales futuras

#### Sistemas de 40 Gbit/s

Basado en la última tecnología electrónica y óptica, y en la experiencia de Alcatel en la gestión de la transmisión óptica avanzada, el sistema de Alcatel de 40 Gbit/s será



**Figure 6 – Arquitectura del elemento de red de 40 Gbit/s.**  
(a) configuración punto-a-punto, y (b) configuración en anillo

**AGG:** Agregar  
**G:** Gbit/s

**TRIB:** Tributario  
**WLA:** Adaptador longitud de onda

**OG:** Pasarela óptica

un nuevo tributario de la plataforma Alcatel 1640 OADM/WDM para transmisión DWDM a larga distancia de muy alta velocidad en la red troncal óptica. Conceptualmente, su diseño cumple las configuraciones de los elementos de red para las topologías de punto a punto, lineales con inserción/extracción, de anillo, de malla y de transmisión híbrida permitiendo fuentes de 2,5, 10 y 40 Gbit/s escalables en la misma plataforma de DWDM para el acceso directo a la capa óptica troncal. Hasta 40 longitudes de onda, con un espaciado de canal de 100 GHz en la región 1550 nm (banda C), pueden ser transportadas sobre una plataforma DWDM totalmente equipada hasta por lo menos 500 km, usando amplificadores en la línea cada 100 km.

Las interfaces del cliente (tributarias) son nominalmente señales ópticas de 9,95 ó 10,664 Gbit/s con multiplexación plesiócrona, en grupos de 4, a más de 40 Gbit/s (concentración) después de la gestión de FEC fuera-de-banda y de la tara de OCH.

Una facilidad de conmutación interna permite la conectividad de 10 Gbit/s así como gestionar la información transportada por el OCH, pero también el multiplexor terminal de 2 fibras, de 2x2 fibras y de 4 fibras y las configuraciones protegidas similares al ADM (ver **Figura 6**). Estas configuraciones pueden mezclarse y escalarse sobre la misma plataforma del Alcatel 1640 WM.

Cada canal de 40 Gbit/s se asigna a una longitud de onda y se adapta adecuadamente para lograr una

distancia de transmisión muy larga a través del Alcatel 1640 OADM/WM, sin regeneración, sobre fibra UIT-T G.652 (Standard Single Mode Fiber; SSMF) y fibra UIT-T G.655 (Non-zero Dispersion Shifted Fiber; NZ-DSF) Las fuentes con una frecuencia nominal de 9,953 ó 10,664 Gbit/s pueden alimentarse desde cualquier equipo del cliente sin necesidad de sincronización externa. Las interfaces del sistema y la facilidad interna del conmutador son independientes de cualquier posible estructura sobre la señal del cliente de 10 Gbit/s por lo que la total transparencia del contenido de la señal está garantizada para las transmisiones extremo-a-extremo. El sistema Alcatel 40 Gbit/s, basado en la plataforma del Alcatel 1640 WM, es un ejemplo muy claro de un elemento de red de capa óptica totalmente consistente. Sus principales ventajas se resumen en la **Tabla 1**.

### Transconector de capa óptica

El transconector de capa óptica de Alcatel, conocido como Cross-Light™, es un elemento de red totalmente dirigido al encaminamiento óptico flexible de las longitudes de onda individuales. Transparente al protocolo, y capaz de encaminar y conmutar dinámicamente las longitudes de onda, el transconector de capa óptica está diseñado para aplicaciones lineales, de anillo y de malla.

Su concepto de diseño está basado en un equipo de conmutación óptico puro que será compatible con el aumento de las velocidades binarias en las redes de transmisión de larga distancia de hasta 40 Gbit/s, mientras que las soluciones basadas en matrices eléctricas están limitadas a 20 Gbit/s.

#### *Optimización de la anchura de banda óptica: disminución de los costes/Gbits/km. en la red troncal*

- Actualización de las redes DWDM existentes de 2,5 Gbit/s y 10 Gbit/s
- Reducción y optimización de espacio base (para la misma anchura de banda total).
- Reducción de la complejidad (más capacidad/longitud de onda).
- Diseño de una nueva generación de redes troncales de larga distancia con anchura de banda optimizada: topologías ópticas punto-a-punto y de anillo con funcionalidad de inserción/extracción flexible y conectividad escalable de OXC a 10 Gbit/s.

#### *Protección de la anchura de banda óptica*

- Fiabilidad de la red junto con la optimización de la anchura de banda.
- Uso de conectividad de 10 Gbit/s para gestionar el criterio de conmutación regulado por el FEC fuera-de-banda junto con la capa OCH transportada por la trama FEC.

#### *Supervisión de la anchura de banda óptica*

- QoS y mantenimiento.
- Uso de la capa OCH transportada por la trama FEC.

**Tabla 1– Principales ventajas del sistema Alcatel 40 Gbit/s**

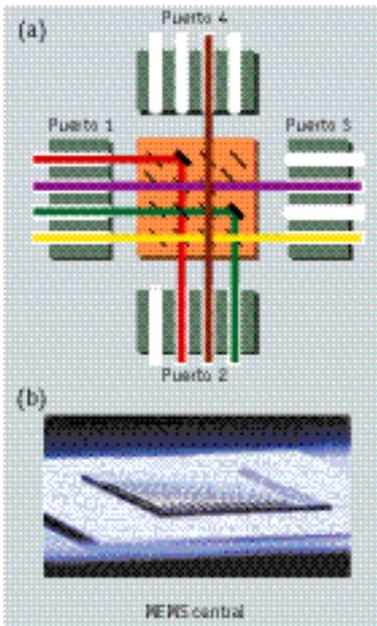
No obstante, debido al nivel de deterioros acumulados en la transmisión (dispersión cromática, dispersión de modo de polarización, efectos no lineales, ruido del amplificador y estrechamiento del filtro), inicialmente será necesario superar estas limitaciones

por medio de la utilización de interfaces ópticas/eléctricas debido a que tienen varias ventajas:

- Facilitan el crecimiento de la capa fotónica impidiendo los problemas debidos a la acumulación y proporcionando la traducción de la longitud de onda.
- Impulsan la introducción de transconectores ópticos con los sistemas WDM actuales.
- Facilitan la localización de faltas y la supervisión del rendimiento (Tasa de Error de Bit; BER) y simplifican la gestión de red.
- Permite la inter-operatividad multi-vendedor y garantiza la calidad entre vendedores.
- Facilitan la introducción de nuevas tecnologías tan pronto como éstas estén disponibles.

Las características más importantes de los transconectores de la capa óptica son:

- Equipo fotónico de conmutación de hasta 4000 puertos.
- Soporte de velocidades binarias de OC48/STM-16, OC192/STM-64, y 40 Gbit/s.
- Total conectividad de forma estrictamente no bloqueante.
- Multi-distribución con «drop and continue» y funciones de acceso de prueba.
- Modularidad con la capacidad de desplegar el equipo según la capacidad requerida, ahorrando costes durante la instalación y las extensiones.
- Protección (1+1 y 1:1) en configuraciones lineales así como protección en la conexión de las subredes (SNCP) óptica y el Och-SPRING para las configuraciones en anillo.
- QoS y mantenimiento que usando la capa de OCH transportada por la trama FEC.



**Figure 7 – Conmutación óptica.**

(a) estructura genérica de un conmutador 2D 4 x 4 switch, y (b) chip MEMS 2D 16 x 16

(Fuente: OMM Incorporated)

## Tecnologías impulsoras

Los sistemas WDM se han desplegado durante más de cinco años para contrarrestar el agotamiento de la fibra en las redes ópticas. Los despliegues han consistido principalmente en puros sistemas punto-a-punto. Éste todavía es el caso y seguirá siendo la prioridad durante algún tiempo. Los operadores han expresado durante cierto tiempo el deseo de poder gestionar sus redes ópticas en el ámbito de la longitud de onda o de la fibra con el objetivo de reforzar la eficacia de la planta de fibra instalada y el equipo base. Semejante requisito implica la necesidad de poder conmutar y transconectar fibras o longitudes de onda en los elementos de red. Los apartados siguientes revisan brevemente las distintas tecnologías a nivel de sistema, con una distinción clara entre el nodo y la transmisión punto a punto.

## Conmutadores ópticos

Existen cuatro aplicaciones principales para los conmutadores ópticos:

- Protección de la capa óptica (longitud de onda y fibra).
- Inserción y extracción (longitud de onda).
- Conexión de cruce (longitud de onda y fibra).
- Encaminamiento (paquetes ópticos).

Las dos primeras aplicaciones normalmente requieren conmutadores de pocos de puertos, típicamente 1x2, 2x2 y NxN, hasta un máximo de N=8. Las tercera y cuarta requieren conmutadores de muchos puertos que tienen que ser del tipo de NxN donde N es 512 en una primera fase, y se espera que crezcan hasta por lo menos 4.000. Hoy los conmutadores 1x2 y 2x2 son de uso común. Los conmutadores del tipo optomecánico, cristal líquido o polímero tienen normalmente una pérdida de inserción de 0,8 a 1,5 dB y un tiempo de conmutación de 5 ms (<1 ms para los tipos de cristal líquido).

Los suministradores de conmutadores están ahora buscando conmutadores 1x2 y 2x2 basados en la tecnología de sistemas mecánicos micro-electrónicos (MEMS). Éstos ofrecerán las mismas características ópticas, pero serán mucho más pequeños y significativamente más baratos.

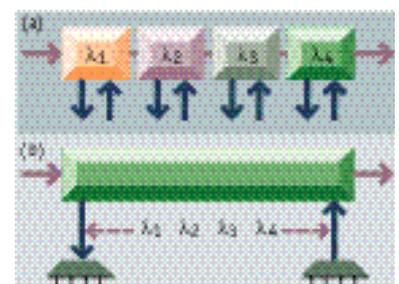
Con respecto a los conmutadores NxN que se requieren para algunas aplicaciones de protección así como para las conexiones de cruce, las tecnologías iniciales pueden utilizarse para construir conmutadores con N hasta 32:

- Basados en guía de onda «planar» (por ejemplo, la tecnología

Agilent). De tipo MEMS 2D (por ejemplo, la tecnología OMM).

Tales conmutadores se ordenan en arquitecturas multi-etapa para construir transconectores ópticos de hasta 512 puertos. Típicamente, un conmutador de 32x32 tiene una pérdida de inserción de 7 dB y un tiempo de conmutación entre 5 y 10 ms. La **Figura 7a** ilustra la estructura genérica de un conmutador 2D (2 Dimensiones) 4x4. La luz se desvía desde el puerto 1 (el puerto de entrada) al puerto 2 (el puerto de salida) por medio de la creación de una reflexión total de dos longitudes en el transconector y por la inserción de un espejo en el transconector del camino luminoso para las tecnologías MEMS (óptica de espacio libre, en este caso).

La **Figura 7b** ilustra un chip MEMS de 16x16, que tiene aproximadamente 2 cm de anchura. La construcción de bloques mayores de 32x32 (usando matrices de etapa simple o de multi-etapa) es necesaria para la construcción de transconectores que puedan adaptar 1.000 longitudes de onda o más. Esto se ha hecho actualmente utilizando tecnologías de MEMS 3D que pueden usarse para la construcción de bloques funcionales de hasta 2000x2000 con una pérdida de inserción típica de 7 dB. El



**Figure 8 – Dispositivos de inserción/extracción**

(a) unidad de canal individual en serie  
(b) unidad multi-canal

tiempo de conmutación se encuentra todavía en el rango de 5 a 10 ms y es demasiado lento para la conmutación de paquetes ópticos que requieren tiempos de conmutación menores de microsegundos. Tal ordenación 3D requiere sólo  $2 \times N$  espejos comparado con la ordenación 2D que necesita  $N^2$  espejos, y, por tanto, haciendo posible la construcción de conmutadores mucho más grandes con el mismo número de espejos. Además, es posible usar unas series de InP-SOAs como puertas de acceso ópticas para reducir los tiempos de conmutación hasta el orden de unos pocos nanosegundos.

### OADM

Los sistemas de fibra WDM están ampliamente desplegados en las redes de telecomunicación. Las primeras instalaciones eran básicamente punto-a-punto, pero los sistemas futuros tendrán que extraer y agregar canales en los nodos intermedios. Cuando el número de canales aumente, el número de extracciones y adiciones de canales también aumentará. Inicialmente fue considerado deseable poder extraer el 25% de los canales de una fibra en cada nodo, pero con el incremento del tráfico este valor puede crecer rápidamente un 100%. Los métodos y tecnologías disponibles para los módulos de inserción/extracción pueden dividirse en tres clases principales:

- Multiplexación y demultiplexación de todos los canales;
- Dispositivos de inserción/extracción de canal individual en cascada;
- Dispositivos de inserción/extracción multi-canal.

Estos dispositivos de inserción/extracción tienen sus ventajas y des-

ventajas, dependiendo de la aplicación. Alcatel ha estado desarrollando módulos totalmente reconfigurables basados en filtros dieléctricos multicapa en una configuración de inserción/extracción de canal simple en cascada (**Figura 8a**). Este enfoque es atractivo para un número pequeño de canales (4 u 8 canales de 32), pero tiene las limitaciones para un número elevado de canales (80) y un espaciado pequeño de canal (50 GHz). Diafonía, pérdidas altas de inserción y filtrado de anchura de banda son los mayores problemas. Un nuevo tipo de dispositivo de inserción/extracción se está estudiando actualmente, basado en el uso de rejillas Fiber Bragg multi-canal como filtros de ranura (**Figura 8b**). Este método tiene las ventajas siguientes:

- Baja pérdida de inserción (menos de 9 dB), y compatibilidad con los amplificadores en línea.
- Conveniente para 50 GHz (16 canales), 100 GHz (8 canales) y 200 GHz (4 canales) de espaciado de canal.
- Transparencia respecto a la velocidad binaria (menos de 40 Gbit/s).

La tecnología de cristal líquido ofrece una solución atractiva para

el diseño de multiplexores de inserción/extracción. Tales unidades usan un gran enrejado para separar espacialmente los canales de longitud de onda, una serie de elementos de cristal líquido para conmutación y un enrejado a la salida para combinar de nuevo los canales. Este enfoque puede proporcionar un rechazo alto y una gran anchura de banda. También, al ser un diseño más paralelo que serie, la pérdida de inserción es independiente del número de canales. Con este tipo de dispositivo se puede obtener una capacidad y reconfigurabilidad total.

### Entrelazado

La tecnología convencional usada en las redes ópticas activas de anchura de banda alta es la multiplexores y demultiplexores ópticos pasivos de alta densidad. La segmentación y el entrelazado de la óptica ofrecen una solución alternativa. Los canales densos pueden resolverse por medio de una amplia anchura de banda con baja pérdida de inserción, aislamiento alto, alta precisión de canal y uniformidad. Típicamente, 80 canales con 50 GHz de espaciado pueden resolverse con dos conjuntos complementarios de 40 canales con 100 GHz de espa-

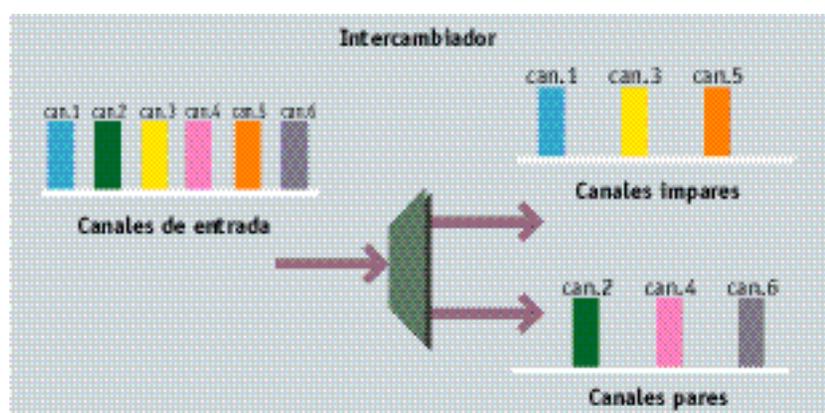


Figure 9 – Principio de operación de un intercambiador.

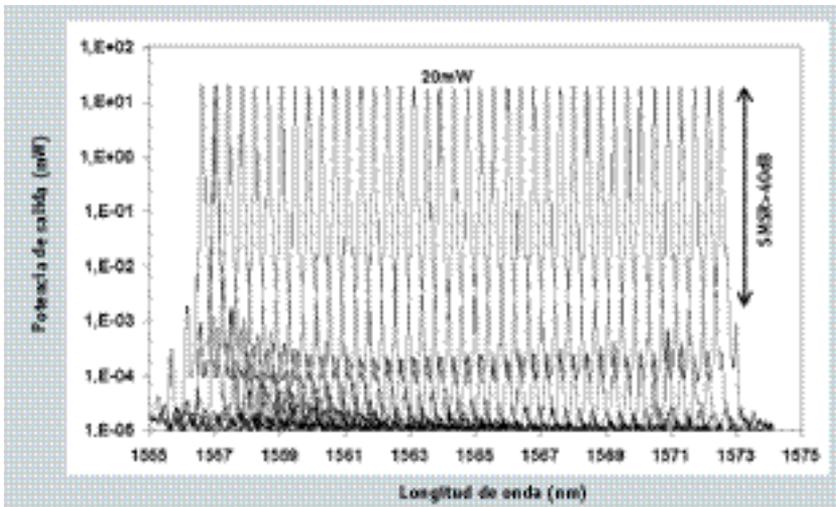


Figure 10 – Rango de ajuste eléctrico para un láser reflector Bragg distribuido.

ciado (Figura 9). Semejante dispositivo puede preverse para las aplicaciones de inserción/extracción y para mejorar la granularidad de los canales.

### La modulación óptica

La señal a transmitir se codifica con datos utilizando modulación óptica. En la práctica, se usa la modulación de la amplitud. La modulación de la fase o la modulación de la polarización se utiliza en algunos sistemas como esquema de modulación complementario para mejorar el rendimiento de la transmisión, pero estos esquemas de modulación adicionales realmente no llevan información. La modulación de amplitud puede ser de No Retorno a Cero (NRZ) o de Retorno a Cero (RZ), dependiendo del sistema. Para la transmisión de larga distancia, la modulación de amplitud se logra generalmente en una de las dos siguientes formas: o con un material electro-óptico como el litium-niobate (LiNbO<sub>3</sub>) o con el material del semiconductor del grupo III-V con las propiedades de electro-absorción convenientes. La ventaja principal de modulación por electro-absorción es la de

que es posible la integración con el láser para construir Moduladores de Láser de Electro-Absorción (EALM) pequeños y rentables. El voltaje distribuido también es más pequeño que para el LiNbO<sub>3</sub> y esto es beneficioso para los distribuidores electrónicos.

Las características principales a las que van dirigidos estos dos esquemas de modulación de amplitud son la anchura de banda, el porcentaje de extinción y el chirp (ligera modulación de la fase que

aparece durante la modulación de la amplitud).

Hoy día, por lo que se refiere a la anchura de banda, tanto el litium-niobate como los moduladores de electro-absorción trabajan a 40 Gbit/s. Los moduladores de Lithium-niobate son normalmente mejores que los moduladores de electro-absorción en lo concerniente al porcentaje de extinción pero estos últimos pueden proporcionar un rendimiento satisfactorio. El chirp también es más fácil de escoger o ajustar con un modulador de lithium-niobate que puede ser útil para algunos propósitos de transmisión.

Para aplicaciones muy exigentes, como las de distancias muy largas y las de velocidades de bits muy altas, los moduladores de lithium-niobate son particularmente interesantes. Para otras aplicaciones, los EALMs tienen la ventaja de ofrecer una reducción sustancial en el tamaño y en el coste del transmisor. Así, los moduladores de lithium-niobate y EALMs son soluciones complementarias, cuya elección depende de la tasa de bits y de la aplicación.

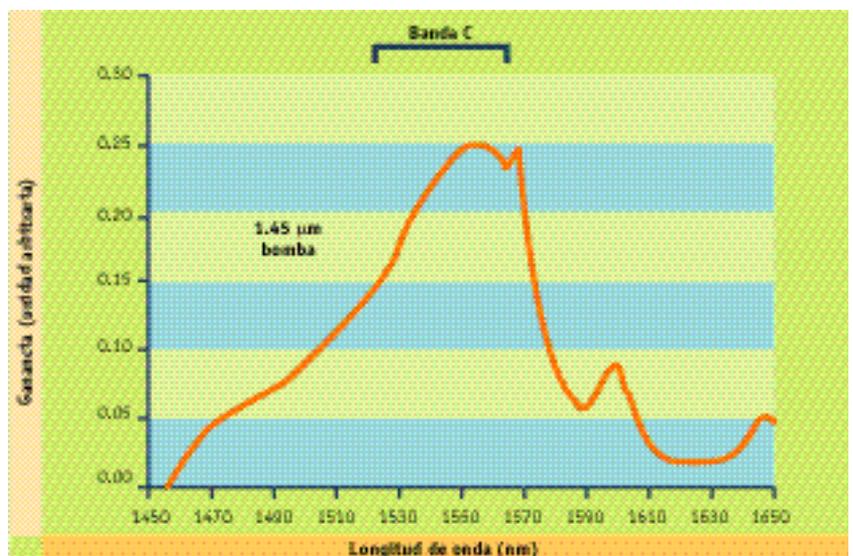


Figure 11 – La amplificación Raman.

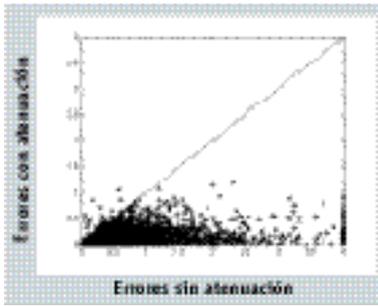


Figure 12 – Errores de transmisión con y sin atenuador PMD.

*Los láseres ajustables*

Los sistemas de Multiplexación por División de Longitud de Onda Densa (DWDM) usan diferentes transmisores y receptores que operan a longitudes de onda diferentes de la rejilla estándar de la UIT. Mantener un láser de repuesto por cada longitud de onda es caro y mantener un conjunto de láseres de repuesto es poco atractivo económicamente. Pero, ajustando los láseres para una determinada longitud de onda DWDM, unos pocos láseres ajustables pueden reemplazar varios dispositivos en un sistema DWDM, en lugar de mantener un número grande de unidades de longitud de onda fija. El ajustado térmico y eléctrico se usa principalmente para cambiar la longitud de onda de la emisión. Una tasa de ajuste de 0,1 nm/°C puede obtenerse por medio de ondas continuas distribuidas por láseres de realimentación. Por lo menos pueden obtenerse 10 canales con un espaciado de canal de 50 GHz con un solo láser cambiando la temperatura 40°C usando un controlador Peltier. Un ajuste eléctrico de alrededor de 12 nm (32 canales con 50 GHz de espaciado) puede conseguirse utilizando un láser de multi-sección Reflector Bragg Distribuido. La **Figura 10** muestra el gran rango de ajuste sobre 40 modos para un Láser DBR. El

ajuste térmico es un proceso lento, mientras que el ajuste eléctrico puede ser sumamente rápido (menos de 500 ns). Estos dispositivos se controlan vía una tabla EEPROM para cada longitud de onda. En ambos casos, se requiere una potencia de salida por encima de 20 mW.

*Los amplificadores ópticos*

El amplificador de fibra dopado con erbio es el componente fundamental para amplificar las señales ópticas WDM a lo largo del enlace de transmisión de fibra. El EDFA bombeado por diodos láser que emiten a 980 o a 1480 nm puede proporcionar varios valores de potencia de salida total llegando hasta un máximo de +23 dBm. Este amplificador incorpora un ecualizador de filtro de ganancia para proporcionar una respuesta de ganancia plana.

Un aspecto que presenta un gran desafío a la transmisión óptica terrestre es que el Amplificador de Fibra Óptica (OFA) que debe ser muy flexible en lo referente a las condiciones de operación para hacer frente a las variaciones en, por ejemplo, las pérdidas de la fibra de sección-a-sección. El diseño del OFA incluye un acceso de media-etapa para la inserción de componentes extras, tales como compensadores de dispersión cromática o los módulos de inserción/extracción ópticos.

Una nueva generación de amplificadores hará posible generar la amplificación directamente en la fibra usando el efecto de amplificación Raman. Esta técnica, que se ha usado durante años en los irrepitibles sistemas submarinos de Alcatel mejorará significativamente el presupuesto de potencia de los sistemas terrestres. Semejante técnica será especialmente importante para la transmisión a

40 Gbit/s. Como se muestra en la **Figura 11**, una fuente bomba emitiendo a 1,45 µm proporciona una amplificación de banda C completa.

Otra tecnología que ayudará proporcionar la requerida flexibilidad del sistema es la del ecualizador de ganancia adaptada. Este componente que está en desarrollo actuará como un ecualizador de filtro de ganancia con una respuesta espectral variable.

*El atenuador de dispersión en modo de polarización*

La Dispersión de Modo de Polarización (PMD) es inducida por la birrefracción geométrica o de estrés de las fibras durante su fabricación. Esto distorsiona la señal óptica modulada en el dominio del tiempo conduciendo, de vez en cuando, a la transmisión de datos erróneos. Aunque el PMD está cuidadosamente controlado por los fabricantes de fibra, esto puede llevar a graves fallos en la transmisión para un número relativamente grande de enlaces de fibra al soportar un tráfico de 10 Gbit/s y será un problema crítico para tráfico de 40 Gbit/s. Sin embargo, Alcatel ha desarrollado una solución única llevar la barrera del PMD hacia atrás. El llamado atenuador PMD mejora la tolerancia al PMD por un factor de 3. Es más, este dispositivo puede usarse en

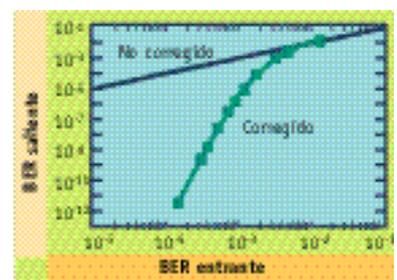


Figure 13 – Corrección de errores hacia delante del codificador Reed - Solomon 239/255

cualquier velocidad. La **Figura 12** presenta una comparación entre los fallos de transmisión obtenidos con y sin un atenuador PMD. Los resultados se obtuvieron durante varias semanas utilizando una señal óptica de 10 Gbit/s transmitida a través de más de 100 km de cable de fibra enterrado con 40 ps de PMD total. Como puede verse, el atenuador de PMD reduce los fallos de la transmisión considerablemente.

#### *La corrección de errores hacia delante*

El principio del FEC es el de codificar los datos transmitidos utilizando un código específico; esto requiere algún incremento de la tasa de bits. En el extremo receptor, un decodificador puede procesar los datos recibidos y corregir los errores. Un código común es el código Reed-Solomon 239/255. En el lado transmisor, se codifican 239 bytes en 255 bytes un 7% de la tasa de bits. En el lado receptor, el decodificador puede corregir los errores con una eficacia impresionante. Como se muestra en la Figura 13, la entrada BER de  $10^{-4}$  se corrige para construir un BER menor de  $10^{-12}$ . La curva de la corrección es muy grande y un BER de  $10^{-5}$  se corrige en un BER menor de  $10^{-20}$ . El número de errores consecutivos que pueden corregirse depende del código y del esquema de multiplexado usado para la implantación. En el caso del código Reed-Solomon 239/255 normalmente pueden corregirse 512 errores consecutivos. Los códigos FEC hacen posible el diseño de sistemas con una menor relación señal-ruido óptico, permitiendo incrementar la longitud y la extensión del sistema entre los amplificadores. El FEC reduce el BER causado por los errores hasta

tal extremo que puede considerarse despreciable ( $10^{-20}$ ), y permite que aumente la calidad del BER.

Los códigos FEC están ya implantados en varios sistemas de fibra óptica de Alcatel. La primera implantación fue en 1992 en un sistema de 622 Mbit/s. Hoy la tecnología está usándose para sistemas de 10 Gbit/s y se utilizará en breve para los sistemas de 40 Gbit/s. Profundos estudios están en marcha para la definición de nuevos y más potentes códigos FEC [3].

#### *Fibra*

Los sistemas de línea están compuestos de fibra de línea y fibra de compensación de la dispersión (DCF). El último normalmente se usa en sistemas que operan 10 Gbit/s o más. La gestión de la dispersión cromática a lo largo de la línea es un aspecto importante del diseño de los sistemas de transmisión de larga distancia.

La fibra de línea puede categorizarse en dos tipos:

- Fibra monomodo estándar (SSMF).
- Fibra de Dispersión Desplazada No-Cero (NZDSF).

#### *SSMF*

La fibra monomodo estándar tiene un perfil de índice de paso. Se caracteriza por una dispersión grande y una pérdida moderada. La fibra más común que cumple con la Recomendación G.652 de la UIT-T tiene un centro dopado con una dispersión cromática típica de alrededor de  $+17$  ps/nm/km a  $1.550$  nm y una pérdida de alrededor de  $0,2$  dB/km. Un tipo SSMF avanzado tiene un centro de sílice pura, lo que significa que el perfil de índice se logra usando un revestimiento enterrado. Esta Fibra de

Centro de Sílice Puro (PSCF) que cumple con la Recomendación G.654 de la UIT-T tiene una pérdida baja (típicamente  $0,18$  dB/km) y una dispersión cromática ligeramente más grande (típicamente  $+20$  ps/nm/km). La fibra SSMF es atractiva debido a su pérdida moderada. Además, se adapta bien a la transmisión de WDM debido a su resistencia alta a los efectos no-lineales. Esto es principalmente el resultado de una gran dispersión cromática que reduce las interacciones entre los canales.

#### *NZDSF*

La gran dispersión cromática de la fibra normal tiene el inconveniente obvio de que la transmisión de altas velocidades (10 Gbit/s y superiores) requiere una gran cantidad de DCF, que es algo caro, y su pérdida requiere de esquemas de amplificación específicos. Por tanto, se ha desarrollado una nueva familia de fibra de línea que proporciona la dispersión cromática suficiente para evitar las interacciones entre los canales, aún menos dispersión cromática que la SSMF para reducir la cantidad requerida. Estas fibras tienen un perfil de índice complejo para lograr un valor pequeño y preciso para la dispersión cromática. Siendo la dispersión cromática pequeña pero no-cero, este tipo de fibra es conocido como fibra de dispersión desplazada no-cero. La fibra NZDSF cumple la Recomendación G.655 de la UIT-T.

Hay que hacer notar que la antigua recomendación G.653 de la UIT-T sobre fibra de dispersión desplazada (DSF) ha causado a menudo problemas cuando se ha actualizado a WDM, porque la dispersión cromática exacta de este tipo de fibra estaba descontrolada y podía ser muy pequeña. Este tipo de

DSF es claramente diferente del más reciente NZDSF.

Existen diferentes versiones de fibra NZDSF, dependiendo de la dispersión cromática exacta, el área eficaz y la curva de dispersión cromática. La fibra NZDSF tiene normalmente una pérdida similar a la SSMF, mientras que la dispersión cromática se encuentra normalmente dentro del rango de 4 a 8 ps/nm/km. El NZDSF normalmente tiene una área eficaz entre 50 y 72  $\mu\text{m}^2$ , que es más pequeña que la de la SSMF (típicamente 80  $\mu\text{m}^2$ ). Por ello aparecen con la NZDSF efectos no lineales a potencias de señal menores que los de la SSMF.

Alcatel ha desarrollado una NZDSF, llamada Teralight™, que es el resultado de perfeccionar todos estos aspectos. La fibra Teralight™ ofrece una dispersión cromática moderada de alrededor de +8 ps/nm/km y un área eficaz de alrededor de 65  $\mu\text{m}^2$ . La fibra Teralight™ ya se ha usado en el laboratorio para la transmisión de 150 canales a 10 Gbit/s sobre de tres tramos de 100 km en las bandas C y L [4].

#### DCF

El objetivo del DCF es compensar la dispersión cromática de la fibra de la línea. También es beneficioso que el DCF compense la curva de la dispersión cromática de la fibra de la línea, de tal manera que todas las longitudes de onda en la ventana WDM experimenten la misma dispersión cromática total. Los parámetros principales son los siguientes:

- Una dispersión cromática muy negativa y una pérdida pequeña son beneficiosas para el DCF. La dispersión cromática típica es menor de -80 ps/nm/km mientras que la pérdida típica es

menor de 0,5 dB/km. Normalmente, la pérdida es de alrededor de 8 dB para un módulo que puede compensar para la dispersión cromática de 80 km de fibra estándar G.652 (aproximadamente 1.360 ps/nm).

- La compensación de la curva de dispersión cromática de la fibra de la línea es una característica importante para los sistemas WDM. La DCF que compensa la curva de la SSMF ya está disponible. La compensación para la curva de la NZDSF es más difícil de lograr ya que requiere una relación muy grande entre la dispersión y la curva. La DCF que compensa la curva de la NZDSF está casi a punto de estar disponible.
- El PMD debe ser pequeño ya que la DCF se usa para sistemas de muy alta velocidad.

#### Conclusiones

La transmisión a alta velocidad del DWDM sobre redes troncales está progresando muy rápidamente, abriendo la posibilidad de lograr el sueño de una «red totalmente óptica».

Aunque la tecnología óptica está mejorando muy rápidamente y ofreciendo interesantes productos ópticos para todas las partes de la red, la rentabilidad es también importante y la gestión total extremo-a-extremo de los canales ópticos requerirá, durante algún tiempo, algunas soluciones híbridas eléctricas/ópticas para coexistir. Un nuevo modelo central de alta velocidad tendrá que ponerse a punto para enfrentarse a una integración de la red que soporte el transporte de datos.

El artículo ha mostrado las posibles tecnologías que harán posible cumplir los requisitos de las redes

troncales de alta velocidad del futuro, y ha presentado los productos de Alcatel que se desarrollarán durante los próximos 18 meses. Estos incluyen un nuevo sistema de 40 Gbit/s que usa la plataforma de DWDM Alcatel 1640WM y una nueva capa óptica de transconectores. Se han descrito también las tecnologías que están detrás de estos productos innovadores.

#### Referencias

1. ITU-T Recommendation G.872: «Architecture of optical transport networks».
2. ITU-T Recommendation G.709 (Draft): «Network node interface for the optical transport network».
3. O. Ait Sab et al: Technical Digest of the OFC'2000 Conference, Paper ThS5, Baltimore, EE.UU., Marzo 2000.
4. S. Bigo et al, postdeadline paper, Technical Digest of ECOC'1999 Conference, Niza, Francia, Septiembre 1999.

**François Xavier Ollivier** es responsable de la Optical Platform y del Technology Competence Center del grupo System Design Technology del Optics Group en Villarsceaux, Francia.

**Scott Thompson** es director de Línea de Producto para CrossLight™, Optics Group en Plano, EE.UU.

**Claudio Zugno** es Director de Línea de Producto para el 1640 WM, Optics Group en Vimercate, Italia.



P. Perrier



S. Thompson

# Interconectores ópticos: lo más novedoso de la red óptica básica

> En el horizonte asoma el próximo gran avance en la escalada de la interconexión: la aparición del verdadero interconector óptico.

## Introducción

Un espectacular crecimiento en el tráfico, alimentado por la explosión de las comunicaciones de datos, el acceso a Internet y la telefonía móvil, así como la aparición de servicios multimedia de nueva generación, ha dado lugar a un gran aumento de los requerimientos de capacidad en las redes de transporte metropolitanas y de larga distancia.

La mayoría de los InterExchange Carriers (IXC) de larga distancia han adoptado la Multiplexación por División de Longitud de Onda (WDM) como tecnología a usar para enfrentarse a esta rápida y creciente demanda de ancho de banda. Las principales razones para seleccionarla son su compatibilidad con la infraestructura de fibra existente y su rentabilidad, si se compara con los métodos más convencionales. El WDM ofrece una enorme capacidad de transmisión al aprovecharse del mayor ancho de banda de las fibras ópticas. Recientemente varios fabricantes de equipos (incluido Alcatel con su OPTI-NEX™ 1640) han ofrecido productos comerciales con rendi-

mientos de 1,6 Tbit/s sobre una única fibra (¡160 canales a 10 Gbit/s!), con trayectos mejorados para suministrar aún más canales por fibra. Hasta la fecha, no obstante, el despliegue del WDM ha estado limitado fundamentalmente por los enlaces punto-a-punto, con gestión de reconfiguración activa y con gestión del ancho de banda realizada en la capa Red Óptica Síncrona/Jerarquía Digital Síncrona (SONET/SDH).

Ya que el número de canales ópticos transportados en una única fibra ha aumentado, ha sido necesario gestionar y restablecer estos canales ópticos de una forma más rentable que en los niveles STS-1/48 y STM-1. Esto ha llevado a los suministradores a la tecnología de la conmutación óptica/fotónica.

## Servicios ópticos basados en la interconexión y la longitud de onda

La amplia adopción del WDM en la red principal no sólo está dando lugar al aumento de la capacidad requerida, sino que también está dirigiendo la evolución de la red hacia una infraestructura de próxima generación,

conocida como *capa fotónica* (Figura 1), una red única de multiservicios diseñada para gestionar el crecimiento y el límite de las redes superpuestas y mejorar la eficiencia del ancho de banda. Además, la capa fotónica hará posible implementar una nueva clase de servicios de longitud de onda de extremo a extremo de altos beneficios para clientes que quieran una flexibilidad total de sus grandes necesidades de datos de ancho de banda.

## Flexibilidad y eficiencia

Los planificadores de redes están estudiando usar la fotónica para interconectar los enlaces WDM punto a punto existentes y formar una red óptica robusta y escalable. El reto al que se enfrenta la industria es ofrecer *flexibilidad* en las redes locales, con velocidad binaria y transparencia de protocolo, al tiempo que potenciar al máximo la *eficiencia* de la gestión del ancho de banda en las redes de larga distancia. En las redes principales de larga distancia, los desarrollos de la tecnología fotónica se dirigirán a permitir de una manera más eficiente reagrupar las longitudes de onda, encaminar y proteger/restablecer la red

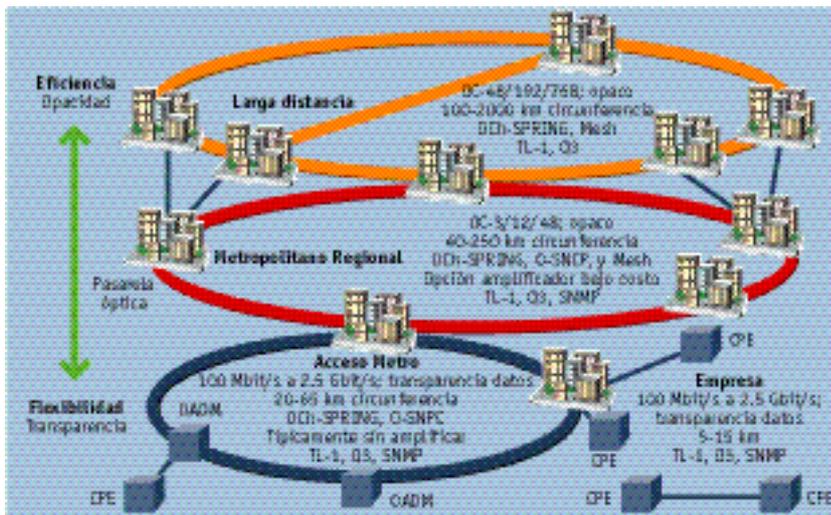


Figura 1 – Vision Optinex de la red óptica.

**CPE:** Equipo en las Instalaciones del Cliente.

**OADM:** Multiplexor Óptico de Inserción/Extracción.

**Och-SPRING:** Anillo Óptico de Protección de Canal Compartido.

**O-SNPCP:** Protección Óptica de Conexión de Subred.

**SNMP:** Protocolo Simple de Gestión de Red.

de la información de alta velocidad binaria.

### Servicios de longitud de onda

Se espera que los servicios de longitud de onda extremo a extremo sean de diferentes tipos. Por ejemplo, un servicio de longitud de onda podría ser el intercambio de ancho de banda entre dos operadores de larga distancia en dos centros principales de red. También se podría vender una longitud de onda de extremo a extremo entre dos ciudades en diferentes lugares del mundo a un cliente del Fortune 500. La aparición de estos servicios beneficiaría tanto a operadores como a clientes:

- Al vender longitudes de onda en lugar de fibras oscuras, el operador se puede beneficiar del gran capital invertido en su planta de fibra sin cesión de estos activos de fibra a los clientes.

- Los clientes se benefician por tener el control total del contenido y formato de la información a transmitir sobre su red sin el coste de una infraestructura de red dedicada.

Se espera que los Interconectores Ópticos (OXC) sean la piedra angular de la capa fotónica, dando a los operadores opciones más dinámicas y flexibles para la construcción de una topología de red con el aumento de su supervivencia. Hoy, estos equipos existen básicamente en los laboratorios de los fabricantes de equipos de telecomunicaciones, habiendo sido mostrados en largas pruebas de campo, normalmente formando parte de programas nacionales. Estos OXCs están preparados, no obstante, para dejar etapa experimental y buscar su sitio en todas las áreas de la red, primero en la red de larga distancia, después en los grandes emplazamientos Punto De Presencia (POP) entre los operadores y los grandes emplazamientos centrales

dentro de las redes de operadores, y, por último, en las redes auxiliares y las de acceso.

### Aplicaciones OXC

La principal función del OXC será reconfigurar dinámicamente la red, a nivel de la longitud de onda, tanto para el restablecimiento como para la adaptación de los cambios en la demanda de ancho de banda. Los OXCs están previstos para:

- La gestión de la conexión y del ancho de banda, para suministrar conexiones de canales libres (para servicios de longitud de onda de línea privada) y de «canales ópticos» (con la capacidad de suministrar cargas útiles no SONET/SDH), así como para proveer funciones de inserción/extracción, etc.
- La reagrupación de la longitud de onda, para mejorar la utilización de la infraestructura instalada.
- El gradual crecimiento de los servicios de 10 a 40 Gbit/s, reduciendo los costes de la red.
- La protección/restablecimiento, a nivel de la longitud de onda, para aumentar al máximo la eficiencia y fiabilidad de la infraestructura de la red principal a un coste más bajo de la red.
- El enrutamiento e interconexión en el nivel de la longitud de onda, como un repartidor óptico automatizado con acceso integrado, reemplazando así potencialmente algunos paneles de conmutación de fibra; gestión de las longitudes de onda entre anillos conectados entre sí.
- La asignación dinámica de la longitud de onda, acoplando el

OXC con un núcleo de routers para realizar una solución rentable frente a los cambiantes requisitos de ancho de banda en una red de datos.

Estas aplicaciones se ofrecerían en un sistema unificado de gestión de red, permitiendo un rápido suministro de servicios extremo a extremo así como acuerdos del nivel de servicios del nivel de red.

### Facilidades OXC

Aunque es importante con la capacidad tecnológica actual, es probable que a corto plazo el número de puertos de los OXCs en la red principal sea bastante pequeño (512×512 equivalente a los puertos únicos de longitud de onda), pero en el futuro crecerá en varios miles.

Como se dijo anteriormente, la red principal seguirá soportando tramas SONET/SDH durante los próximos años con velocidades de señal limitadas a 2,5 y 10 Gbit/s, pero con los 40 Gbit/s a la vuelta de la esquina. Por ello, el OXC se deberá adaptar a estas velocidades.

Otros atributos obligatorios que son independientes de la posición de los OXCs en la red son:

- *Puerto único de longitud de onda:* En la estrategia inicial de despliegue, los puertos OXC serán únicamente de longitud de onda. No obstante, según evolucione la capa fotónica, los puertos compatibles de WDM (que integran la funciones de demultiplexación/multiplexación de longitud de onda en el interconector) podrían dar lugar a importantes beneficios desde el punto de vista de

gestión de red y de los costes. Esta evolución requeriría, no obstante, ó bien la definición de interfaces normalizados de longitud de onda múltiple (que no será pronto) o bien un único entorno de vendedor.

- *Conectividad total en un modo estrictamente no bloqueado:* Se puede establecer cualquier conexión desde un puerto disponible de entrada con cualquier puerto disponible de salida sin perturbar ni reorganizar las conexiones existentes, y sin afectar en ninguna forma la calidad de estas conexiones.
- *Soporte a la multidistribución:* Las conexiones de multidistribución (al menos 1×2) se deben soportar desde cualquier entrada a cualquier grupo de salidas, sin ninguna restricción. En especial, cualquier número de conexiones de multidistribución debería soportarse simultáneamente. El OXC debe permanecer totalmente no bloqueado en las condiciones de la multidistribución.

La combinación de conectividad total y capacidad de multidistribución tiene especial interés para insertar/extraer con la funcionalidad de «extraer y continuar», así como para el acceso de pruebas, permitiendo la asignación de cualquier subconjunto de los puertos de entrada/salida del OXC, a criterio del usuario, como puertos de inserción/extracción (longitud de onda única) o como puertos de acceso de pruebas. En este último caso, el operador puede conectar cualquier puerto(s) a los puertos de acceso de pruebas asignados mediante el establecimiento de las conexiones apropiadas a través de la estruc-

tura de conmutación. De esta forma, los puertos de acceso de pruebas se pueden conectar directamente al equipo externo, permitiendo que las conexiones terminales y de paso que se prueben en el OXC:

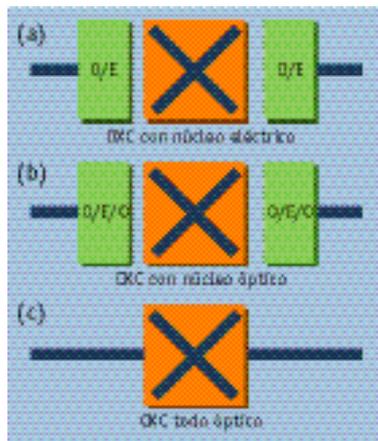
- *Escalabilidad:* Para permitir el crecimiento a grandes tamaños.
- *Modularidad:* La facilidad para dimensionar el OXC como una función de la capacidad requerida reduciría el coste de la instalación inicial y del crecimiento futuro.
- *Tiempos rápidos de conmutación para suministro y restablecimiento:* Las líneas privadas pueden tolerar tiempos de suministro del orden de un segundo. Con respecto al restablecimiento, el objetivo del SONET/SDH es 50 ms, mientras que en las actuales redes mixtas se pueden emplear varios minutos. Se espera que la mayoría de las aplicaciones tengan un segundo restablecimiento.
- *Supervivencia mediante redundancia total (1+1) del centro de conmutación y de la plataforma de control:* La arquitectura dual también facilitará una mejora en el servicio eficiente y con bajo riesgo sin afectar al servicio.
- *Operación, administración, mantenimiento y suministro:* El OXC debe suministrar las facilidades de verificación de la conexión y de supervisión.

Posiblemente, la principal barrera para la introducción de los interconectores ópticos se encuentra en el área de gestión de la red. Los sistemas históricos de operaciones nunca han contemplado esta funcionalidad de

gestión de la longitud de onda. Las nuevas facilidades deben dirigirse hacia los elementos de red y los gestores de elementos para mantener el control y para interconectarse con las redes existentes. Pocos operadores tienen experiencia para trabajar con sistemas WDM, y menos con los OXCs, y existen pocos estándares que traten sobre como gestionar mejor un circuito de longitud de onda a través de la red. A corto plazo, los vendedores suministrarán sistemas propietarios de gestión para resolver estos problemas. No obstante, deben alcanzarse acuerdos dentro de la industria sobre el tipo de información a monitorizar, sobre la técnica a usar para crear los canales ópticos de servicios y sobre la forma en que estos canales son monitorizados y controlados por los grandes sistemas de gestión del operador. Los nuevos actores de la industria de las telecomunicaciones deben ser capaces de implementar estos servicios lo antes posible al no estar gravados por los grandes sistemas históricos de gestión.

### Núcleo óptico o eléctrico

Hasta ahora, la construcción de una estructura de conmutación óptica escalable ha sido difícil debido a la falta de bloques funcionales ópticos de conmutación. Esta limitación ha tenido un impacto directo en la posible arquitectura del OXC, en el tamaño final y en los costes, y ha llevado a algunos fabricantes de equipos a proponer un «interconector de capa óptica» basado en una matriz eléctrica. Como resultado, la mayoría de los interconectores ópticos que se



**Figura 2 – Interconectores ópticos.**  
(a) con núcleo eléctrico, (b) con núcleo óptico, y (c) totalmente óptico

anuncian actualmente (Ciena, Cisco Networks, Sycamore, etc.) tienen sistemas electrónicos, y no ópticos, en su núcleo (*Figura 2a*) y procesan señales en las cuales la mayor velocidad binaria es la eléctrica de 2,5 Gbit/s. La razón es que las señales ópticas que entran y salen del OXC van a través tanto de interfaces ópticas como eléctricas (ver siguiente apartado «Opacidad o transparencia total»), así ¿por qué no realizar también electrónicamente la función de conmutación? El argumento es válido, en especial desde la perspectiva de los costes. No obstante, esto empieza a fallar en cuanto se aumenta la velocidad binaria en las redes de larga distancia:

- Los puntos de conmutación eléctricos de 10 y 40 Gbit/s aún no se encuentran disponibles comercialmente. Nuevos materiales, como el Germaniuro de Silicio (SiGe), que permitirían la operación a 10 Gbit/s están en estudio. Los resultados iniciales, no obstante, indican que los dispositivos de conmutación basa-

dos en estas tecnologías se limitarán a tamaños bastante pequeños, quizás de  $32 \times 32$ , antes de que problemas tales como la diafonía y el consumo de potencia lleguen a ser demasiado complejos de resolver. Así, se requeriría una arquitectura multi-etapa para implementar interconectores de muy alto número de puertos. Si los actuales interconectores de «ultra-banda» (matriz de conmutación de 2,5 Gbit/s) eran usados en la red principal, donde la velocidad preferida de transmisión esta evolucionando rápidamente de 2,5 a 10 Gbit/s, tendrían que usarse cuatro (4) puertos de 2,5 Gbit/s para manejar cada señal de 10 Gbit/s, reduciendo de hecho el tamaño del interconector por cuatro. El mismo esquema se tendría que utilizar para manejar señales con velocidades mayores (tal como 40 Gbit/s), reduciendo aún más el tamaño de los interconectores.

- La interconexión eléctrica de los bloques funcionales electrónicos de conmutación en una arquitectura multi-etapa se hará cada vez más compleja (para salvar las distancias de interconexión, para reducir las interferencias electromagnéticas, etc.), más incómoda (cables pesados y con diámetros relativamente grandes) y cara, la velocidad binaria más alta y el tamaño de interconector más grande. Aunque se espera que los bloques de conmutación eléctricos a 10 Gbit/s sean más baratos que sus homólogos ópticos, los modelos económicos nos dicen que un sistema totalmente basado en un núcleo eléctrico con interconexiones eléctricas sería más caro.

Se ve la interconexión óptica como una alternativa atractiva (si no la única) para vencer estas limitaciones. No obstante, si la interconexión entre los circuitos integrados de conmutación es óptica, ¿no tendría sentido realizar también ópticamente la función de conmutación, ahorrándose así los interfaces ópticos/eléctricos/ópticos dentro de la estructura? Como consecuencia, se han propuesto interconectores con un verdadero centro de conmutación óptico (*Figuras 2b y 2c*). Aunque un interconector totalmente óptico podría ser una solución atractiva (*Figura 2c*) desde un punto de vista de coste y transparencia, se espera que una solución «opaca», basada en un núcleo óptico rodeado por una función 3R (Reshape, Retime, Reamplify), como en la *Figura 2b*, sea el interconector óptico elegido, como se explica a continuación.

**Opacidad o transparencia total**

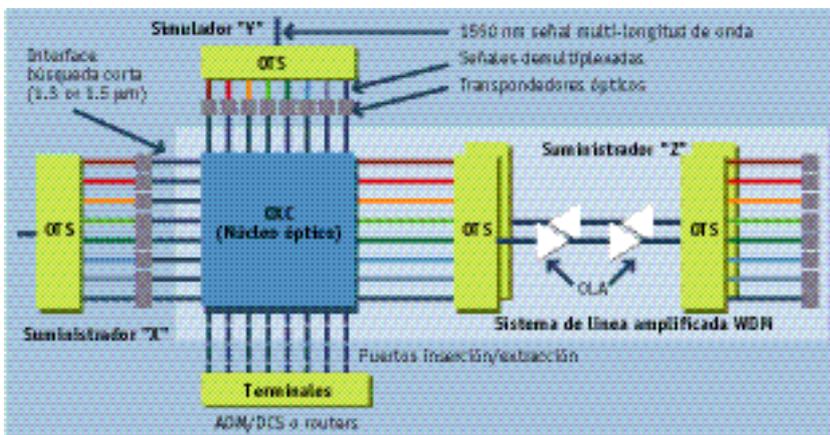
En nuestro modelo de red óptica en el cual la red principal se

optimiza para *eficiencia* del transporte en volumen, las redes de larga distancia continuarán soportando cargas útiles de SONET/SDH durante varios años más. Por ello, la transparencia al protocolo no es un problema inmediato en esta parte de la red. Las velocidades de la carga útil se limitarán a OC-48 y a OC-192 (con OC-768 a la vuelta de la esquina). En realidad, es improbable que un operador de larga distancia que desea manejar sus longitudes de onda al máximo con la mayor velocidad binaria posible, esté dispuesto a consumir una longitud de onda para un servicio que termina a través de una red local utilizando sólo unos pocos Mbit/s. La transparencia de la velocidad binaria sobre el conjunto de velocidades soportadas mejoraría mucho la flexibilidad de la red. El inconveniente de esta propuesta es que el vano se debe diseñar para el caso peor (por ejemplo, la velocidad binaria más alta), haciendo subir potencialmente el coste de la red. De esta forma la regeneración 3R, tanto para velocidad

única como múltiple, sigue siendo una función clave de la red principal y el componente clave del coste; este dominio crecerá con el aumento del número de canales y de la velocidad por canal. Aunque se han obtenido resultados prometedores en la regeneración óptica, la regeneración optoelectrónica (O/E/O) sigue siendo la más eficiente y rentable de las instalaciones actuales.

La transparencia total en este nivel de la red sería, sin duda a «prueba de futuro» de la infraestructura frente a los incrementos de la velocidad binaria y a los nuevos tipos de tráfico, y reduciría el equipo en el trayecto de la señal, dando lugar a una importante ventaja en el coste. No obstante, esta misma transparencia limita la escalabilidad (en términos de número de canales, velocidad binaria, etc.) o la extensión geográfica de la red. Estas limitaciones provienen de:

- La acumulación de problemas de transmisión, resultantes de la Dispersión Cromática (CD), la Dispersión en Modo Polarización (PMD), los Efectos No Lineales (NLE), la diafonía del componente, el ruido de amplificador, la curvatura de ganancia, las Pérdidas Dependientes la Polarización (PDL), la falta de alineamiento de la longitud de onda y la falta de alineamiento y la estrechez del filtro.
- La dificultad en la ingeniería de la red, que tendría que ser diseñada para el «caso peor». Además, la transparencia requiere que toda la red se diseñe al mismo tiempo. Una vez diseñada, la red no se puede extender más allá de los límites previstos en el diseño.

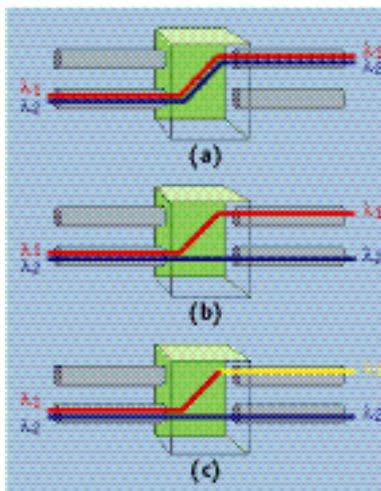


**Figura 3 – Arquitectura de la oficina central óptica a corto plazo.**

**DCS:** Sistema de Interconector Digital.     **OTS:** Sistema Óptico de Transmisión.  
**OLA:** Amplificador Óptico de Línea.

Para superar estas limitaciones, se espera que el despliegue de interconectores con un núcleo óptico comience con interfaces O/E/O normalizados y abiertos. Estos tienen las siguientes ventajas:

- Facilitan el crecimiento de la capa fotónica al prevenir los problemas debidos a la acumulación y al suministrar traducción de longitud de onda gratis.
- Potencian la introducción de enrutamiento/conmutación óptico en la capa fotónica con los actuales sistemas WDM.
- Facilitan la localización de los fallos y la monitorización del rendimiento (como la monitorización de la tasa de errores binarios; las medidas analógicas, como la Relación Señal Óptica/Ruido (OSNR), son insuficientes), simplificando de hecho la gestión de red.
- Permiten la interoperación entre vendedores, paliando la falta de interfaces «transparentes» normalizados y garan-



**Figura 4 – Clases de interconector óptico**  
(a) de conmutación de fibra, (b) con selección de longitud de onda (c) de intercambio de longitud de onda

tizando el aseguramiento de la calidad de la señal de establecimiento de comunicaciones entre los vendedores.

- Facilitan la adopción de nuevas tecnologías en cuanto se encuentren disponibles.

Por consiguiente, a corto plazo una central de la capa fotónica será como la que se ve en la *Figura 3*.

#### Interconectores con un núcleo óptico

Hasta hoy se han definido tres tipos generales de interconector óptico (*Figura 4*) (Requisitos Genéricos de Interconector Óptico de Telcordia, GR-3009-CORE):

- Interconector de Conmutación de Fibra (FXC);
- Interconector de Selección de Longitud de Onda (WSXC);
- Interconector de Intercambio de Longitud de Onda (WIXC).

Un interconector de *conmutación de fibra* (*Figura 4a*) conmuta todos los canales de longitud de onda desde una fibra de entrada a una fibra de salida, actuando de hecho como un panel de conmutación de fibra automatizado. Los FXCs son menos complejos (y también se espera que sean más baratos) que un interconector de selección de longitud de onda o de intercambio de longitud de onda. En las partes de la red en las que la protección contra los cortes en la fibra es la principal preocupación, los FXCs podrían ser una solución viable. También podrían hacer un mejor uso de las actuales, y ya probadas, tecnologías ópticas. Mientras que los

FXCs puedan suministrar las capacidades simples de suministro y restablecimiento, podrían no ofrecer la flexibilidad requerida para potenciar los nuevos servicios de generación de longitud de onda de extremo a extremo.

Un interconector de *selección de longitud de onda* (*Figura 4b*) puede conmutar un subconjunto de los canales de longitud de onda desde una fibra de entrada a una fibra de salida. Funcionalmente, no obstante requieren demultiplexión (en el área de la frecuencia) de un multiplex entrante de longitud de onda en sus longitudes de onda. Este tipo de interconector ofrece mucha más flexibilidad que un FXC, permitiendo el suministro de servicios de longitud de onda, los cuales a su vez pueden soportar la distribución de vídeo, el aprendizaje a distancia, o ser un host de otros servicios. Un WSXC también ofrece mejor flexibilidad para el restablecimiento de servicios; los canales de longitud de onda se pueden proteger individualmente utilizando un esquema de protección de mezcla, de anillo o híbrida.

Un interconector de *intercambio de longitud de onda* (*Figura 4c*) es un WSXC con la facilidad añadida de traducir o cambiar la frecuencia (o longitud de onda) del canal de una frecuencia a otra. Esta facilidad reduce la probabilidad de que no sea capaz de encaminar una longitud de onda desde una fibra de entrada a una fibra de salida a causa de la contención de la longitud de onda. El WIXC ofrece mayor flexibilidad para el restablecimiento y suministro de servicios. No obstante, cuando se compra un WIXC hay que

leer la letra pequeña; no todos los WIXCs son iguales. Dependiendo de la tecnología usada para implementar la función de conversión de la longitud de onda, es difícil a veces para un interconector convertir un canal de un «color» determinado a ese mismo «color». Recuerde que también se espera que un WISX maneje canales en los cuales no hay que cambiar la longitud de onda, y así sería posible la «traducción» a la misma longitud de onda.

### Conclusiones

La planta de fibra, que previamente se planificó sin límites de capacidad, ha llegado a ser un valioso activo. Ya que las redes están cerca de la total utilización, el WDM ha surgido como una solución viable para la creciente congestión. La aparición

de las longitudes de onda gestionadas ha dado lugar a algunas nuevas, y fascinantes, oportunidades para los operadores en todos los segmentos de la red, siempre que los fabricantes de equipo puedan entregar la tecnología requerida. El objetivo es aprovecharse totalmente de la emergente capa fotónica para suministrar servicios extremo-a-extremo basados en la longitud de onda de gran rentabilidad. El interconector óptico es una piedra angular de esta nueva capa. La red óptica no es un truco de marketing de los fabricantes para intentar vender más equipos. Es una solución real satisfacer las demandas de los futuros usuarios finales. No obstante, para alcanzar estos objetivos, los fabricantes tendrán que comprometerse a hacer un amplio desarrollo, e investigación, de la tecnología, en especial en el campo de los conmutadores

ópticos del espacio. Los operadores tendrán que adoptar nuevos, y más flexibles, sistemas de gestión para las tareas de operación de la red y de facturación del servicio. Ambas tendrán que converger en una nueva clase de estándares de interfaz de red.

**Philippe Perrier** es director de Optics Technology for Optical Wavelength Products en la Transmission Systems División de Alcatel, Richardson, EE.UU.

**Scott Thompson** es director de línea de productos del CrossLight optical cross-connect en la Transmission Systems División de Alcatel en Richardson, EEUU.



D. Marazza



H. Kleine-Altekamp

# SDH/SONET evolucionan hacia una plataforma de servicios múltiples: nodos y puertas multiservicio

> Una red de servicios múltiples permite a los operadores cubrir las necesidades cambiantes de los clientes, a través de la optimización de recursos, la diferenciación de la calidad de servicio flexible y la ingeniería de tráfico.

## Introducción

En el expansivo mundo de nuevos servicios eficaces, hecho posible por la rápida evolución en las tecnologías electrónica y óptica, se está poniendo bastante más complicado el realizar una red eficaz a prueba de futuro. Varios planteamientos son posibles para satisfacer las esperadas, pero siempre cambiantes, demandas de los usuarios. La estrategia más conveniente para construir dicha red no siempre es evidente, y los planteamientos generalmente adoptados incluyen:

- Superposición: construir una red separada para cada aplicación del cliente: Protocolo Internet (IP), Modo de Transferencia Asíncrono (ATM), etc.
- Migración: convergencia de servicios en una red de simple aplicación, tal como Voz sobre Protocolo Internet (VoIP).
- Integración de las funciones específicas de servicio en los elementos de red.

Sin embargo, el objetivo común en los diferentes planteamientos es concentrarse en qué funciones de red son necesarias, sin tener en cuenta el requerido proto-

colo de servicio extremo a extremo (*Figura 1*). Estas funciones dependen de la madurez de las tecnologías disponibles, de la conformidad con las normas, de la combinación apropiada de los diferentes protocolos de aplicaciones, de la compatibilidad retrospectiva con infraestructuras ya desplegadas, y de la gestión fácil de los servicios que la red tiene que proporcionar.

En lo que concierne al operador, tal planteamiento debe ser capaz de reaccionar a tiempo para cambiar formas de demanda de servicio y para proporcionar ser-

vicios extremo-a-extremo con el grado de calidad requerido por los servicios de clientes. La flexibilidad de la red de transporte, su apertura a los diferentes protocolos y su capacidad para llevarlos en la forma más conveniente, serán los factores para atraer el mercado hoy día altamente competitivo, en donde es decisivo servir las necesidades de los clientes en la forma más rápida y al mejor coste.

Teniendo los instrumentos correctos, reduciendo el capital global y los costes de funcionamiento, mientras que al tiempo

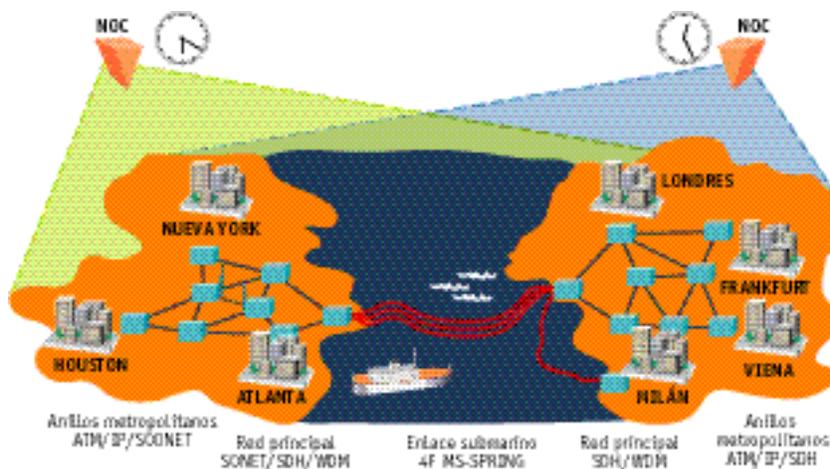


Figura 1 – Soluciones reales extremo-a-extremo para necesidades de usuarios.

MS-SP: Sección Múltiple-Protección de Sección      NOC: Centro de Operación de Red  
4FMS-SPRING: 4 Fiber Multiplex Section Shared Protected Ring

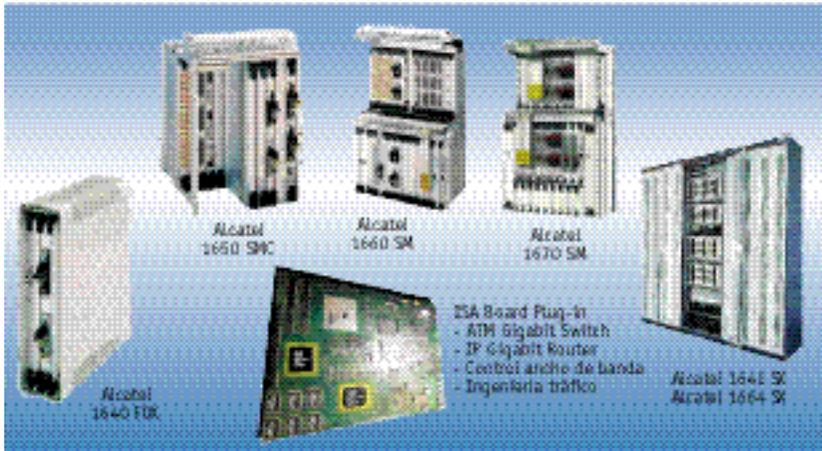


Figura 2 – Nodos y puertas de servicio múltiple Optinex.

se optimiza la utilización de los recursos desplegados por el cliente en las aplicaciones IP y ATM, el operador será capaz de conseguir una posición óptima en este mercado tan agresivo. La respuesta de Alcatel para las necesidades de los operadores de red que desean triunfar en este mercado es el conjunto de productos Optinex™.

### OPTINEX™, familia y conceptos

Los Nodos de Servicio Múltiple Optinex™ (OMSN) y las Puertas de Servicio Múltiple Optinex™ (OMSG), que se representan en la **Figura 2**, están diseñados para llevar a cabo unas robustas y rentables plataformas de telecomunicación de servicio múltiple para soportar servicios de banda ancha y banda estrecha en redes de telecomunicación metropolitanas, nacionales e internacionales. Igual que presenta un equipo de Jerarquía Digital Síncrona (SDH) de alta calidad compacto y de magníficas características, Optinex™ ofrece la plataforma de servicio múltiple, a través del módulo conectado IP/SDH/ATM (ISA), integrando el encauza-

miento IP y las posibilidades de conmutación ATM, evitando la sobrecarga de la red y reduciendo el costo de la introducción de nuevos servicios de datos. Los operadores se enfrentan normalmente con un enorme aumento del tráfico de datos en sus redes, y al mismo tiempo con una diversificación de los servicios como Redes Privadas Virtuales (VPN), acceso rápido a Internet y líneas alquiladas ATM (**Figura**

3). En consecuencia, necesitan redes de transporte rentables, que sean eficientes para la telefonía presente y para el tráfico por líneas alquiladas, ya bastante flexible para servir el incremento de la demanda de los tráficos ATM e IP. Como resultado de su amplio despliegue, normalización y gestión avanzada y mecanismos de protección, SDH es una tecnología de una capa para llevar IP y ATM, especialmente en áreas metropolitanas.

La capacidad para acceder, preparar y encauzar celdas y paquetes junto con Múltiplexación por División de Tiempo (TDM) y circuitos de longitud de onda significa que todos los tipos de servicios pueden ser soportados rentablemente, proporcionando un sistema que pueda dirigir la transición de los servicios que hoy día generan ingresos a los servicios del mañana.

La arquitectura modular Optinex™ (**Figura 4**) está basada en las tecnologías de capa óptica de Múltiplexación por División de

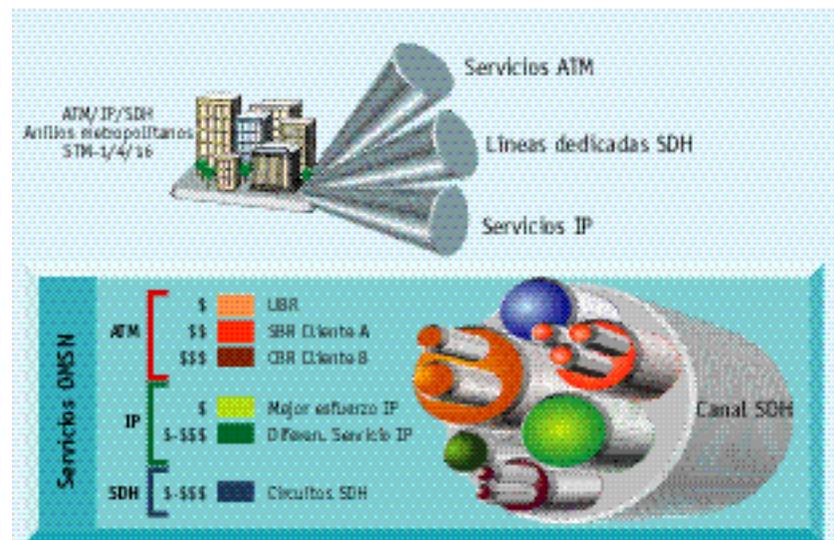


Figura 3 – Conjunto de servicios Optinex.

**CBR** : Velocidad Constante de bits. **UBR** : Velocidad no especificada de bits.  
**SRR** : Velocidad Mantenido de bits

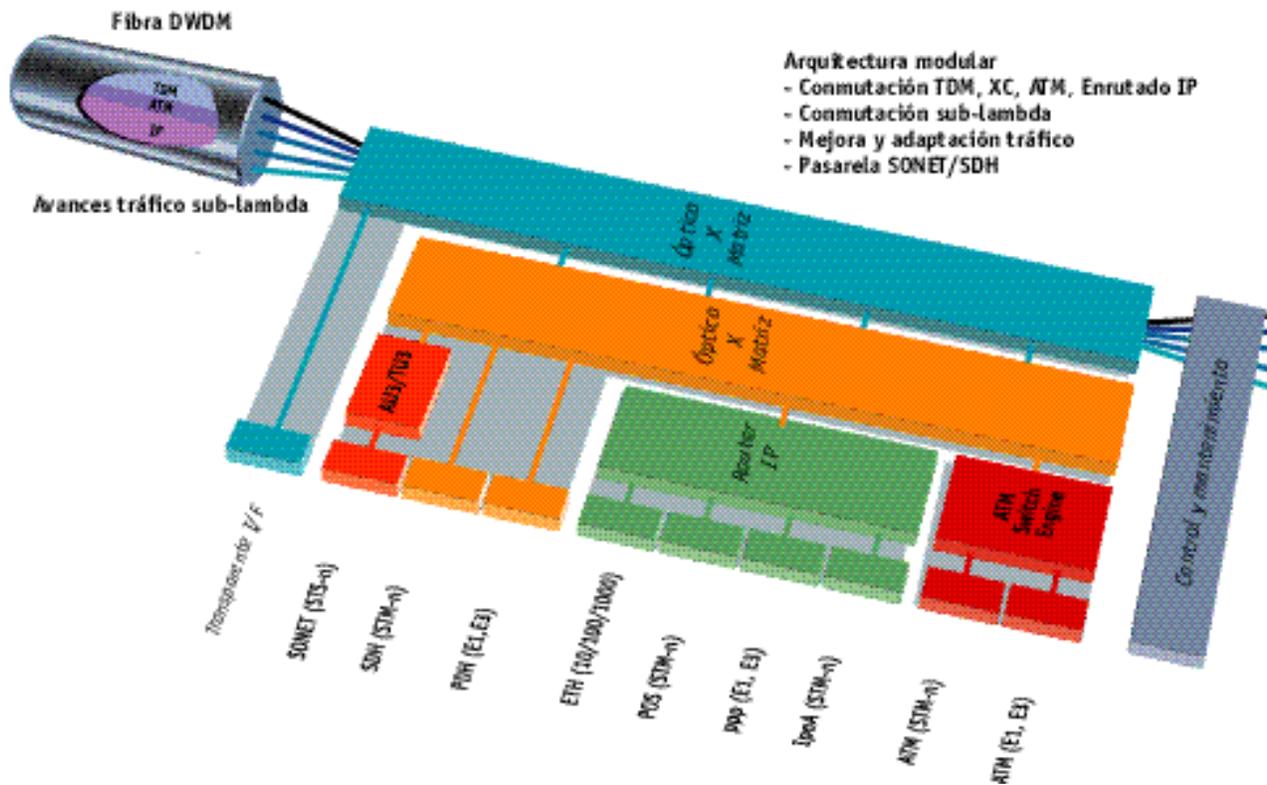


Figura 4 – Arquitectura modular de OMSN/OMSG.

**ETH** : Ethernet      **IPoA** : IP sobre ATM      **POS** : Paquete sobre SDH

Longitud de Onda Densa (DWDM), SDH/SONET, ATM e IP combinadas de forma que se disminuya el coste total de la red propia. El concepto Optinex™ proporciona una plataforma de servicio múltiple para numerosas aplicaciones basadas en una variedad de bloques funcionales, los cuales pueden ser combinados para satisfacer las necesidades reales de los operadores. El conjunto de productos incluye plataformas de transmisión de servicio múltiple para áreas metropolitanas y regionales basadas en la evolución tecnológica de SDH a un transporte mayor de «datos conscientes», y la introducción de DWDM en el núcleo. El WDM está también empezando a penetrar en áreas metropolitanas en donde se requieren servi-

cios especiales punto a punto, de grandes anchos de banda e interfaces transparentes (por ejemplo, Fiber Channel, Escon and Ficon para bases de datos remotas). La familia OMSN incluye puertos SDH de orden alto y bajo y de Jerarquía Digital Plesiócrona (PDH), y funciones de matrices de Contenedor Virtual (VC) de orden alto y bajo (con capacidad de interconexión), entradas/salidas para canales ópticos, y routers IP y funciones de conmutación ATM. La familia OMSG aumenta estas posibilidades incorporando una función de matriz de canal óptico y DWDM; estos productos pueden utilizarse en puertas metropolitanas ópticas y en aplicaciones de núcleo. La integración de los productos está planificada en tal forma que

la OMSN podría ser utilizada como bloques de «entrada/salida de la comunicación» para la OMSG en una configuración de elemento simple (Alcatel 1660 SM para Alcatel 1641 SC, y Alcatel 1670 SM para Alcatel 1664 SX).

#### Por qué es importante el servicio múltiple

Normalmente, muchos operadores proporcionan conmutación ATM o interconexión de routers IP mediante contenedores virtuales PDH y SDH a través de la red fundamental SDH. El equipo SDH de Alcatel ofrece todos los interfaces normalizados necesarios para conexión de conmutadores/routers tales como VC4-

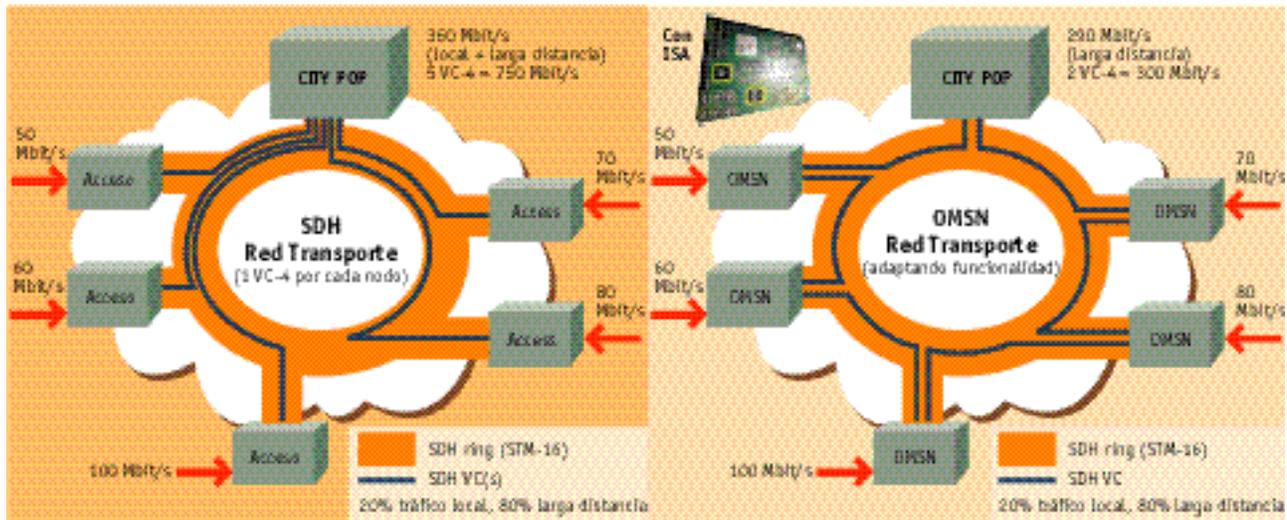


Figura 5 – Consolidación del tráfico OMSN/OMSG y planteamiento del circuito SDH.

64C para conectar a los gigarouters del mañana. Sin embargo, la historia no acaba con los tipos de interfaz. Las líneas simplemente alquiladas (o VCs) a través de la red de transmisión pueden conducir a una gran cantidad de capacidad des-

perdiciada y menos tráfico rentable conmutado/encauzado. Con objeto de optimizar la utilización de los recursos de red disponibles, las celdas ATM y paquetes IP pueden ser preparadas en el nodo SDH de borde (*Figura 5*). Las matrices de tráfico de datos

difieren de acuerdo con la aplicación. Sin embargo, la conexión de los nodos de acceso vía circuitos SDH (VC-nc) a la puerta de datos de la central podría conducir a derivaciones ineficaces del tráfico de la propia matriz y de la apropiada granularidad de los

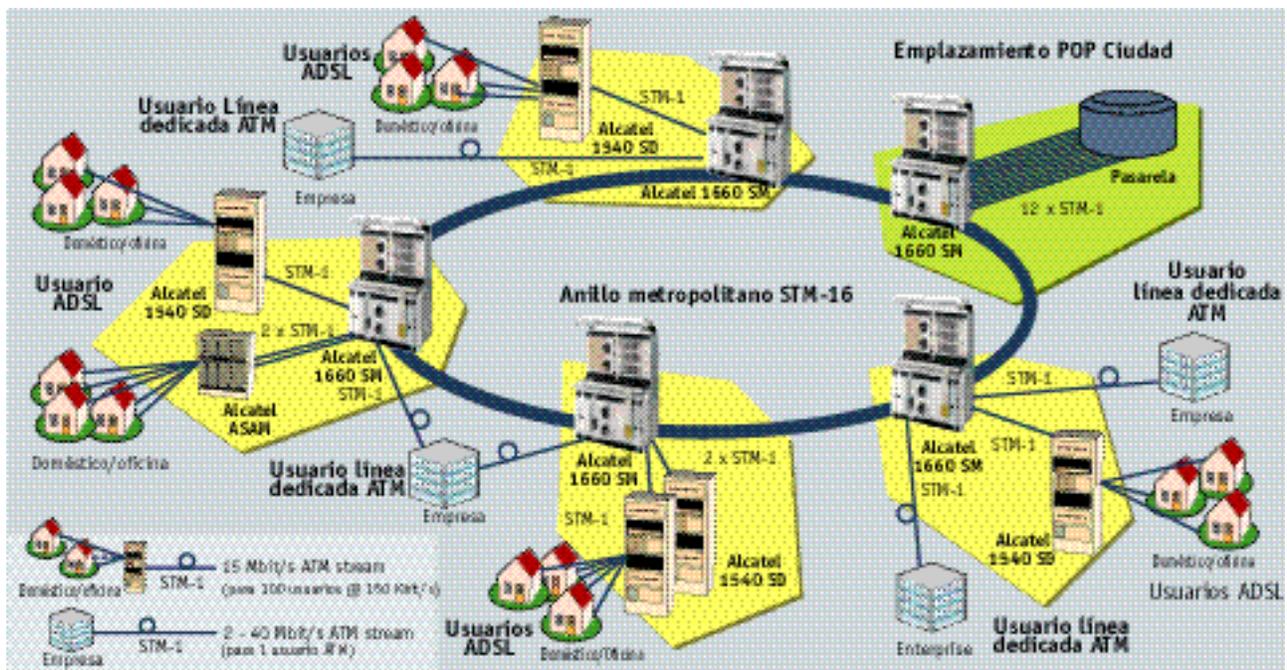


Figura 6 – Red Metropolitana para conjuntos ADSL.

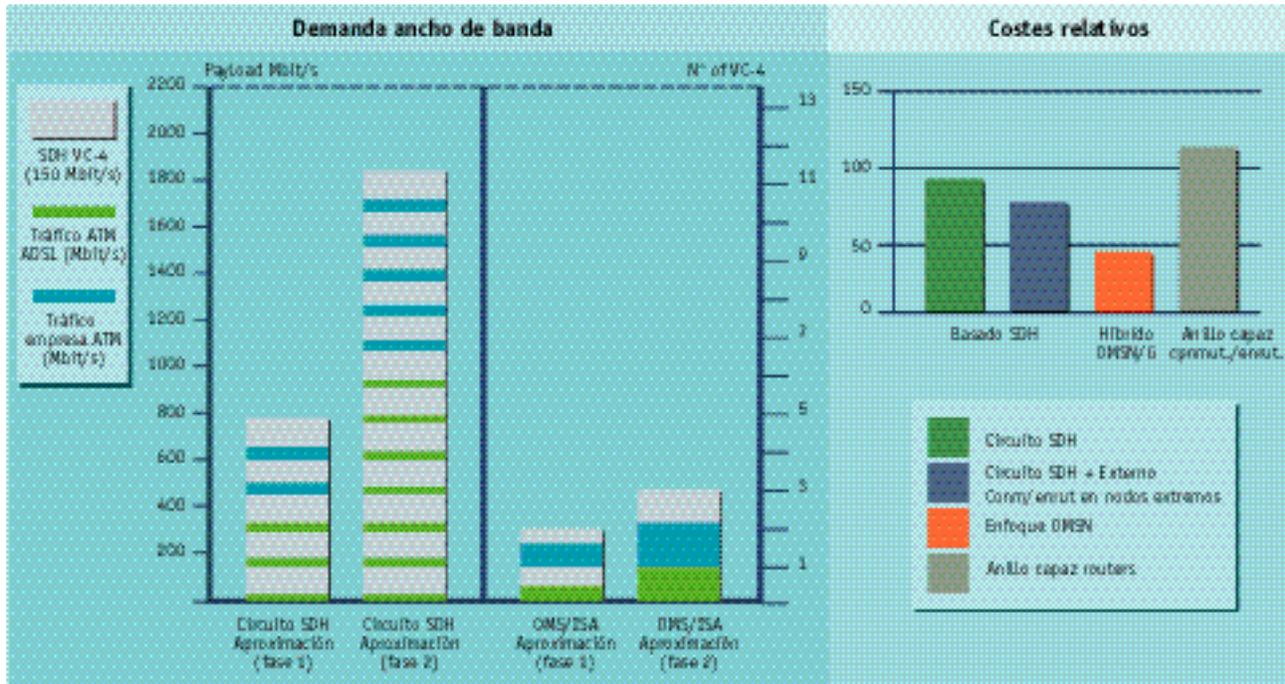


Figura 7 – Comparación entre OMSN/G e ISA, y soluciones competitivas.

contenedores SDH. En tales casos, tanto el tráfico local (por ejemplo, IP-VPN) como el tráfico de larga distancia, son enviados, mediante enlaces SDH VC, por la puerta de datos que tiene la ruta/conmutador, todo el tráfico de datos recogido de los nodos de acceso.

El planteamiento OMSN/G, que puede distribuir funciones de encauzamiento y conmutación a los elementos de red, puede reducir significativamente la anchura de banda SDH demandada en la red. Los paquetes IP y celdas ATM que son transportados en la parte alta de la aplicación SDH, pueden ser encauzados y conmutados en cada nodo donde hay un módulo ISA y preparados juntos en menos enlaces SDH VC-nc. En consecuencia, son mejor utilizados los recursos de red dedicados al caudal de datos. Además, la distribución de las posibilidades de encauzamiento y distribución hacen posible evitar el bucle

de tráfico local a través de la puerta de datos, y por ello reducir significativamente la duración y tratamiento de la carga.

Una aplicación de este concepto se muestra en la **Figura 6**, la cual muestra una red metropolitana típica para el conjunto de servicios de Línea Digital Asimétrica de Abonado (ADSL) y líneas alquiladas ATM. En este procedimiento, el tráfico ATM es recogido a través de Multiplexores de Acceso de Líneas Digitales de Abonado (DSLAM), los cuales actúan como concentradores de tráfico ADSL en domicilios y pequeñas oficinas de usuarios ADSL y también directamente, mediante líneas de fibra STM-1 SDH, de empresas. Dos planteamientos diferentes se consideran entonces para transportar los caudales de tráfico ATM de los usuarios a los Puntos de Presencia (POP) de la ciudad donde se terminan las sesiones Protocolo Punto a Punto (PPP) y el

tráfico IP es expedido al destino correcto.

El primer planteamiento se basa en trayectos VC-4 SDH entre cada nodo de acceso y el POP; los nodos de acceso de las interfaces STM-1 se llevan a cabo en circuitos VC-4 separados a las interfaces respectivas en el POP de la ciudad. El segundo planteamiento utiliza módulos conectados ISA para consolidar el tráfico ATM en los nodos límites de OMSN/G.

La **Figura 7** muestra la demanda de ancho de banda en términos de SDH VC-4s necesaria en los dos casos. La reserva de distinto SDH VC-4s para cada acceso de caudal ATM conduce a una gran cantidad de anchura de banda sin utilizar en el anillo y puede limitar la posterior evolución de la red (ver en la figura las diferentes fases). La granularidad propia de los contenedores de transporte SDH se vuelve un factor de limitación cuando no hay una

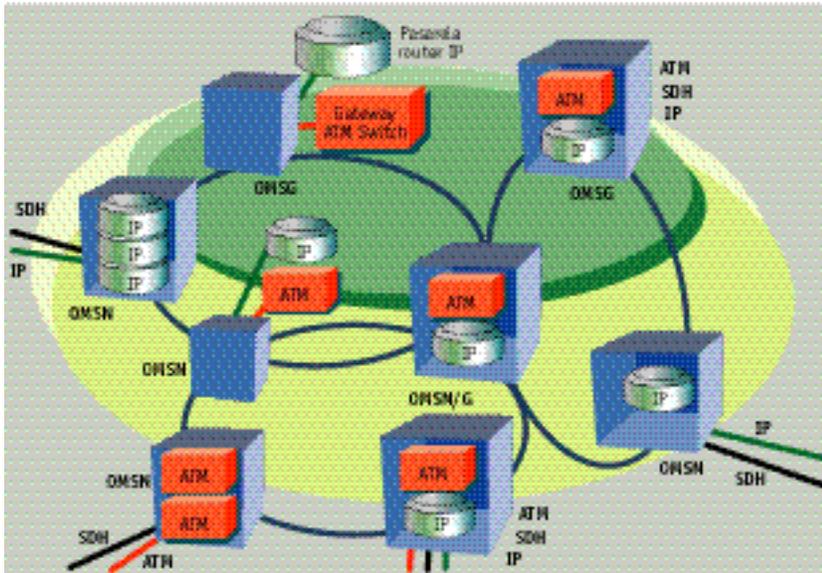


Figura 8 – Arquitectura conectada en Optinex flexible.

buena equiparación entre la demanda de datos y la carga de transporte disponible (150 Mbit/s para un VC-4). Este obstáculo es eliminado completamente por la tarjeta ISA, la cual circula en la granularidad ATM y puede, por otra parte, llenar eficazmente la carga SDH con tráfico consolidado ATM. Tal resultado también podría ser obtenido conectando dispositivos conmutadores/routers externos a los Multiplexores de Inserción/Extracción (ADM). El coste de las cajas más los interfaces necesarios tanto en el ADM como en el conmutador/router aumenta el coste conjunto, como también se muestra en la figura. El planteamiento de conmutación/encauzamiento distribuido basado en la utilización de módulos OMSN/G e ISA conectados mejora la utilización de la infraestructura de la red desplegada. Al mismo tiempo garantiza las mayores disponibilidades de servicio procedentes de los mecanismos de protección normalizados Protección de la Conexión de la Subred SDH (SNCP) y Anillo de Protec-

ción de la Sección del Multiplexor (MSPRING).

#### Reducir capital y costes de operación

Utilizando los bloques funcionales normales de la familia Optinex™, así como combinando la conmutación ATM, el encauzamiento IP y el reagrupamiento SDH en un equipo simple, se realizan grandes economías en el desembolso de capital en la red y en los costes de operación como resultado de simplificar las operaciones y mantenimiento.

- Diferentes miembros de la familia Optinex™ tienen el mismo «aspecto y disposición» para las mismas funciones.
- El número de elementos de reserva es reducido: las placas pueden ser utilizadas tanto en configuraciones metropolitanas como en configuraciones de núcleo; los mismos módulos de tráfico son utilizados para nodos CPE a 10 Gbit/s compactos y grandes puertas.

- Se requiere menos formación del personal de operación y servicio.
- Gran reducción de los recorridos.
- Aumento de la capacidad y flexibilidad.

La funcionalidad de IP y ATM es introducida en la red solamente cuando y donde es necesario (Figura 8). Para aplicaciones metropolitanas, las funcionalidades de IP y ATM son ejecutadas cada una en una simple placa, las cuales pueden ser opcionalmente añadidas en el OMSN solamente en sitios donde esta funcionalidad se requiera. Integrando directamente los conmutadores ATM o los routers IP en los elementos de la red de transporte no solamente se reduce el coste del equipo, sino también se elimina el coste adicional de la provisión de interfaces entre los equipos de datos y de transporte (Figura 5) tanto como el POP de la ciudad se ve afectado.

La gama completa de aplicaciones de cliente pueda ser servida por el OMSN/G con ISA y su posición en la oferta de Alcatel para aplicaciones en el borde se muestra en la Figura 9.

#### Ingeniería de tráfico, MPLS y calidad de servicio

Las poderosas facilidades de OMSN y OMSG son armonizadas por una aplicación de gestión común que da al operador las herramientas que son necesarias para controlar la red de servicio múltiple. Los elementos de red Optinex™ proporcionan facilidades al estado del arte como la Conmutación y Calificación de Protocolo Múltiple (MPLS) y los servicios diferenciales IP. Así, no

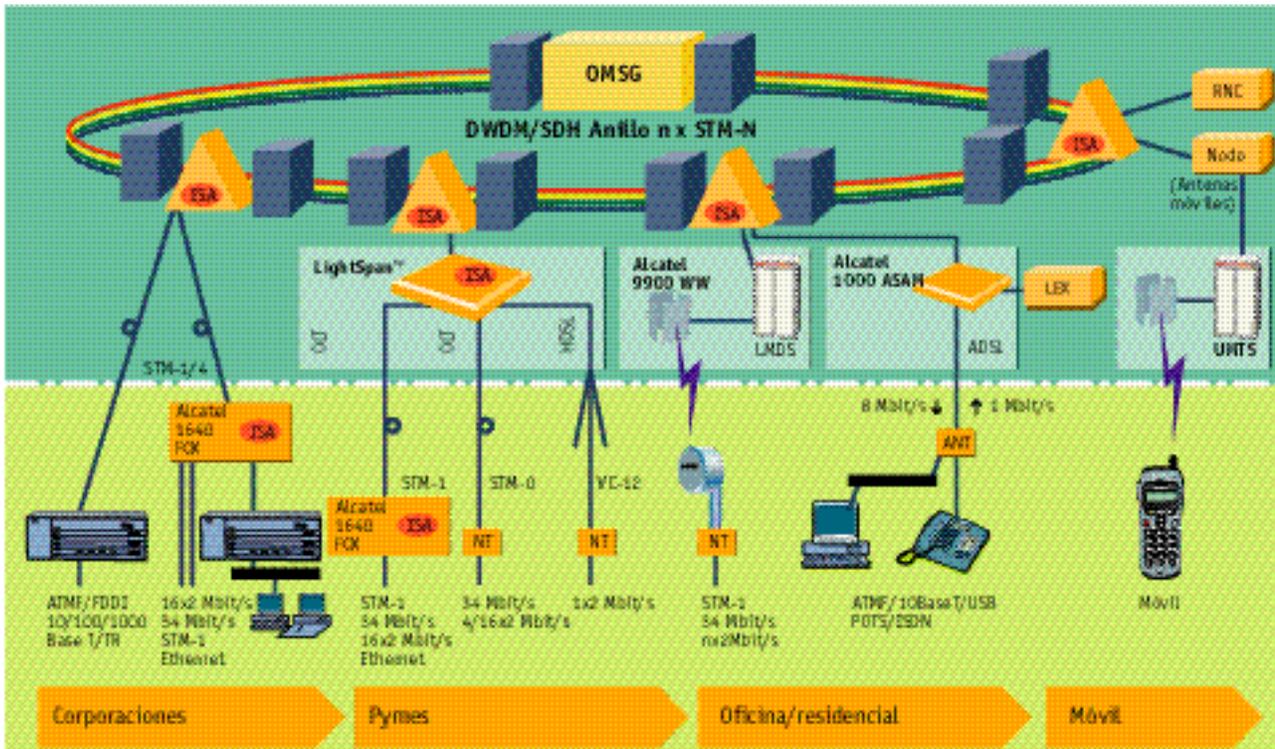


Figura 9 – Aplicaciones en el borde para Alcatel OMSG/G con ISA.

**ANT:** Terminación de Red ADSL

**ASAM:** Multiplexor de Acceso de Abonado ATM

**ATMF:** Usuario de ATM conectado por Fibra Óptica

**FDDI:** Interfaz de Datos de Distribución de Fibra

**FOX:** Extensión de Fibra Óptica

**HDSL:** Línea Digital de Alta Velocidad de Abonado

**LMDS:** Servicios de Distribución Multipunto Local

**NT:** Terminación de Red

**OLT:** Terminación de Línea Óptica

**RNC:** Controlador de Red de Radio

**UMTS:** Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles

solo optimizan la red conjunta, sino que también organizan el tráfico de la mejor forma para responder a la congestión y cambios en el modelo de tráfico. La optimización de la utilización de los recursos de red y desempeño del tráfico se realiza utilizando ingeniería de tráfico, como se muestra en la **Figura 10**.

La ingeniería de tráfico ha llegado a ser una función indispensable en varios grandes sistemas IP autónomos (campos de encauzamiento IP) a causa del alto coste de los activos de la red y de la naturaleza comercial y competitiva de Internet. Estos factores ponen de relieve la necesidad de la máxima eficacia operacional. Las claves de los objetivos de las prestaciones asociadas a la ingeniería de tráfico son tanto la

orientación del tráfico como la orientación de recursos.

Los objetivos de las prestaciones orientadas al tráfico incluyen as-

pectos que aumentan la Calidad de Servicio (QoS) del caudal de tráfico. En un modelo de servicio Internet de clase simple, del me-

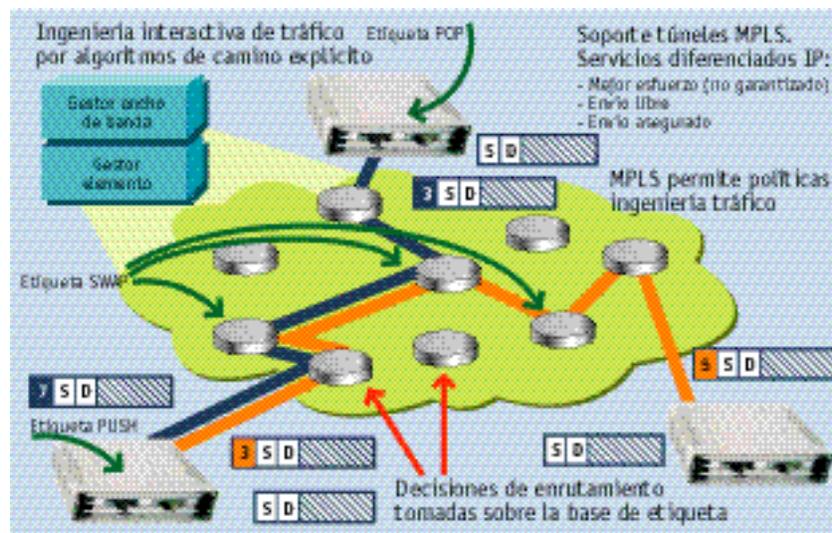


Figura 10 – Ingeniería de tráfico utilizando MPLS.

por esfuerzo, los objetivos clave de las prestaciones orientadas al tráfico incluyen: disminución de las pérdidas de paquetes, disminución de demoras, máximo del caudal, y reforzamiento de los convenios de nivel de servicio.

Minimizar la congestión es un objetivo de las prestaciones orientadas a los recursos y al tráfico primario. En este caso, la importancia está en los problemas de congestión prolongados más bien que en la congestión de tránsito resultante de ráfagas de tráfico instantáneas.

Las posibilidades de control ofrecidas por los existentes Protocolos de Puerta Interior (IGP) no son adecuadas para la ingeniería de tráfico porque tales protocolos están basados en algoritmos de trayectorias más cortas (trayectoria con el coste más bajo de encauzamiento). Esto hace difícil realizar una vigilancia eficaz para dirigir la actuación de la red puesto que todo el tráfico ha seguido la ruta IGP «óptima» a través de la red. Por otra parte, un modelo completamente superpuesto que se apoya en el ATM como aplicación de transporte y control, no es eficaz en la red de larga distancia a causa de su propia tara (o carga de celda).

El MPLS es significativo estratégicamente para la ingeniería de tráfico porque puede potencialmente proporcionar la mayoría de las funciones ofrecidas por el modelo superpuesto, pero a un coste más bajo. Igualmente importante, el MPLS ofrece la posibilidad de automatizar varios aspectos de la función de ingeniería de tráfico controlando la asignación de calificación y reserva de ancho de banda para cambios y trayectorias a favor de la gestión de alto nivel.

### Conclusiones

La familia de servicio múltiple Optinex™ está dedicada a proporcionar soluciones de transporte rentables para todas las aplicaciones de redes desde los accesos a la parte central y desde los datos al SDH. Puesto que el SDH y las tecnologías de las aplicaciones ópticas están siendo cada vez más solicitadas hasta las instalaciones de los clientes, también se facilita el acceso al usuario final por SDH. El ATM avanzado y la funcionalidad IP han sido cuidadosamente seleccionados para alcanzar la plena utilización de la infraestructura desplegada, y por ello se rebajan

los costes totales de red, facilitando una fácil migración paso a paso al futuro entorno de banda ancha e IP. ■

### Bibliografía

1. M. Huterer, J. Minnis, P. O'Connell, E. Traupman: «Next Generation Networks»: A Cost effective Combination of Transport and Switching Layers», *Revista de Telecomunicaciones de Alcatel*, 2º trimestre de 1999, págs. 109-117.

**Davide Marazza** es director de producto para los Nodos de Servicio Múltiple Optinex con responsabilidad para aplicaciones IP y ATM en la división de Red Terrestre del Grupo de Óptica de Alcatel en Vimerca-te, Italia.

**Harry Kleine-Altekamp** trabaja en la estrategia de producto con responsabilidad en la definición de los equipos de transmisión en la división de Red Terrestre del Grupo de Óptica de Alcatel en Stuttgart, Alemania.



P. Fogliata



Y. Gautier



E. Malpezzi



C. Spinelli



M. Vandereviere

# Gestión de red para redes de transmisión multi-tecnología

> Los operadores de red están demandando redes multi-tecnología capaces de responder rápidamente a las necesidades cambiantes de sus clientes y respaldadas por una potente gestión de red.

## Introducción

Los operadores de red se enfrentan hoy con la tarea, cada vez más compleja, de gestionar sus redes de transmisión. Deben operar y mantener muchos equipos diferentes para garantizar un alto grado de servicio en una extensa variedad de redes. Al mismo tiempo, hay una necesidad creciente de mejora de facilidades para la gestión de un gran número de servicios avanzados, que los usuarios y proveedores de servicios demandan en la actualidad. Con la introducción de la siguiente generación de los sistemas de Jerarquía Digital Síncrona/Redes Ópticas Síncronas (SDH/SONET) de banda ancha y los elementos ópticos en la red de transporte, incluyendo conmutadores en Modo de Transferencia Asíncrono (ATM) y tecnologías de enrutamiento de Protocolo Internet (IP), resulta esencial una gestión de red centralizada e integrada para que los operadores de red alcancen el ahorro de coste potencial y la Calidad de Servicio (QoS) requerida.

El Grupo Optics ofrece una extensa gama de aplicaciones de gestión de red, basada en su am-

plia experiencia como proveedor de redes de telecomunicación. La línea de productos 1300 del Grupo Optics, que cumple con todos los requerimientos de gestión de las redes de telecomunicación más complejas, permite a los operadores reducir el «time to market» de los nuevos servicios, pudiendo, de este modo, responder rápidamente a las necesidades de cambio de sus clientes.

La necesidad de ancho de banda es mayor que nunca, tanto en los países industrializados, como en los que se encuentran en proceso de desarrollo. Esto afecta a los operadores tradicionales y a los nuevos. Para manejar este enorme crecimiento del ancho de banda, la infraestructura de red debe migrar desde la situación de un conjunto de enlaces físicos configurados manualmente con muy poca monitorización de rendimiento extremo-a-extremo, hacia una infraestructura de red flexible, gestionada centralmente y con las funciones de Operación, Administración, Mantenimiento y Provisión (OAM&P) totalmente automatizadas. Escalabilidad extremo-a-extremo, flexibilidad, pervivencia y gestión son las piedras angulares del catálogo de redes ópticas de Optics. Además, el

énfasis empieza a apuntar a la provisión de servicios en lugar de a la provisión de facilidades, como ocurría hasta hace poco. Independientemente de si los ingresos provienen de la voz o los datos, ambos son considerados como servicios de valor añadido y no como un mero transporte de bits. Por esta razón, además de la capacidad de control administrativo y seguimiento de las redes ópticas para soportar la gestión amplia de un servicio de longitud de onda, del balanceo de la carga, de la ingeniería de red y de la fiabilidad de redes de alto tráfico, todo este ancho de banda podría ser mejor utilizado por los usuarios si ellos fueran capaces de controlar la provisión de longitudes de onda de su Red Privada Virtual (VPN). La provisión dinámica de longitudes de onda según los patrones de cambio de tráfico del usuario y la monitorización de los Acuerdos de Nivel de Servicio (SLA) son funcionalidades cruciales de una red completamente óptica capaz de perdurar. Este concepto está materializado con la implementación de VPNs de longitud de onda, de la misma forma que fue implementado anteriormente para la provisión de servicios de baja velocidad en SDH/SONET y redes ATM e IP.

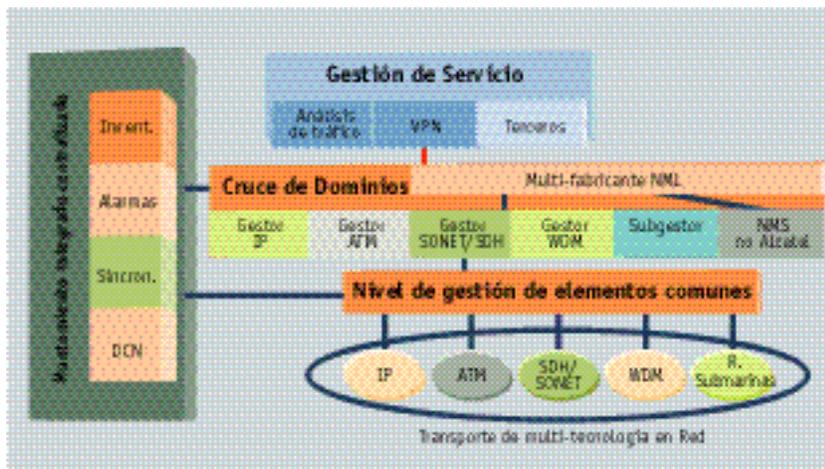


Figura 1 – Sistema de gestión global Alcatel.

DCN: Red de Comunicación de Datos  
NML: Capa Gestión de Red

NMS: Sistema Gestión de Red

Desde un principio, Optics identificó la importancia estratégica de soluciones óptimas de gestión de red y desarrolló una gama completa de elementos de red. Durante la fase de diseño del portafolio de productos de gestión de red, se tomó la decisión estratégica de gestionar todos los elementos de red del Grupo Optics utilizando la misma familia de productos. Empezando con SDH y la Jerarquía Digital Plesiócrona (PDH), elementos de redes de microondas y submarinas, la gama completa de SDH/SONET de Alcatel, multiplexores de inserción/extracción (ADM), transconectores (DXC), multiplexores de división de longitud de onda (WDM), multiplexores digitales de longitud de onda de alta densidad (DWDM) y productos de redes ópticas (ON) se gestionan con la misma gama de aplicaciones de gestión de red.

La Figura 1 muestra la solución de gestión de red integrada de Alcatel, conocida como «Sistema de Gestión Global». Dos de los mayores retos de Alcatel en la implementación de

redes ópticas han sido la creación de una plataforma de gestión a nivel óptico y su perfecta integración con los sistemas existentes de gestión de redes SDH.

### Catálogo de gestión de red de Alcatel Optics

Las aplicaciones de gestión de redes ópticas se han separado, de manera lógica, de acuerdo

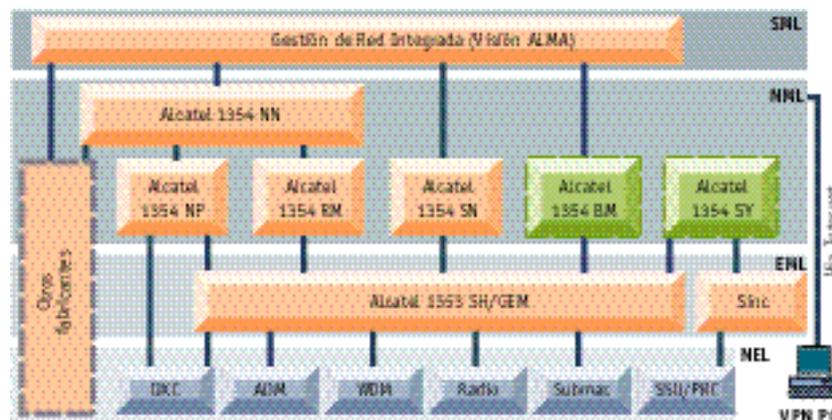


Figura 2 – Catálogo Alcatel Optics de productos de gestión de red.

EML: Nivel de Gestión de Elementos  
INM: Gestión de Red Integrada  
NEL: Nivel de Elementos de Red

PRC: Reloj de Referencia Primario  
SML: Nivel de Gestión de Servicio  
SSU: Unidad de Suministro de Sincronización

con sus tareas en la red de transmisión. Además de la clara distinción lógica, este planteamiento proporciona escalabilidad a los sistemas de gestión de red de acuerdo con el tamaño de la red gestionada, la funcionalidad requerida, la organización del cliente y los imperativos debidos a entornos multi-fabricante. La Figura 2 muestra los productos de gestión de red de Alcatel Optics y como encajan en los diferentes niveles de red:

- Aplicaciones de Nivel de Gestión de Elementos:

- **Alcatel 1353 SH/GEM:** Gestor de Elementos para ADMs, DXCs, WDM, IP/ATM, elementos de redes de microondas y submarinas. El Alcatel 1353SH gestiona todos los elementos de red de Alcatel Optics en entornos multi-tecnológicos (radio PDH/SDH; fibra SDH, SONET, WDM, equipamiento submarino, ATM, IP).

El Alcatel 1353 GEM gestiona todo el equipamiento SONET de Alcatel Optics y puede integrarse comple-

tamente con el Alcatel 1353SH, cuando se requiera. La integración se lleva a cabo con la implementación de ambas versiones de la Plataforma Común de Gestión de Alcatel (ALMAP) y compartiendo los componentes genéricos de software.

- Aplicaciones de Nivel de Gestión de Red:
  - **Alcatel 1354RM** Gestor de Red: Cubre todas las tareas de gestión de tráfico, desde la provisión del camino hasta las medidas de QoS. Está diseñado para soportar redes SDH, SONET y WDM, proporcionando un único entorno para el establecimiento y monitorización del tráfico.
  - **Alcatel 1354 NP** Gestor de Restablecimiento: Proporciona al operador de red una gama completa de facilidades para la gestión de los núcleos de redes PDH y SDH y las redes basadas en DXC en malla. Incluye un restablecimiento del camino rápido y completamente automático, que aumenta la disponibilidad general de la red con un número limitado de recursos compartidos.
  - **Alcatel 1354BM** Gestor de Servicios de Banda Ancha: Proporciona una amplia gama de funcionalidades para descubrir y configurar los nodos multi-servicio incluyendo conmutadores ATM y funciones de enrutamiento IP. Más adelante se proporciona una descripción detallada.
  - **Alcatel 1354SN** Gestor de Redes Submarinas: Responsable de la configuración y monitorización extremo-a-extremo de los caminos ópticos submarinos WDM. Lleva a cabo la localización de fallos y moni-

torización de potencia del cable submarino y monitoriza el rendimiento del canal óptico extremo-a-extremo.

- **Alcatel 1354 NN** Gestor de Redes Multi-fabricante: Es el integrador de subredes de Alcatel Optics, además de ser el producto de gestión de redes multi-fabricante. Ofrece funciones similares a las del Alcatel 1354RM a nivel nacional o global cuando gestiona servicios extremo-a-extremo que cruzan subredes suministradas por diferentes fabricantes.
- Aplicaciones de Nivel de Gestión de Servicios:
  - **Alcatel 1355VPN** Gestor de Redes Privadas Virtuales: Una aplicación que permite al cliente gestionar los servicios de transmisión proporcionados por redes SDH/SONET/WDM/ATM/IP. Más adelante se proporciona una descripción más detallada.
  - **Alcatel 135NA5** Analizador de red: Extrae de los sistemas

de operación de la gestión de red la información requerida para evaluar el uso de ancho de banda de los caminos de transmisión; implementa análisis de tendencias y previene los cuellos de botella de los recursos.

- Mantenimiento Centralizado Integrado:
  - **Alcatel 1354SY** Gestor de Sincronización: Usado para construir y monitorizar la red de sincronización de relojes. Pone de manifiesto el aislamiento en la sincronización de un elemento de red, bucles de sincronización y los casos en los que hay demasiados saltos en la distribución de los relojes de sincronización
  - **Alcatel 1354DCN** Gestor de redes de Comunicación de Datos: Permite al operador controlar y monitorizar el comportamiento de las DCN, proporcionando información de reconocimiento, estado y rendimiento.

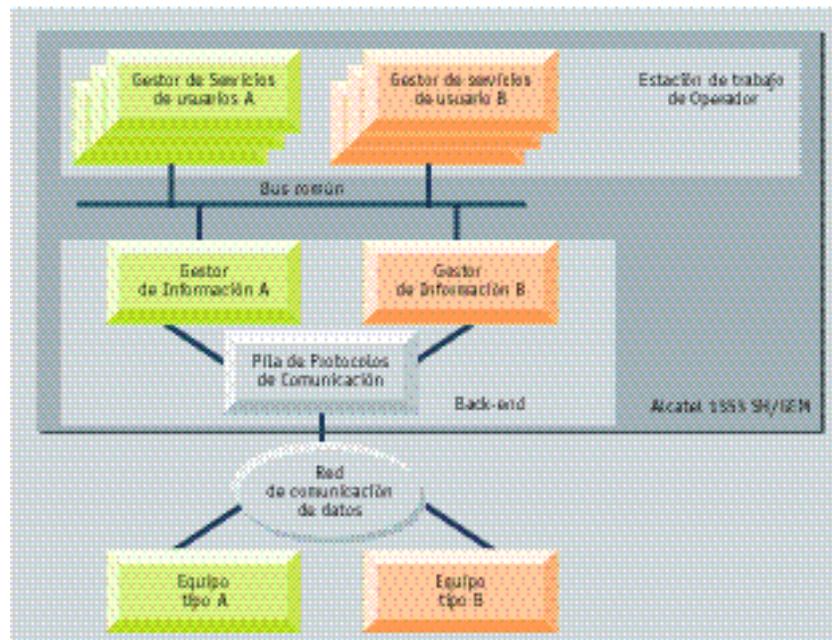


Figura 3 – Arquitectura básica de las aplicaciones de gestión de red.

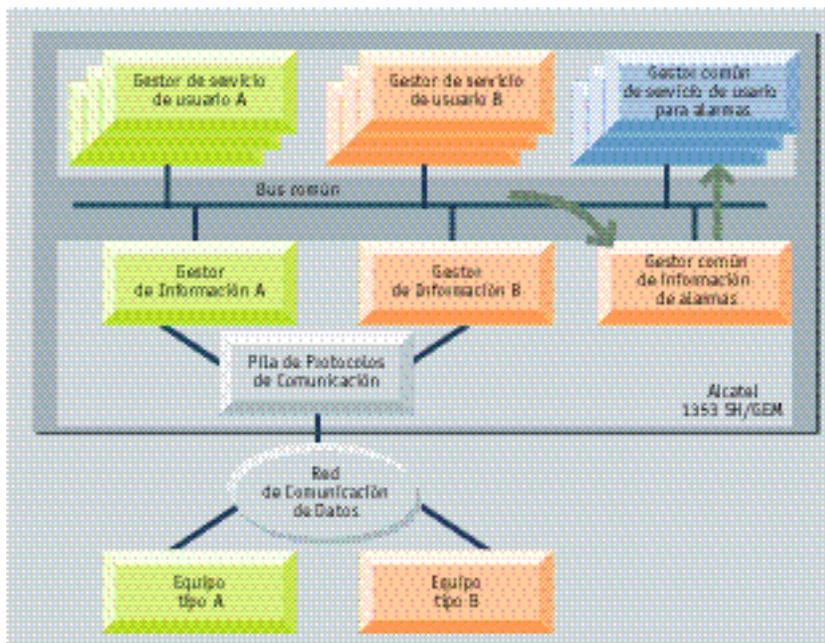


Figura 4 – Arquitectura que comprende las aplicaciones comunes de gestión de red.

### Arquitectura de las aplicaciones de gestión de red

Cada producto utilizado en los sistemas de gestión de red (por ejemplo, Alcatel 1353SH, Alcatel 1354RM) agrupa varios conjuntos de aplicaciones, de los cuales algunos son comunes a todo el portafolio de productos, mientras que otros son específicos de un determinado nivel funcional. Además, aunque cada producto puede funcionar independientemente, debe ser posible que el mismo procesador físico albergue diferentes productos o bien, que sus interfaces de usuario estén disponibles en un único terminal de operador.

Estas necesidades requieren un cuidado especial en el diseño de la arquitectura software, que debe compartirse tanto como sea posible por todas las aplicaciones. Todas las piezas deben poder funcionar en un entorno común de proceso, que debe ser

capaz de albergar fácilmente nuevas aplicaciones.

Los principios de la arquitectura del software de gestión de red de Alcatel Optics se ilustran mediante un ejemplo del proceso de diseño, comenzando con el elemento gestor Alcatel 1353SH/GEM.

Para facilitar la gestión de un tipo específico de equipo, una aplicación consiste en dos partes: un back-end (Gestor de Información; IM) y un interfaz de operador (Gestor de Servicio de Usuario; USM), como se muestra en la **Figura 3**. Este planteamiento está de acuerdo con la arquitectura ALMAP. Cuando se necesita gestionar un nuevo tipo de equipo sólo hay que añadir las partes de la aplicación USM e IM correspondientes.

El «bus común» juega un papel clave, que es el de interfaz interno de software compartido por todas las aplicaciones. En este bus lógico, funciones relevantes pueden ponerse en comunicación de una manera estándar con

aplicaciones comunes, independientes de los equipos, que desempeñan importantes tareas de gestión. Los IMs, que gestionan diferentes tipos de equipos, traducen las alarmas entrantes al formato del bus común. Las alarmas son entonces enviadas a (y son manejadas por) la aplicación de supervisión de alarmas.

La aplicación de supervisión de alarmas está diseñada con sus propios IM y USM (**Figura 4**), de acuerdo con el mismo criterio de la arquitectura ALMAP. Como este módulo es común a todo el sistema, los informes de control de alarmas de los operadores, el reconocimiento, el archivo histórico, utilizan el mismo método para todos los tipos de equipo gestionados (más de cien en la versión actual de Alcatel 1353SH).

El mismo método se aplica también a un amplio conjunto de funciones comunes:

- Supervisión de alarmas;
- Gestión del mapa de la red
- Seguridad de acceso al sistema y función de gestión de red perfiladas de acuerdo con los privilegios de operador.
- Control de acceso a dominio de red
- Backup/restauración de los datos de operación del sistema;
- Sistema de control de procesos de aplicaciones;
- Gestión del software de los equipos de red

### Tecnología de las aplicaciones

También se utiliza el bus común para la comunicación entre aplicaciones que implementan la funcionalidad de productos pertenecientes a diferentes niveles de gestión de red. La **Figura 5** muestra la arquitectura para la

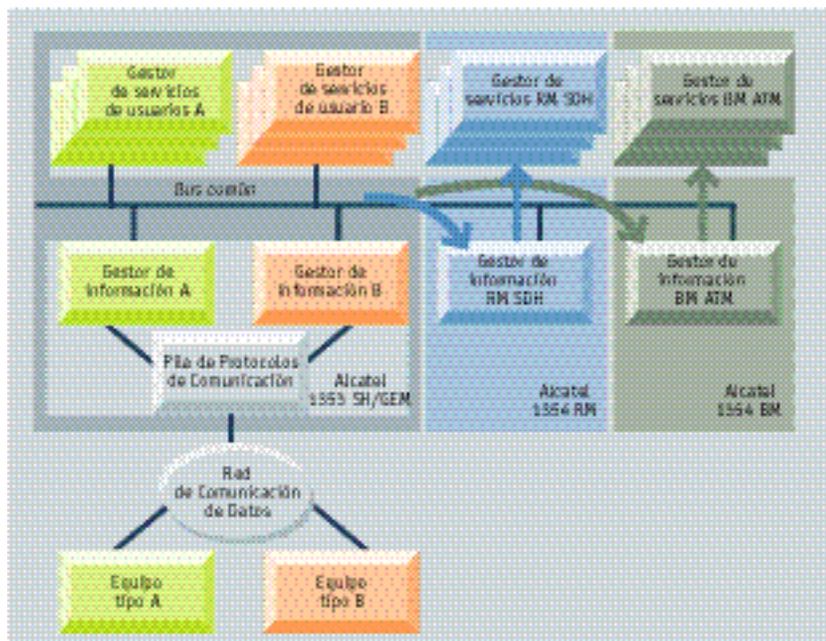


Figura 5 – Arquitectura que alberga diferentes niveles de aplicaciones de gestión de red.

BM: Gestor de Banda Ancha RM: Gestor Regional

gestión de dos aplicaciones de diferente nivel de red, específicas de topologías SDH y redes ATM. En este caso, el equipo gestionado pertenece a la familia de Nodo Optinex Multiservicio (OMSN).

Solamente se muestra en la **Figura 5** una gama limitada de aplicaciones, pero todas las aplicaciones comunes están incluidas en los productos que se entregan. Como se muestra en las figuras, los USMs están instalados en la misma estación de trabajo de operador, usando un estilo común de navegación de una vista a la siguiente, incluso cuando pertenecen a diferentes procesos de aplicación.

Tanto el bus común como los estilos de comunicación de navegación utilizan mecanismos que son estándares de la industria incluyendo protocolos CMISE (Common Management Information Services Element) sobre TCP/IP (Transmission Control

Protocol/Internet Protocol) y CORBA (Common Object Request Broker Architecture). La arquitectura facilita la cooperación entre las aplicaciones, que están implementadas con diferentes tecnologías de programación: C y C++ para las aplicaciones back-end; C++/Motif y Java para los servicios de usuario.

Los módulos de aplicaciones comunes tienen la capacidad de comunicarse con los gestores de información utilizando CMISE y CORBA, permitiendo al mismo tiempo compatibilidad «hacia atrás» con las aplicaciones existentes y evolución tecnológica para las más recientes.

Gracias al planteamiento consistente de diseño, utilizado por todas las aplicaciones para la comunicación a través del bus común de software, se han cubierto los siguientes importantes aspectos:

- **Escalabilidad:** Aplicaciones pertenecientes a diferentes pro-

ductos pueden albergarse en una única estación de trabajo o bien, estar distribuidas en un determinado número de servidores. La misma solución lógica se aplica a plataformas de proceso de distintos tamaños, dependiendo del tamaño de la red gestionada, que puede estar compuesta por un número de elementos en un rango de decenas a miles de unidades.

- **Ahorro de inversiones:** Las aplicaciones ya existentes pueden estar instaladas en el mismo entorno que las nuevas. Se aplica un control estricto de la compatibilidad «hacia atrás» en la evolución del bus común y los mecanismos de navegación entre aplicaciones.

### Arquitectura de gestión de redes multi-tecnología

La arquitectura (ver **Figura 6**) proporciona extensiones de diseño hacia aplicaciones más relacionadas con la gestión de servicios. Como se describe en otra parte de este artículo, los conjuntos de funciones proporcionados por los gestores de información se exportan para ser utilizados por diferentes aplicaciones que operan la gestión de servicios o implementan funciones de gestión multi-tecnología, en diferentes dominios.

Es importante resaltar que los datos se exportan frecuentemente de acuerdo con los requerimientos de aplicaciones específicas de usuario, que son diferentes para cada conjunto de servicios, ya que son gestionadas por diferentes clientes. Sin embargo, aunque cambien los mecanismos/protocolos, la funcionalidad es bastante uniforme. Los protocolos típicos son CMISE (por ejemplo, Qnn), ASCII sobre socket TCP/IP (por ejem-

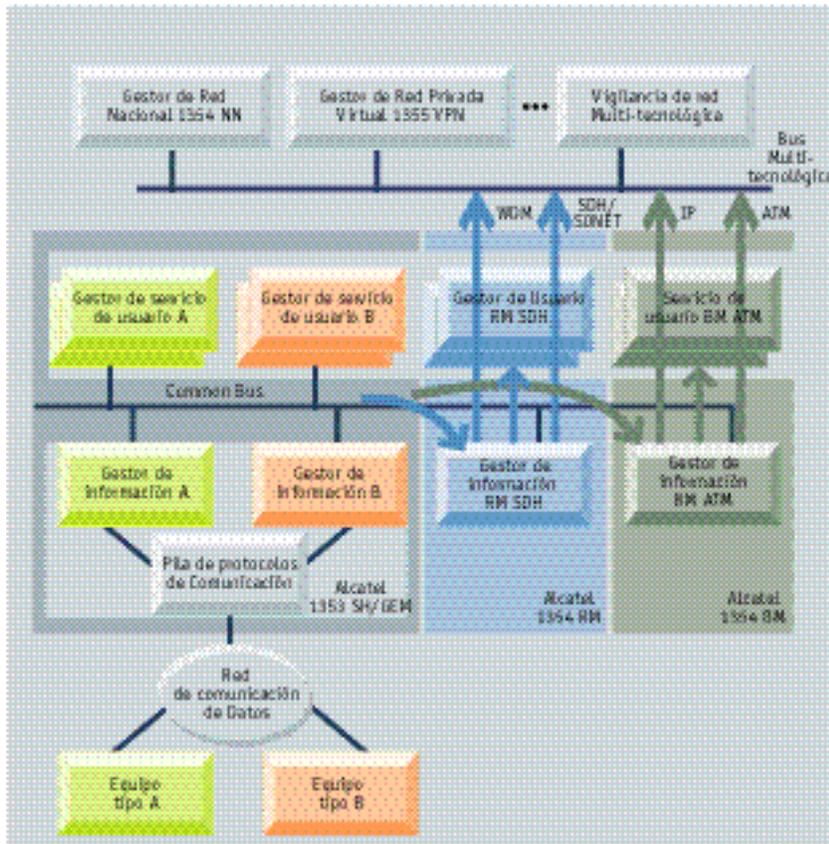


Figura 6 – Arquitectura de aplicaciones para gestión de redes multi-tecnológicas.

plo, Isn) y, de interés creciente, CORBA, como por ejemplo, el TeleManagement Forum SONET/SDH Information Model (TMF SSIM).

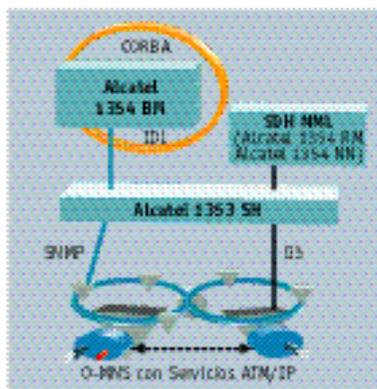


Figura 7 – Colaboración entre Alcatel 1354 BM y los gestores SDH.

**IDL:** Lenguaje de Descripción de Interfaz  
**SNMP:** Protocolo Simple de Gestión de Red

### Ejemplo 1: Gestión de red de banda ancha Alcatel 1354BM

La serie Alcatel 1353/54NM, ampliamente desplegada, ha sido ampliada con el Alcatel 1354BM para proporcionar a los operadores de telecomunicación y a los proveedores una solución centrada en red que recorta los gastos de operación, ahorrando al mismo tiempo una gran cantidad de tiempo en el proceso de provisión/gestión de enrutamiento IP y/o servicios de conmutación ATM sobre redes WDM/SDH/SONET.

### Construcción e ingeniería de redes multi-servicio

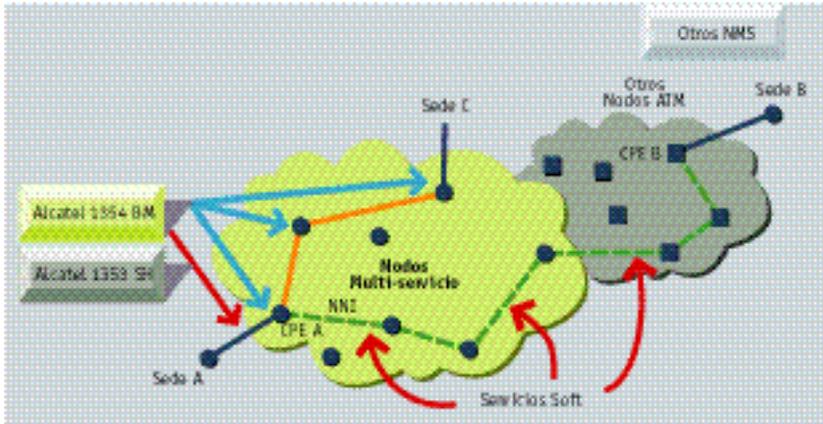
Un operador de red implementa una determinada topología para satisfacer las necesidades de una

amplia variedad de usuarios y tiene que «hacer corresponder» los flujos de usuario en dicha topología física. Estas actividades de ingeniería (por ejemplo, correspondencia de flujos de tráfico en la topología SDH) se ha convertido en un tema fundamental debido al crecimiento impredecible de la demanda de recursos de red por parte del usuario, la naturaleza fundamental de los nuevos servicios que ofrecen y la competitividad creciente del mercado de telecomunicaciones. Por este motivo, cuando es necesario, Alcatel 1354BM trabaja conjuntamente (como cliente) con las aplicaciones de gestión de red SDH/WDM para ofrecer flujo mediante provisión y funciones de supervisión, a través de los diferentes niveles de gestión de red.

El creador de la red puede precisar una ampliación o reordenación de la infraestructura base SDH (por ejemplo, provisión de caminos SDH con modos de protección en línea con la QoS requerida) y errores aislados y correlativos a través de los diferentes niveles (desde SDH a ATM y/o IP). Esta relación de interfuncionamiento entre niveles permite un control preciso sobre la situación de los flujos de tráfico en los dominios de enrutamiento.

### Funciones de grado de operador y centrales de red

El Alcatel 1354BM ofrece todas las funciones de clase de operador requeridas para construir, configurar y monitorizar líneas alquiladas IP y/o ATM o servicios VPN. El operador de red puede proporcionar servicios de unidifusión y multidifusión IP/ATM, que serán enrutados por el camino óptimo con diferenciación



**Figura 8 – Provisión de servicios de conexión ATM.**

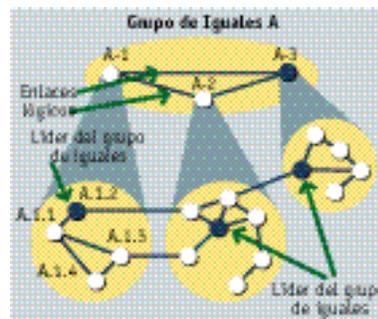
**CPE:** Equipo de cliente  
**PNNI:** Interfaz Red- Red Privada  
**NNI:** Interfaz Red-Red  
**PVC:** Circuito Virtual Permanente

QoS (por ejemplo, ITU-T I.356/ATM Forum TM4.1 velocidad determinística, velocidad estadística, no especificada y garantizada en un cierto rango). Dependiendo de los requerimientos y el servicio, se pueden diferenciar dos modos de provisionamiento (ver **Figura 8**):

- **Conexiones Hard:** El servicio se enruta explícitamente mediante el Alcatel 1354BM (con o sin la asistencia del operador de red) haciéndose entonces la provisión de los nodos a lo largo del camino computado. En este modo (ya utilizado por la infraestructura básica de transporte como SDH), el administrador de red puede forzar algunos imperativos en la selección de una ruta.
- **Conexiones Soft:** Las conexiones se enrutan directamente por la red, basándose en protocolos de enrutamiento construidos en nodos multiservicio.

En el caso de los servicios soft (enrutados por la propia red como, por ejemplo, las conexiones permanentes VP/VC ATM soft), el Alcatel 1354BM no interfiere

con los procedimientos de enrutamiento de red. Descubre y rastrea los servicios ya proporcionados y permite al operador inicializar, monitorizar y liberar nuevas conexiones para las diferentes clases de servicio y características de tráfico. A fin de proveer «servicios soft», las aplicaciones Alcatel 1354BM han sido ampliadas para descubrir y configurar los complejos jerarquía/protocolos de enrutamiento. Esta funcionalidad permite al operador de red sintonizar los parámetros de señalización y enrutamiento en la propia red. De esta manera, es posible garantizar que el proceso en los nodos y la



**Figura 9 – Elemento de red incluido en la jerarquía de enrutamiento.**

**PG:** Peer Group

selección de rutas eficientes cumple con los requerimientos de calidad y ancho de banda del servicio, como se muestra en la **Figura 9**.

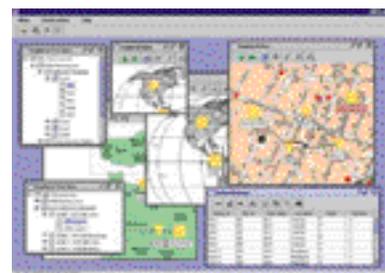
**Arquitectura de gestión de red multiservicio escalable, homogénea y abierta**

Construido sobre la infraestructura CORBA, el software Alcatel 1354BM sigue una arquitectura de tres niveles:

- Interfaz gráfico de usuario de web (basado completamente en Java), como se muestra en la **Figura 10**.
- Conjunto de aplicaciones backend que proporcionan la gestión de los servicios.
- Nivel de adaptación en el que los adaptadores son fácilmente conectados para proporcionar un interfaz «hacia abajo» con un elemento del sistema de gestión y/o un interfaz «hacia arriba» con el sistema de nivel de servicio.

**Ejemplo 2: Gestión de redes privadas virtuales Alcatel 1355 VPN**

Alcatel 1355 VPN es una aplicación que permite a los operadores de red proporcionar servicios VPN a grandes/medianos clientes como, por ejemplo, empre-



**Figura 10 – Interfaz de usuario basado en Java del Alcatel 1354 BM.**

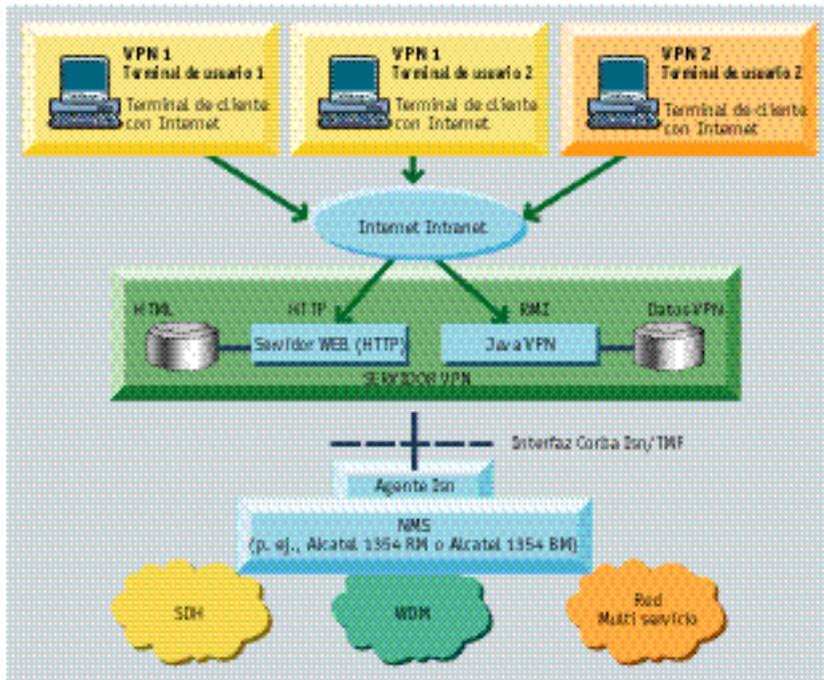


Figura 11 – Arquitectura del sistema Alcatel 1355 VPN.

**HTML:** Lenguaje Markup Hipertexto

**RMI:** Invocación de Método Remoto

**HTTP:** Protocolo de Transferencia de Hipertexto

sas, universidades y bancos. Esta aplicación permite al cliente gestionar directamente los servicios proporcionados por la red.

En una red de transmisión los clientes pueden manejar directamente los servicios de conectividad de sus dominios VPN. Por consiguiente, pueden dar de alta, monitorizar y borrar circuitos entre puntos de acceso de su propia red, en un entorno SDH.

Esta aplicación está intrínsecamente asociada con los conceptos QoS y SLA. Alcatel 1355VPN permite a los usuarios seleccionar servicios con diferentes niveles de calidad. En el momento de la iniciación, es posible pedir un camino que ofrezca un determinado nivel de protección; por ejemplo, no protegido, protegido de extremo-a-extremo o protegido con descarte sin interrupción. Una vez que el servicio se está proporcionando, la calidad se

monitoriza continuamente y el usuario es informado en tiempo real acerca de los errores o problemas de la conexión.

El usuario puede también recopilar informes de rendimiento cíclicamente (o por programa) o informes de transición de estado del servicio. Consecuentemente, esta información puede utilizarse para verificar el SLA del contrato VPN.

A la vista de su capacidad para monitorizar QoS, el Alcatel 1355 VPN puede utilizarse por los operadores de operadores para proporcionar circuitos con calidad garantizada o por los operadores de transporte de red para proporcionar servicios de conectividad a operadores móviles o proveedores de servicios de datos.

Por último, pero no menos importante, esta aplicación puede utilizarse dentro de la organización del operador, en la que dife-

rentes divisiones gestionan diferentes servicios. Un departamento del operador puede gestionar directamente (como cliente) los servicios que recibe de otro departamento. Por ejemplo, el departamento de conmutación puede gestionar directamente la conectividad proporcionada por el departamento de transporte.

La **Figura 11** muestra la arquitectura del Alcatel 1355 VPN. Actualmente la aplicación VPN está solamente implementada en redes de transporte (SDH/SONET y WDM) y, por consiguiente, proporciona servicios de conexión SDH/SONET y WDM. Está basada en una aplicación central, un servidor web Java VPN y terminales de usuario en las instalaciones del cliente (clientes VPN). No es necesario instalar software específico en estos terminales. Lo único que hace falta es un navegador de Internet para conectar el terminal del cliente al servidor VPN, ubicado normalmente en el centro de operación.

El servidor VPN es una aplicación Java que corre sobre una plataforma Unix o Windows NT. Puede instalarse en la misma máquina que el Sistema de Gestión de Red (NMS), por ejemplo, un Alcatel 1354 RM, o en una máquina separada. El servidor se comunica con el NMS SDH/SONET a través de un interfaz abierto. En la actualidad utiliza un interfaz abierto propietario, pero en futuras versiones se implementará un interfaz CORBA TMF. A través de este interfaz, la aplicación Alcatel 1355VPN extrae, desde el NMS, los recursos reservados para los diferentes dominios y los presenta a los terminales correspondientes de usuario. El interfaz permite al NMS enviar al servidor VPN noti-

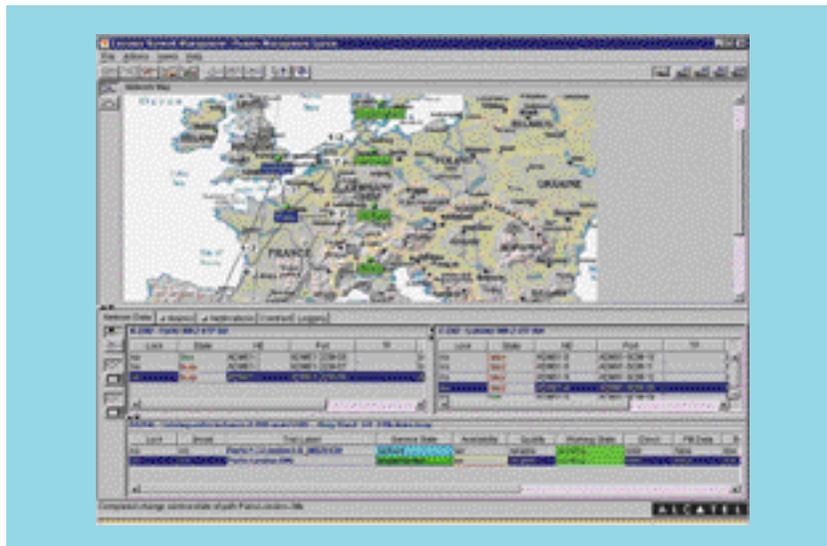


Figura 12 – Interfaz de terminal de usuario Alcatel 1355 VPN.

ficaciones espontáneas de alarma o cambios en el estado del servicio, y permite al servidor VPN utilizar el Protocolo de Transferencia de Ficheros (FTP) para extraer datos de los ficheros ASCII del NMS.

Finalmente, a través de este interfaz, el usuario puede pedir al NMS que cree (o elimine) servicios de conectividad en la red, especificando los puntos de terminación (que deberán estar en el dominio de la VPN del usuario), el tipo de servicio (unidireccional o bidireccional), la velocidad (2 Mbits/VC12, 34 Mbits/VC3, 140 Mbits/VC4, VC4-4c, VC4-16C, etc.). En futuras versiones se proporcionará un canal óptico transparente y un circuito ATM.

En cada dominio, un determinado número de terminales de usuario pueden estar activos simultáneamente. Los usuarios pueden tener diferentes perfiles funcionales, tales como sólo lectura o lectura/escritura

El terminal de usuario dispone de un interfaz gráfico amigable que representa los puntos de ac-

ceso al servicio VPN (SAP) en un mapa (ver **Figura 12**). El usuario simplemente «señala y hace click» para utilizar las funciones que está autorizado a realizar. En particular, seleccionando dos localizaciones en el mapa, el usuario puede ver la lista de SAPs de cada localización y el camino definido previamente entre las localizaciones. El usuario puede seleccionar dos SAPs libres para crear un nuevo camino, o bien seleccionar un camino existente para borrarlo o modificarlo.

Si el NMS notifica una alarma, queda registrada en la ventana de alarmas; el usuario es alertado mediante un cambio de color del camino en el mapa y en la lista de caminos. Los datos de rendimiento también se muestran en una tabla y en una ventana gráfica en forma de histogramas coloreados

Los usuarios pueden intercambiar mensajes con los operadores de red (el administrador VPN) para, por ejemplo, pedir cambios en los parámetros contratados o para señalar problemas.

La seguridad, que es un factor

crítico para las aplicaciones de redes de datos públicas (como las aplicaciones web), esta basada en el uso de contraseñas y cortafuegos. Es posible proporcionar soluciones a medida que tengan en cuenta los sistemas de seguridad ya configurados por el operador y los requerimientos específicos de cada aplicación. Los protocolos IPsec o Secure Socket Layer (SSL) junto con el uso de claves públicas/privadas y tarjetas inteligentes pueden utilizarse para aumentar el nivel de protección.

### Conclusiones: Preparados para el futuro

La gestión de red de Optics ha sido diseñada para gestionar, tanto los primeros sistemas de línea SONET/SDH como los elementos de las redes ópticas de hoy (SDH, SONET, DWDM) con conmutación ATM y funciones de enrutamiento IP integradas. La gestión de red puede adaptarse a cualquier tipo de red, incluyendo acceso, backbone y redes submarinas. Los sistemas de gestión de red han sido también diseñados para gestionar servicios propietarios combinados con aquellos de redes en evolución basadas en tecnología IP.

La capacidad de integración de multi-suministradores ópticos ha sido ya demostrada. Los nuevos interfaces abiertos CORBA se han incluido para mejorar la apertura y la integración multi-fabricante.

Los servicios de valor añadido, como gestión VPN, pueden ser desplegados para proporcionar ingresos directos.

Las soluciones de gestión de red de Optics aseguran la continuidad de los servicios de transmi-

sión y de la gestión de los servicios durante la actualización de la red y la migración. El enfoque de versión de red facilita la introducción sin fisuras de nuevas funcionalidades con la actualización de la red existente, o la adición de elementos de red sin perder las funciones y servicios establecidos.

La gestión de red Optics es un portafolio completo de productos gestionado por una plataforma única con la capacidad de proporcionar soluciones «llave en mano»- incluso a escala global. Une la visión del nuevo mundo de redes basadas en tecnología IP con el mundo real de los

ingresos generados por los servicios propietarios combinados, mediante la convergencia de tecnologías con productos multi-servicio escalables, para el nivel óptico emergente. ■

**Paolo Fogliata** es responsable del Alcatel Optics TMN System Group en Vimercate, Italia.

**Yannick Gautier** es Jefe de Producto de Aplicaciones de gestión de red multi-servicio(Alcatel 1354BM) en Villars-Caseaux, Francia.

**Ettore Malpezzi** es Jefe de Producto de Alcatel 1355 VPN e interfaces abiertos TMN en Vimercate, Italia.

**Marc Vandereviere** es responsable del equipo de desarrollo del gestor de elementos Alcatel 1353 GEM, en Raleigh, Estados Unidos.

**Carlo Spinelli** es Director de la línea de productos de gestión de red para productos del mercado ETSI en Vimercate, Italia.



# Componentes ópticos para el nuevo milenio

> Los componentes ópticos están llevando los límites de la capacidad a la región de petabit/s, abriendo el camino al uso de los fotones para transportar, enrutar y conmutar información.

## Introducción

Los componentes ópticos son, como los microprocesadores y la electrónica de alta velocidad, los factores clave de la revolución de las comunicaciones que empezó a finales del siglo XX con Internet. Hoy podemos conectar nuestro ordenador con la oficina desde cualquier parte del mundo a través de superautopistas ópticas. Para ilustrar la explosión del ancho de banda, basta con considerar que sólo en 1999, ¡el «e-business» generó un flujo de datos equivalente al tráfico telefónico de los pasados 30 años!. No obstante, esto es sólo el comienzo. Todos sabemos que las páginas web tardan un tiempo en aparecer en la pantalla del ordenador, y lo difícil que es tener una línea libre para nuestro móvil durante la conferencia del Supercom ... ¡y que nuestras cafeteras aún no se comunican con nuestro coche! El tráfico de datos seguirá creciendo. Los componentes ópticos asociados a la tecnología de Multiplexión por División de Longitud de Onda Densa (DWDM) son la respuesta al dilema de la capacidad de transporte, conmutación y enrutamiento. El DWDM combina varias porta-

doras ópticas con diferentes frecuencias (longitudes de onda o colores) sobre la misma fibra óptica. Cada portadora se modula mediante una señal diferente, por lo general a las velocidades estándar de la Multiplexión por División en el Tiempo (TDM), como 2,5 ó 10 Gbit/s, y ahora 40 Gbit/s. De esta forma la capacidad total de la fibra se multiplica por el número de portadoras ópticas, sin necesidad de instalar un nuevo cable o fibra que tiene un coste elevado. Por otra parte, esta capacidad se puede mejorar «a petición», canal por canal, en cuanto aumente la demanda de tráfico, permitiendo a los operadores distribuir sus inversiones en el tiempo. La tecnología WDM se aplicó en un principio a la transmisión a grandes distancias, suministrando una capacidad de hasta 3,2 Tbit/s (80×40 Gbit/s). No obstante, el incremento del tráfico está yendo más allá de las redes de larga distancia, y han empezado a invadir los nodos de la red antes de que lleguen al usuario.

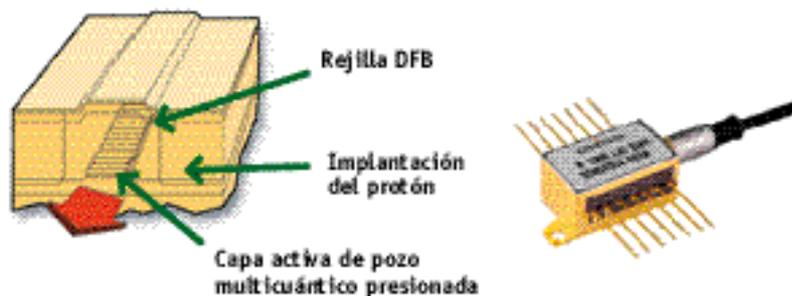
Se han introducido los multiplexores ópticos de extracción/insertión, capaces de insertar (ó extraer) tráfico nuevo en (o desde) la red añadiendo (o quitando) canales ópticos (longitudes

de onda) en (desde) un flujo multicolor sin conversión óptica/electrónica. En un futuro próximo, los transconectores y los routers de alta capacidad usarán la longitud de onda como granularidad básica, dando lugar a los routers multi-terabit de alta velocidad. El equipo de enrutamiento tendrá que manejar cantidades enormes de tráfico. Por ejemplo, si consideramos un cable óptico estándar con 48 fibras, alimentada cada una por 80 canales ópticos, un nodo básico con cuatro rutas entrantes (norte, sur, este y oeste) tiene que gestionar más de 15.000 longitudes de onda. ¡Además, con la velocidad actual binaria básica STM-16 (2,5 Gbit/s) por canal, el tráfico total supera los 38 petabit/segundo!. Este tipo de tráfico sólo se puede procesar ópticamente.

La fase final será suministrar un canal óptico en la casa del usuario. Arquitecturas del tipo de Fibra Hasta El Hogar (FTTH) proponen enlaces dedicados de color de abonado a 155 Mbit/s.

## Dispositivos ópticos activos

Ya que los enlaces de transmisión y los nodos de conmutación in-



**Figura 1 – Estructura del láser de estructura acanalada enterrada y del módulo del láser de 1550 nm de WDM**

**DFB:** Realimentación distribuida

cluyen funciones de transmisión y recepción, al igual que los repetidores ópticos intermedios, analizaremos primero los componentes ópticos usados en las cuatro áreas siguientes:

- emisión;
- amplificación;
- detección;
- enrutamiento.

### Emisión

En la parte transmisora, los láseres multicolor (**Figura 1**) ofrecen longitudes de onda precisas y estables, permitiendo que se transmitan simultáneamente hasta doscientos canales de alta velocidad sobre la misma fibra. La estabilidad de la longitud de onda es de  $\pm 0,1$  nm durante 15 años y con variaciones de temperatura estándar para telecomunicaciones (de  $-5$  a  $+70^{\circ}\text{C}$ ). Estos láseres multicolor requieren estructuras verticales del tipo Pozo Cuántico Múltiple (MQW) para alcanzar la precisión de la longitud de onda, y estructuras horizontales adaptadas, como la Estructura Acanalada Enterrada (BRS), para proporcionar un alto rendimiento (**Figura 1**).

El proceso de sedimentación, o epitaxia, se basa en las nuevas técnicas del cristal, tal como la Epitaxia por Haz Molecular

(MBE), que permite la sedimentación átomo a átomo de forma que las capas de nanómetro se controlan con precisión. El dominio de estas técnicas permite a los fabricantes de componentes predecir la longitud de onda exacta de los chips finales del láser cuando arranca el proceso de fabricación.

Hoy es posible fabricar emisores láser con un espaciado de 0,4 nm entre dos longitudes de onda adyacentes en la rejilla estándar de la UIT-T. Esto se corresponde con un espaciado de frecuencia de 50 GHz. Ahora se pueden tratar obleas de longitud de onda múltiple, ofreciendo hasta ocho canales al mismo tiempo, lo cual produce la capacidad más alta del chip del láser.

Se han desarrollado láseres de alto rendimiento para reducir el coste total del sistema al compensar las pérdidas en los multiplexores pasivos WDM (para combinar todos los canales en la fibra). Estos ofrecen una potencia de salida que va de 2 a 40 mW.

Hasta hace poco, los sistemas WDM usaban longitudes de onda que iban desde 1.530 hasta 1.570 nm en la banda C. Ahora, una simple modificación en la composición de las capas activas permite fabricar láseres que utilizan

una nueva ventana de transmisión llamada banda L (desde 1.570 hasta 1.610 nm). En consecuencia, los diseñadores de sistemas pueden utilizar un total de doscientas longitudes de onda en las bandas C y L entre 1.530 y 1.610 nm (80 nm divididos por 0,4 nm).

No obstante cuando aumente la densidad de la longitud de onda, alcanzando en el futuro espaciados de 25 GHz (0,2 nm), la baja variación de las longitudes de onda del láser BRS debido a la edad será demasiado grande comparada con las necesidades del sistema. Por tanto, se requerirán bucles ópticos para ajustar el láser con precisión al canal deseado. Esta función de ajuste se puede integrar en el mismo encapsulado en mariposa tal como lo hacen los módulos estándar usados en la industria. Un filtro Fabry Perot, localizado en el láser y en los dos fotodiodos enfrentados, libera una señal eléctrica periódica que es proporcional al desplazamiento de la longitud de onda precisa, permitiendo una fácil realimentación eléctrica para alcanzar una precisión final de 20 picómetros ( $10^{-12}$  m).

No obstante, el aumento en el número de canales ópticos requiere tener un stock grande de láseres por parte del fabricante del sistema o un stock de placas libres por parte del operador. Para aliviar este problema se empieza ahora a disponer de nuevos dispositivos, tales como los láseres sintonizables, capaces de ajustarse en un rango de longitudes de onda. Los láseres sintonizables de banda estrecha (ocho canales con espaciado de 50 GHz) usan chips DFB de alta potencia; se aprovechan de la variación natural de la longitud de onda de emisión con temperatura

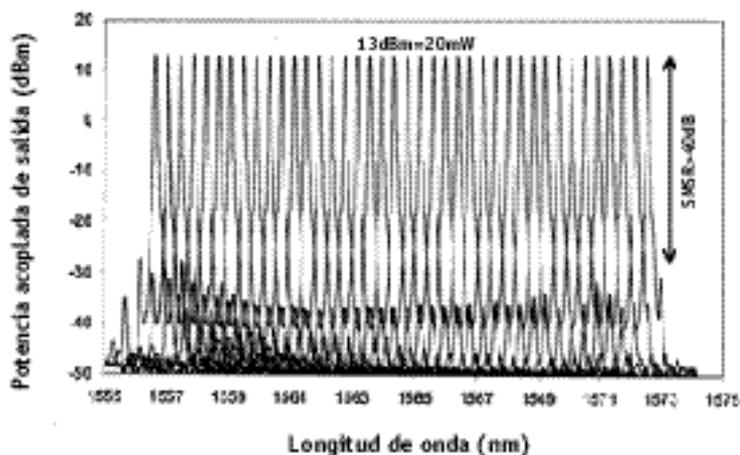


Figura 2 – Ajuste de un láser DBR.

(0,1 nm/°C). Los láseres sintonizables de banda ancha (40 canales con espaciado de 50 GHz) se basan en la estructura de Reflector de Bragg Distribuido (DBR). El ajuste de la longitud de onda se alcanza variando la actual DBR, tal como se muestra en la **Figura 2**.

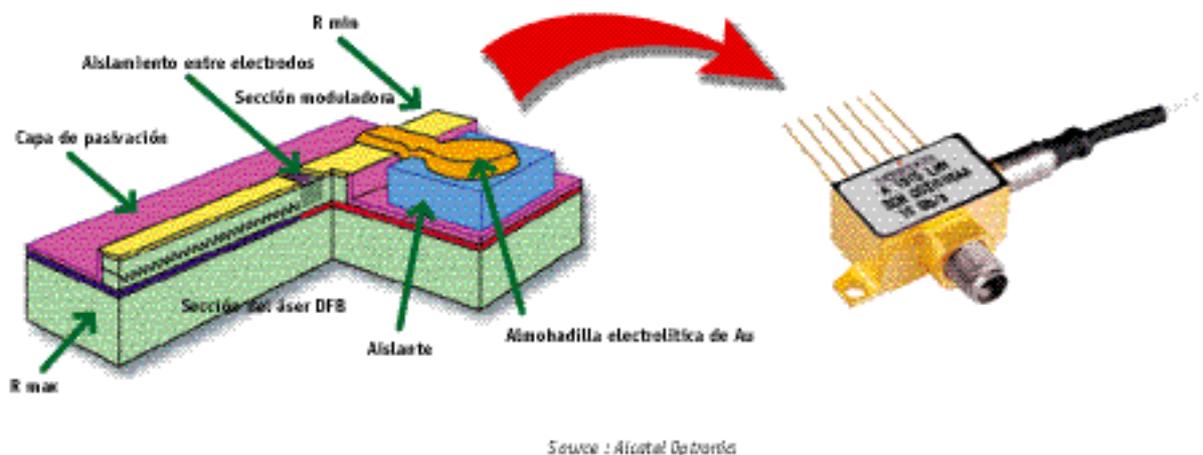
Los láseres DFB se pueden modular directamente (la señal eléctrica se aplica a la corriente del láser, creando una onda óptica de amplitud modulada) hasta 2,5 Gbit/s para una transmisión a

200 Km, y a 10 Gbit/s para una transmisión a corta distancia (10 km). En distancias más largas, la dispersión cromática limita el ancho de banda, por lo que se necesita un modulador externo. (En este caso, el espectro del láser es muy pequeño y estable; la modulación se aplica al modulador). Se pueden alcanzar distancias de miles de kilómetros con velocidades tan altas como 10 Gbit/s, o de cientos de kilómetros a 40 Gbit/s. Hasta ahora, se usaban costosos moduladores externos, basados

en Litio Niobate, los cuales incluso se utilizaban en las redes metropolitanas. Desde finales del 1998, se encuentra disponible una solución muy mejorada basada en un chip de modulación de Indium Phosphide (InP) integrado monolíticamente con el chip InP del láser WDM. El Modulador de Láser Integrado (ILM) resultante, que se almacena en un encapsulado en semimariposa (**Figura 3**), incluye una latiguillo de fibra que se conecta internamente al chip del láser.

La siguiente evolución es la introducción de un modulador de absorción eléctrica de InP de 40 Gbit/s (**Figura 4**).

Para alcanzar un rendimiento óptimo de la transmisión, los componentes ópticos tienen que tener una integración máxima con las funciones controladas electrónicamente, acortando las líneas eléctricas con su capacitancia e inductancia parásitas intrínsecas. Esto ha sido verdad hasta muy al comienzo de la transmisión óptica para receptores ópticos, en los cuales la integración con los preamplificado-



Source : Alcatel Optics

Figura 3 – Módulo de láser digital de 10 Gbit/s WDM con modulador integrado de absorción eléctrica.

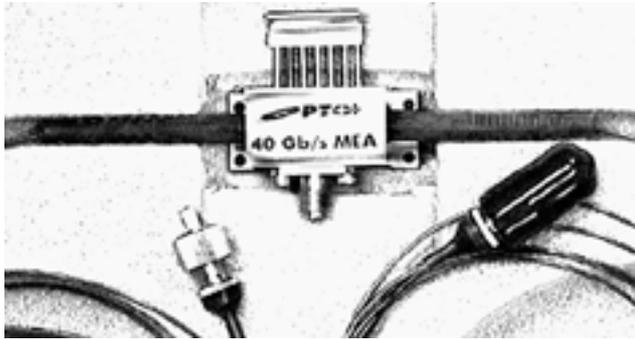


Figura 4 – Modulador de absorción eléctrica de 40 Gbit/s.

res eléctricos daba lugar a la sensibilidad más alta y a la mejor inmunidad contra el ruido. No obstante, al crecer las velocidades binarias, también se convirtió en el procedimiento más fácil a seguir con los emisores. Los dispositivos ópticos están progresando desde simples chips ópticos puros (con los necesarios medios opto-mecánicos para emitir la luz en la fibra de transmisión) hasta un montaje de sofisticados componentes electrónicos con chips ópticos que incluyen las funciones básicas de control. La próxima generación de láseres integrará, en el mismo encapsulado, los componentes electrónicos de alta velocidad que se requieren para manejar los chips ópticos con las mejores características, y también funciones más complejas tal como la multiplexión eléctrica, suministrando al usuario final un dispositivo «fácil de usar».

Los componentes electrónicos de alta velocidad para 10 Gbit/s y velocidades superiores se están desarrollando en material GaAs o SiGe y se integran en una plataforma híbrida con dispositivos ópticos InP. En la próxima década, la integración monolítica de todos los dispositivos ópticos InP y de las funciones electrónicas dará lugar a verdaderos dispositivos opto-electrónicos, dando como resultado una reducción mayor de los costes y mejoras grandes del rendimiento. La evolución de la tecnología hacia velocidades binarias cada vez mayores y hacia mayores niveles de integración también está dirigida por otro importante factor: la reducción de costes. También está asociada a la ampliación de la red óptica hasta las instalaciones de los usuarios y a la necesidad de routers compactos y de alta capacidad.

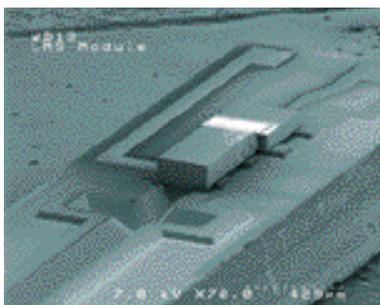


Figura 5 – Láser sin refrigeración de 2,5 Gbit/s de tecnología planar.

La mejora de los costes se basa en las nuevas técnicas de ensamblaje y empaquetado, tal como la tecnología «planar». La Figura 5 muestra un láser alineado pasivamente (sin micromanejo del láser delante de la fibra) con el latiguillo de la fibra en una submontura de silicio. La precisión de la alineación es de más de una micra, dando una pérdida de acoplamiento (entre láser y fibra) de alrededor de 3 dB. Recientemente se han introducido nuevos láseres, con una óptima configuración mecánica y con una lente integrada (láseres estrechos). Estos láseres son adecuados para aplicaciones de velocidades binarias bajas, tales como 622 Mbit/s y 2,5 Gbit/s, así como para la interconexión a 10 Gbit/s.

### Amplificación

En los sistemas de transporte de largo trayecto, la clave que permite la tecnología en estaciones intermedias es la amplificación óptica basada en fibra dopada de erbio. Hasta que apareció esta solución, cada estación intermedia contenía tantas funciones de repetidor como señales transmitidas había. Hoy, los avances en la amplificación óptica han hecho posible amplificar todas las señales transmitidas con los Amplificadores de Fibra Dopada de Erblio (EDFA).

Un importante reto a cumplir por los ingenieros de componentes ha sido la falta de uniformidad de la respuesta de la ganancia espectral en los amplificadores ópticos. Se amplificaban diferentes longitudes de onda con diferentes ganancias, mientras que el sistema requiere la misma amplificación para todas las longitudes de onda. Este problema se ha resuelto mediante el desarrollo de



**Figura 6 – Amplificador de fibra dopada de erbio D-WDM.**

la fibra dopada de erbio con un alto contenido de aluminio y por la realización de nuevos filtros de equalización basados en tecnologías tales como la Rejilla de Fibra de Bragg (FBG).

Los amplificadores de ganancia plana basados en estos elementos claves actualmente son de uso muy extendido (**Figura 6**). Ofrecen una uniformidad de ganancia mayor de 1,5 dB. Como sólo se usa un elemento para amplificar todas las señales transmitidas, el coste total de la amplificación de enlace por canal ha bajado considerablemente, llevando al gran uso de la transmisión WDM en todas las redes submarinas y terrestres de largo trayecto.

Los actuales EDFAs cubren una ventana de 35 nm en las bandas C o L. La próxima generación de amplificadores, basada en fibra dopada modificada, será capaz de proporcionar amplificación sobre un ancho de banda mayor de 50 nm, y a la larga sobre toda la banda C+L.

Se han optimizado algunas estructuras específicas para permitir la capacidad de extracción/inserción en las estaciones intermedias, conocidas ahora como amplificadores de «acceso de media etapa».

Los EDFAs se están haciendo cada vez más complejos. Se aplica la integración de funciones y

componentes electrónicos pasivos para desarrollar amplificadores «inteligentes», con rendimiento óptimo independientemente del número de canales que pasan a través de ellos, o del número de canales añadidos o quitados en el nodo. Los atenuadores ópticos variables y los ecualizadores de ganancia dinámica se encuentran entre los primeros dispositivos pasivos a introducir en estos módulos.

No se deben olvidar las fuentes de potencia que requiere la tecnología EDFA. La amplificación se produce cuando un fotón de señal en la ventana de 1.550 nm pasa en las proximidades de un ion de erbio en un estado «excitado». Cuando pasa a un estado no excitado, el erbio genera fotones gemelos de 1.550 nm por emisión estimulada. Los láseres de alta potencia a 980 ó 1.480 nm se usan para «bombear» el erbio hacia estados de salida, de ahí el término láseres de bombeo. Potencias que van desde 60 mW hasta 1 W se usan para bombear los EDFAs, dependiendo de la aplicación y del número de canales a amplificar. Generalmente se usa bombeo de 980 nm para amplificadores de ruido bajo, mientras que se usan esquemas de bombeo de 1.480 para etapas de potencias altas.

Se puede comprender fácilmente que la calidad de la amplificación requerida aumenta con la capacidad, creando una búsqueda de la solución perfecta de amplificación. La última mejora en amplificación óptica de alto tráfico se alcanzó con la llegada de los amplificadores Raman en los cuales el medio amplificador es la misma fibra de transporte. El efecto Raman es un fenómeno no lineal que ocurre en altas concentraciones de potencia en

la fibra. Por ejemplo, un bombeo de 1 W a 1.450 nm emitido en una fibra estándar monomodo producirá ganancia en la banda de 1550 nm. La combinación de la amplificación Raman con los EDFAs estándar puede ofrecer virtualmente amplificadores «sin ruido».

El material GaAs se utiliza para crecer los chips del láser de bombeo de 980 nm los cuales tienen eficiencias cercanas a 1 W/A. Los actuales dispositivos suministran potencias de hasta 200 mW en una fibra monomodo, mientras que los productos futuros serán capaces de proporcionar 500 mW. Como la ventana de absorción del erbio es menor de 10 nm a 980 nm, los módulos de bombeo se diseñan con cuidado para asegurar una longitud de onda de bombeo muy estable. Los filtros FBG se usan para bloquear la emisión a la longitud de onda deseada. Las fuentes de mayor potencia suministran por encima de 1 W, pero con una salida multimodo. Estos dispositivos se pueden usar con fibra dopada de erbio y de doble revestimiento.

Las bombas de 1.480 nm usan el mismo material básico InP que los láseres de transmisión para suministrar una eficiencia de alrededor 0,3 W/A y potencias de hasta 250 mW. Al utilizar diferentes concentraciones dopantes y técnicas de estabilización de rejilla Bragg, se pueden suministrar fuentes de bombeo en cualquier ventana desde 1.410 a 1.495 nm para aplicaciones Raman.

Las fuentes de potencia de 500 mW y superiores se construyen combinando varias bombas que usan mezcladores de polarización y de longitud de onda. Una solución para alcanzar alrededor de 1 W a 1480 nm con un único chip es el Master Oscillator Po-

wer Amplifier (MOPA). Un elemento láser seguido por una sección de amplificación y un reductor progresivo, todo en un único chip de InP, suministra una señal monomodo alta con una eficiencia cercana a 0,2 W/A.

### Detección

En general se usan dos tipos de fotodetectores en la parte receptora de un enlace. Dependiendo de la sensibilidad requerida por el sistema, una estructura simple, como la de un fotodiodo PIN, suministra una sensibilidad de 1 A/W en la ventana de 1.550 nm. Está formada por tres capas InP, una dopada con p, la segunda sin dopar (también llamada intrínseca) y la tercera dopada con n. Los Fotodiodos de Avalancha (APD) tienen una estructura más compleja con ganancia eléctrica interna suministrada por el efecto avalancha en la región intrínseca de alto voltaje. Se pueden alcanzar sensibilidades de 5 a 10 A/W con poca degradación del nivel interno de ruido.

Los fotodiodos basados en InP son receptores de banda ancha que se usan para cubrir la segunda (1.310 nm) y tercera (1.550 nm) ventana de transmisión. La geometría del fotodiodo es un parámetro clave del dispositivo con respecto al ancho de banda eléctrico; a medida que aumente la velocidad, también llegarán a ser

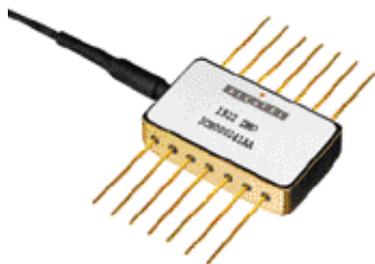


Figura 7 - Preamplificador 2.5 APD.

factores críticos: la vida del operador y la homogeneidad y los parásitos de las líneas eléctricas. Los fotodiodos de superficie iluminada (la luz llega ortogonalmente con respecto al área sensible) también se optimizan para velocidades binarias de hasta 10 Gbit/s. Los dispositivos de borde iluminado (la luz y la región activa son colineales) tienen un rendimiento mejor del de la velocidad a 40 Gbit/s.

Como ya se mencionó, la integración de la sección de entrada del amplificador eléctrico mejora el rendimiento total, y es el único método con éxito para el incremento de la velocidad. Los actuales dispositivos receptores incluyen el fotodiodo con la sección de entrada del amplificador (por lo general un amplificador de transimpedancia) seguido por un limitador o etapa de Control Automático de Ganancia (AGC) (Figura 7).

### Enrutamiento

Las redes actuales se basan en el uso de señales ópticas para el transporte de información entre nodos, junto con el uso de señales eléctricas para el enrutamiento dentro de los nodos. Los transconectores digitales usan compo-

nentes ópticos sólo como interfaces de la red, mientras que la central se sigue manejando eléctricamente. Se requieren numerosas conversiones eléctricas/ópticas con todas las restricciones asociadas de coste y tiempo.

El enrutamiento y la protección en el nivel óptico son vitales para soportar las redes IP previstas actualmente por los operadores líderes. Los elementos claves de estos dispositivos totalmente ópticos son las unidades ópticas de añadir y quitar, las cuales pueden insertar y/o extraer una o varias longitudes de onda y los transconectores ópticos. Estos dispositivos usarán la conmutación óptica para ofrecer transparencia de velocidad binaria y de protocolo. Una nueva gama de componentes de marca, conocidos como módulos ópticos de enrutamiento, permitirá a estos sistemas ir hacia una nueva etapa para el despliegue futuro y total de la red.

### Amplificadores ópticos de semiconductores

Los chips del Amplificador Óptico de Semiconductores InP (InP SOA) con ganancias de alrededor de 10 dB se encuentran disponibles desde hace varios años.

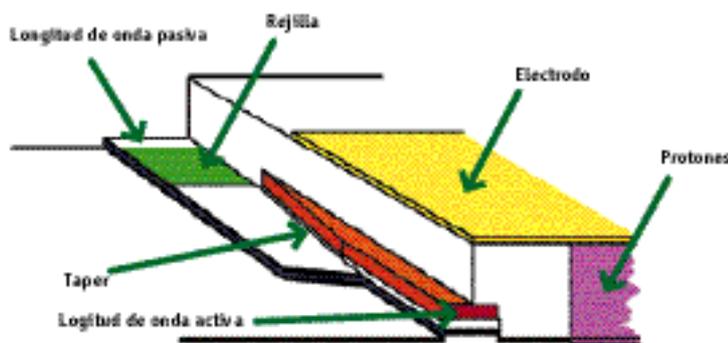


Figura 8 - Estructura SOA.

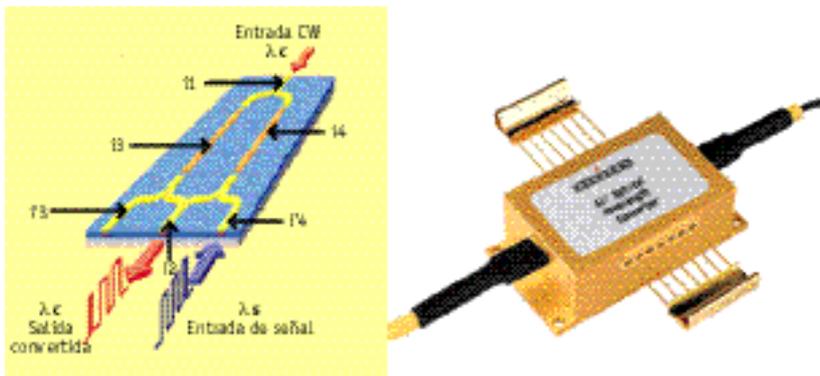


Figura 9 – Estructura Interferométrica Mach-Zehnder de un convertidor de longitud de onda.

No obstante, los recientes avances hacen ahora posible construir arrays de chips InP SOA para realizar las funciones ópticas de puerta. Estos arrays, que ofrecen conmutación sin pérdidas a alta velocidad (típicamente nanosegundos), serán escalables y relativamente baratos cuando se asocien a las técnicas de embalaje planar.

Los arrays de cuatro SOAs ya se encuentran disponibles (Figura 8). Aunque recientemente se han introducido arrays de ocho SOAs, todavía no constituyen una tecnología madura.

### Convertidor de Longitud de Onda

Dos chips SOA en una estructura interferométrica Mach-Zehnder (Figura 9) integrada en un encapsulado en mariposa pueden realizar la función de conversión de longitud de onda. Una señal óptica modulada a una determinada longitud de onda en la entrada se convierte en la misma señal modulada a una nueva longitud de onda en la salida. Algunos de estos convertidores de longitud de onda (Figura 9) funcionando a 10 Gbit/s ya se encuentran disponibles comercialmente. Más que un «simple» convertidor de longitud de onda, este dispositivo óptico consigue una función

óptica 2R (Receive, Reshape), suministrando una función de remodelado y una mejora de la relación señal óptica/ruido similar a la conversión eléctrica que usa un receptor óptico tradicional. Usando este dispositivo, una señal óptica se puede tratar cientos de veces en nodos diferentes en toda una red óptica sin necesidad de conversión al formato eléctrico. El siguiente paso será la realización de un componente óptico 3R (Receive, Reshape, Retime), abriendo el camino al tratamiento de la señal óptica.

### Selector de Longitud de Onda

Se han propuesto varias soluciones para la función de selección

de la longitud de onda. Actualmente se usan filtros seleccionables en los receptores WDM, y versiones sintonizables de estos filtros en la fase previa de utilización. Una solución (Figura 10), basada en la asociación de arrays SOA con guías onda en array, ofrece tiempos de respuesta de nanosegundos y selección de longitud de onda sin pérdidas. Este dispositivo al estado-del-arte es capaz de seleccionar uno o más de 16 canales, espaciados 100 GHz, con pérdidas de 0 dB. En estas estructuras, el multiplex entrante WDM se divide selectivamente en las 16 secciones salientes de la primera Guía Onda En Array (AWG), siendo seleccionado cada canal por un SOA (una puerta se usa para alta velocidad), antes de volverse a combinar sobre el único puerto de salida por una segunda AWG.

### Dispositivos pasivos

La familia de dispositivos pasivos no requiere potencia externa para realizar las funciones para la que fue diseñada. Los más importantes son los filtros ópticos, los cuales son elementos clave



Figura 10 – Selector de longitud de onda totalmente InP.

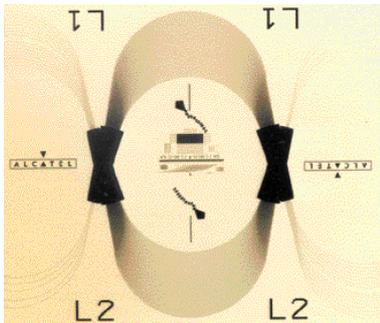


Figura 11 – Guías onda en array WDM.

para la transmisión y el enrutamiento de señales WDM. Por ejemplo, en la parte receptora de un enlace WDM, es necesario recuperar todas las señales transmitidas en diferentes longitudes de onda. Como el fotodetector es intrínsecamente un dispositivo de banda ancha, es esencial utilizar técnicas ópticas de demultiplexación antes del fotoreceptor. Se han probado, y utilizado, varias soluciones para realizar esta función de filtrado óptico. Las más frecuentes son:

- Filtros dieléctricos formados por capas en las cuales cada longitud de onda se filtra mediante un pila de capas diferentes. La organización de las capas permite al filtro trabajar a una longitud de onda específica.
- Rejillas Bragg en las cuales la modulación periódica del índice de refracción se alcanza usando rejillas producidas en la fibra de sílice.

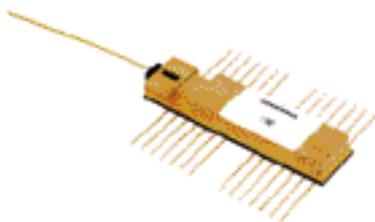


Figura 12 – Transmisor FSAN que integra dispositivos activos y pasivos.

- Guías onda en array (**Figura 11**) en las que diferentes longitudes de onda hacen refracción sobre arrays de fibra colocados en ranuras en forma de V.
- Cavidades micro-ópticas Fabry-Perot en las que la longitud de cada cavidad se ajusta de acuerdo a la frecuencia requerida.

Una gran ventaja de la solución AWG es que se puede fabricar usando la tecnología de los semiconductores, lo cual da lugar a una reproducción fácil, junto a un alto rendimiento y rentabilidad de la fabricación. Antes vimos que las AWGs se pueden fabricar con InP. Este material tiene un índice alto por lo que se puede utilizar para hacer dispositivos pequeños (el selector de longitud de onda es menor de 3x4 mm y la pérdida intrínseca se compensa con la ganancia del SOA). Para actividades puras de selección, el silicio ofrece mejor rendimiento de pérdidas con un acoplamiento más fácil a las líneas de fibra. Los productos comerciales están creciendo con el uso de silicio sobre un sustrato de silicio, ofreciendo densidades altas de hasta 40 canales espaciados 50 GHz en un único chip, con alta selectividad (o baja interferencia) y con pérdidas tan bajas como 5 dB.

Además, esta tecnología permite la integración con dispositivos activos, tal como los láseres y los detectores, lo cual es útil en la construcción de dispositivos para monitorizar la longitud de onda para control de la calidad óptica, o de fuentes multi-canal seleccionables para enrutamiento a alta velocidad.

La **Figura 12** muestra un ejemplo de esta integración. El dispositivo

integra un láser de 1.310 nm con su controlador, un preamplificador PIN de 1.550 nm y un acoplador selectivo (1.310 nm/1.550 nm) en un único chip, lo cual da lugar a un único componente de fibra para la Full Service Access Network (FSAN). Los filtros FBG se usan en muchas aplicaciones, tales como el bloqueo del láser a una longitud de onda exacta, la selección de canal (para extracción/inserción óptica, o el filtrado del ruido en la parte receptora) y el aplanamiento de la ganancia del EDFA.

### Alcatel Optronics

En abril de 1994, Alcatel Optronics empezó a cumplir las necesidades de Alcatel en el área de los componentes ópticos activos WDM. Ahora, con sus nuevas facilidades al estado-del-arte, Alcatel Optronics es conocida en todo el mundo como actor clave en el área óptica, desafiando y batiendo a los suministradores tradicionales en muchas áreas. Por ejemplo, Alcatel Optronics fue la primera en entregar láseres WDM en volumen. Con tres plantas industriales (Nozay, cerca de París, Francia; Lannion, en Bretaña, Francia; y Plano, en Texas, EE.UU.), un total de más de 33 000 m<sup>2</sup> se usan para fabricar una amplia variedad de componentes ópticos. Se usa equipo de fabricación de lámina de tecnología avanzada, incluyendo las herramientas epitaxiales: Epitaxia por Haz Molecular (MBE), Epitaxia en Fase Vapor Metal Orgánico (MOVPE) y Epitaxia en Fase Líquida (LPE) para el tratamiento de InP o GaAs; hornos de Flame Hydrolysis Deposition (FHD) para silicio en dispositivos de silicio; y láseres Excimer dedicados

a la escritura FBG (cambiando el índice de reflexión de la fibra al crear una rejilla).

Al menos, mil técnicos cualificados e ingenieros están dedicados a esta actividad. Alcatel está investigando continuamente en el campo de los componentes ópticos. En el año 2000 el centro de Nozay se ha duplicado, mientras que en Lannion se ha multiplicado por tres, y se ha abierto un nuevo centro en Texas. Las nuevas tecnologías y componentes se están transfiriendo con éxito desde el Alcatel Research Center

cada año gracias a la estrecha relación existente entre investigadores y los equipos industriales.

### Conclusiones

Las innovaciones en el campo de los componentes ópticos continuará ofreciendo a los diseñadores de sistemas la oportunidad de crear nuevas soluciones que estimulará más la suave evolución de las redes de telecomunicaciones. De la misma forma en que los transistores y los circui-

tos integrados llevaron al siglo veinte a ser el «siglo electrónico», los láseres y los módulos ópticos harán del próximo milenio «el milenio fotónico».

Todas las estrategias ganadoras deben basarse en los nuevos componentes ópticos: un área en la que las innovaciones van a la velocidad de la luz.

**Gérald Chrétien** es jefe del Product Marketing Group en Alcatel Optronics en Nozay, Francia.

# Abreviaturas

## A

- ADM** Multiplexación Inserción/Extracción
- ADSL** Línea Digital Asimétrica de Abonado
- AGC** Ganancia Controlada Asimétrica
- AGG** Agregado
- ALMAP** Plataforma Gestión Alcatel
- ANT** Terminación Red ADSL
- APD** Avalanche PhotoDiode
- ASAM** Multiplexor de Acceso de Abonado ATM
- ATM** Modo Transferencia Asíncrono
- ATMF** Usuario ATM conectado vía fibra óptica
- AWG** Arrayed Waveguide Grating

## B

- BER** Tasa Error de bit
- BM** Gestor Banda Ancha
- BRS** Buried Ridge Stripe

## C

- CBR** Velocidad Constante de Bit
- CD** Dispersión Cromática
- CK** Reloj
- CMISE** Common Management Information Services Element
- CNM** Gestión Red de Usuario
- CORBA** Common Object Request Broker Architecture
- CPE** Equipamiento en Casa del Abonado

## D

- DBR** Reflector Bragg Distribuido
- DCF** Fibra Compensación Dispersión
- DCN** Red Comunicación Datos
- DCS** Sistema Transconector Digital
- DFB** Respuesta Distribuida
- DOP** Grado de Polarización
- DSF** Dispersion Shifted Fiber
- DSLAM** Multiplexor Acceso Línea de Abonado Digital
- DWDM** Multiplexación División Longitud Onda Densa
- DXC** Transconector Digital

## E

- EALM** Modulador Láser electro-absorción
- EDFA** Amplificador de Fibra Dopada con Erblio
- E-EPROM** Electrically-Erable Programmable Read Only Memory

- EML** Capa Gestión Elementos
- ETSI** European Telecommunications Standards Institute
- ETSI** European Telecommunications Standards Institute

## F

- FAD** Dominio Acceso Función
- FBG** Fiber Bragg Grating
- FDDI** Fiber Distributed Data Interface
- FEC** Forward Access Domain
- FHD** Flame Hydrolysis Deposition
- FOX** Fiber Optic Extender
- FSAN** Servicio Completo Red de Acceso
- FTP** Protocolo Transferencia Ficheros
- FTTH** Fibra a Casa
- FWM** Four Wave Mixing
- FXC** Fiber Switch Cross-Connect

## H

- HDSL** Línea Abonado Digital Alta Velocidad
- HTML** HyperText Transfer Language
- HTTP** HyperText Transfer Protocol

## I

- IDL** Lenguaje Descripción Interface
- IETF** Internet Engineering Task Force
- IGP** Protocolo Pasarela Interna
- ILM** Modulador Láser Integrado
- IM** Gestor Información
- INM** Gestor Integrado Red
- IP** Protocolo Internet
- IpoA** IP sobre ATM
- ISA** IP/SDH/ATM
- ISP** Proveedor Servicio Internet
- IXC** Inter-eXchange Carrier

## L

- LMDS** Servicio Local Distribución Multipunto
- LPE** Liquid Phase Epitaxy

## M

- MAC** Control Acceso Medio
- MBE** Molecular Beam Epitaxy
- MEMS** Sistema Mecánico Micro-electrónico
- MOPA** Master Oscillator Power Amplifier
- MOVPE** Metal-Organic Vapor Phase Epitaxy

- MP-S** Conmutación Lambda Multi-protocolo
- MPLS** Multi Protocol Label Switching
- MQW** Multi-Quantum Well
- MSN** Nodo Multiservicio
- MS-SP** Sección Múltiple-Protección Sección
- MS-SPRING** Multiplex Section Shared Protected Ring
- MTRR** Tiempo Medio Restauración
- M-Z** Modulador Mach-Zenden

## N

- NAD** Dominio Acceso Red
- NEL** Capa Elemento Red
- NLE** Efecto No-Lineal
- NML** Capa Gestión Red
- NMS** Sistema Gestión Red
- NNI** Interface Red-Red
- NOC** Centro Operación Red
- NRZ** No Retorno a Cero
- NT** Terminación Red
- NZDSF** Non-Zero Dispersión Shifted Fiber

## O

- O/E/O** Óptico Electrónico Óptico
- OADM** Multiplexor Óptico Inserción/Extracción
- OAM&P** Operación, Mantenimiento, Administración y Aprovisionamiento
- OCDM** Multiplexación Óptica División Código
- OCH** Canal Óptico
- Och-SPRING** Optical Channel Shared Protection Ring
- OFA** Amplificador Fibra Óptica
- OG** Pasarela Óptica
- OLA** Amplificador Línea Óptica
- OLT** Terminación Línea Óptica
- OMSG** Pasarela Multiservicio Optinex™
- OMSN** Nodo Multiservicio Optinex™
- ON** Red Óptica
- OPS** Sistema Protección Óptica
- O-SNCP** Optical Subnetwork Connection Protection
- OSNR** Optical Signal to Noise Ratio
- OTS** Sistema Transmisión Óptico
- OXC** Transconector Óptico

## P

- PDH** Jerarquía Digital Plesiócrona
- PDL** Pérdida Dependiente Polarización
- PG** Grupo de Iguales
- PDM** Dispersión Modo Polarización

El número correspondiente a este trimestre está en el «Acceso de Banda Ancha».

- PMF** Polarization Maintaining Fiber
- PNNI** Interface Privado Red-Red
- PON** Red Óptica Pasiva
- POP** Punto de Presencia
- POS** Paquete sobre SDH
- PPP** Protocolo Punto-a-Punto
- PRC** Reloj Referencia Primario
- PSTB** Phase Shifter Binary Transmission
- PSCF** Fibra con Núcleo Puro de Silicio
- PSTN** Red Pública Conmutada
- PVC** Circuito Virtual Permanente

- SDH/WDM** Jerarquía Digital Síncrona/Multiplexación División Longitud Onda
- SDH** Jerarquía Digital Síncrona
- SEQ** Shape Equalizer
- SiGe** SilicioGermanio
- SLA** Acuerdo Nivel Servicio
- SMF** Fibra Monomodo
- SML** Capa Gestión Servicio
- SNCP** Protección Conexión Sub-red
- SNMP** Protocolo Único Gestión Red
- SOA** Amplificador Semiconductor Óptico
- SOHO** Pequeña Oficina/Profesional Autónomo
- SONET** Red Óptica Síncrona
- SSL** Secure Cocket Layer
- SSMF** Fibra Monomodo Estándar
- SSU** Synchronization Supply Unit

- UBR** Velocidad Bit sin Especificar
- UMTS** Sistema Universal Telecomunicaciones Móviles
- USM** Gestor Servicio Usuario

**Q**

- QoS** Calidad de Servicio

**R**

- RAB** Caja Amplificador Remoto
- RDF** Reverse Disperion Fiber
- RM** Gestor Regional
- RMI** Invocación Método Remoto
- RNC** Controlador Red Radio
- RZ** Retorno a Cero

**T**

- TCP** Transmission Control Protocol
- TDM** Multiplexación División Tiempo
- TDMA** Acceso Múltiple División Tiempo
- TEQ** Tilt Equalizer
- TMF SSIM** TeleMangement Forum SONET/SDH Information Model
- TRIB** Tributario

**V**

- VC** Contenedor Virtual
- VoIP** Voz sobre IP
- VPN** Red Privada Virtual

**W**

- WADM** Multiplexor Inserción/Extracción de Longitud de Onda
- WDM** Multiplexación División Longitud de Onda
- WIXC** Wavelength Interchanging Cross-Connect
- WLA** Adaptador Longitud Onda
- WSXC** Transconector Selectivo Longitud de Onda

**S**

- SAP** Punto Acceso Servicio
- SBR** Sustainable Bit Rate

**X**

- xDSL** Línea Digital Abonado

- 2R** Receive, Reshape
- 3R** Reshaping, Retiming, Reamplifying

12/F, Tower A, Pacific Century Place  
 H. 24 Workers' Stadium  
 Road North  
 Chaoyang District  
 Beijing 100127  
 People's Republic of China  
 Tel: 86 10 65292000  
 Fax: 86 10 65292001  
 E-mail: kshellee.lin@alcatel.com.hk

24, rue La Boétie  
 75382 Paris Cedex 08 - France  
 Tel: 33 (0)1 40 20 72 42  
 Fax: 33 (0)1 40 20 72 20  
 E-mail: catherine.kamus@alcatel.fr

Isabelle Liu  
 Alcatel China

Andreas Ortel  
 Alcatel Telekom Rundschau  
 Alcatel

12/F, Tower A, Pacific Century Place  
 H. 24 Workers' Stadium  
 Road North  
 Chaoyang District  
 Beijing 100127  
 People's Republic of China  
 Tel: 86 10 65292000  
 Fax: 86 10 65292001  
 E-mail: kshellee.lin@alcatel.com.hk

Department 202 FF  
 70430 Stuttgart - Germany  
 Tel: (49) 711 851 448 00  
 Fax: (49) 711 851 440 22  
 E-mail: A.Ortel@alcatel.de

## Oficinas Editoriales

Cualquier asunto relacionado con las distintas ediciones de la Revista Internacional de Alcatel deberá dirigirse al director adecuado. Las peticiones de suscripción deben enviarse por fax o por correo electrónico.

**El número correspondiente al 4.º Trimestre de 2000 estará dedicado a «Acceso de Banda Ancha».**

### Edición inglesa / Edición francesa

**Catherine Camus**

*Revue des Télécommunications d'Alcatel*  
Alcatel

54, rue La Boétie  
75382 Paris Cedex 08 - France  
Tel.: 33 (0)1 40 76 13 48  
Fax: 33 (0)1 40 76 14 26  
E-mail:  
catherine.camus@alcatel.fr

### Edición alemana

**Andreas Ortelt**

*Alcatel Telecom Rundschau*  
Alcatel

Department ZOE/FP  
70430 Stuttgart - Germany  
Tel.: (49) 711 821 446 90  
Fax: (49) 711 821 460 55  
E-mail: A.Ortelt@alcatel.de

### Edición española

**Gustavo Arroyo**

*Revista de Telecomunicaciones de Alcatel*  
Alcatel

Ramírez de Prado 5  
28045 Madrid - España  
Tel.: (34-1) 91 330 49 06  
Fax: (34-1) 91 330 50 41  
E-mail:  
gustavo@alcatel.es

### Edición china

**Isabelle Liu**

*Alcatel China*

12/F, Tower A, Pacific Century Place  
Nº 2A Workers' Stadium  
Road North  
Chaoyang District  
Beijing 100027  
People's Republic of China  
Tél: 86 10 65392200  
Fax: 86 10 65392201  
E-mail: isabelle.Liu@alcatel.com.hk