

## LAS REDES OPTICAS

Rubén Carlos Tornero Cruzatt  
rubencarlos@mixmail.com

*Estudiante de Maestría de la FIE-UNMSM*

**Resumen:** El presente trabajo tiene por objetivo, analizar las redes ópticas las cuales permitirán prestar una amplia gama de servicios que surgirán gracias al desarrollo tecnológico mundial. De esta manera, hoy en día hay una gran variedad de demanda por nuevos servicios debido a la incorporación de nuevas aplicaciones que requieren mayor ancho de banda, los cuales cambiarán la forma en que se desarrollan las comunicaciones, el comercio, trabajo, educación, etc.

**Palabras Clave:** DWDM, TDM, SDH, SONET, OC-192, OADM, OXC.

### I. INTRODUCCIÓN

Con el desarrollo de nuevas aplicaciones y servicios, surgen nuevas necesidades lo cual motiva el desarrollo de nuevas tecnologías para satisfacerlas. Existe la necesidad de acercarse e informarse mediante medios eficientes de comunicaciones, significando esto, la tendencia a un mundo sin fronteras o lo que se denomina a una "Aldea Global".

En este contexto, surgen nuevas oportunidades, para lo cual es necesario tener información oportuna y confiable que permitirá tomar las decisiones adecuadas para afrontar los retos del mañana.

Así también, se tiene cada vez nuevos desafíos técnicos, como por ejemplo, la dificultad para integrar diferentes tecnologías y formatos de datos en una sola infraestructura física (voz, video, datos, IP, ATM, SONET/SDH, etc.), así como brindar calidad de servicio.

Con la disponibilidad masiva de la información, en algunos casos, se requiere tratar de controlarla de manera que no se violen los derechos de los usuarios, siendo esto un gran desafío normativo. Más aún, actualmente tecnológicamente es difícil de lograrlo, pero hay muchas expectativas que la solución se alcance con el empleo de las redes ópticas.

### II. TENDENCIA DE LAS EMPRESAS DE TELECOMUNICACIONES

Los usuarios, solicitan distintos servicios, pero tienen algo en común, requieren de la comunicación para lograr un desempeño eficiente. La industria de las Telecomunicaciones trata de satisfacer estos requerimientos, es sin duda una industria estratégica que promueve el desarrollo en los países e integra el mundo. Se requiere redes de comunicación eficientes, permitiendo la interconexión rápida, confiable, barata, segura, etc.

La necesidad de un ancho de banda suficiente, para transmitir las nuevas aplicaciones multimedia (voz, datos, vídeo) y la expansión de Internet, ha impulsado a las empresas operadoras de Telecomunicaciones a buscar soluciones en las redes ópticas.

Hoy se observa, como todas las empresas portadoras instalan sus redes usando la fibra óptica en la troncal de su infraestructura debido a la gran capacidad de transmisión del networking fotónico, que permite ofrecer cientos de veces más ancho de banda frente a las redes tradicionales.

Últimamente, se está observando que las empresas de Telecomunicaciones manifiestan tendencias a:

- Formar alianzas, absorberse o fusionarse.
- Converger a los servicios IP (networking).
- Construir backbones con redes ópticas.
- Integrar servicios.
- Brindar servicios adicionales.
- Mejorar la calidad del servicio.
- Abaratar costos como consecuencia del libre mercado.

La tendencia de las empresas de Telecomunicaciones es fortificarse en el mercado de transmisión a través de fibra óptica el cual se ha convertido en estratégico, en muchos casos, las más recientes adquisiciones de compañías han venido motivadas por la importancia de hacerse fuerte en esta área. Así, por ejemplo se puede mencionar a:

**Marconi**, Consideran que el mercado de fibra óptica es estratégico. La compañía disponía sólo de soluciones Multiplexión por Longitud de Onda Densa (DWDM) y

Jerarquía Digital Síncrona (SDH), pero al adquirir las empresas Fore Systems y Reltec, se ha potenciado para desarrollar soluciones de IP sobre DWDM a una gama de soluciones de fibra óptica.

**Nortel Networks**, ha iniciado una carrera por adquirir compañías relacionadas con las redes ópticas. Recientemente, ha anunciado la adquisición de la compañía australiana Photonic Technologies. A finales del 2000 había adquirido al fabricante Qtera y en marzo del 2001 adquirió la compañía de conmutación fotónica Xros y al proveedor de componentes CoreTek. Es más, para consolidarse en esta área, recientemente ha creado la unidad de Componentes Ópticos de Alto Rendimiento

**Cisco**, en el año 2000 adquirió Monterey Networks, fabricante de conectores de cruces ópticos (optical cross-connect); Cerent, dedicada a conmutación óptica y Pirelli dedicada a DWDM. Adicionalmente, en noviembre del 2000 Corning anunció que se ha unido a Cisco para crear equipos ópticos para Internet. Se pretende combinar la fibra óptica de Corning con la posición líder de Cisco en proveer redes IP. Cisco y Corning desarrollaran el equipamiento necesario para permitir disminuir el tiempo de acceso a Internet y los costos de acceso a los proveedores de servicio de Internet.

**Lucent Technologies**, otro de los tradicionales grandes del sector de las telecomunicaciones, compró Ortel, especializada en el equipamiento de fibra óptica para transmisiones de vídeo. Algunas de las operadoras que recurren a las redes ópticas de Lucent son: AT&T, BT, Deutsche Telekom, Global Crossing, KPN, Telefónica.

**Alcatel**, una de principales características de Alcatel es su presencia en el mercado de redes submarinas, en el que sus rivales más directos (Nortel, Lucent o Cisco) no cuentan con alternativas. Alcatel es la única de las grandes compañías que dispone de soluciones tanto en redes ópticas terrestres como submarinas.

**Telecom Italia**, el principal operador italiano de telecomunicaciones y Alcatel, líder mundial en redes de telecomunicaciones ópticas inteligentes, firmaron un contrato por valor de 110 millones de euros para el suministro de sistemas de transmisión SDH. Supervisados por una única plataforma de gestión de red, estos sistemas serán desplegados en las diez zonas regionales de Telecom Italia. Esta ampliación, que estará operativa a partir de 2002, aumentará considerablemente la capacidad y eficacia de la red de Telecom Italia, ofertando todas las funcionalidades IP y ATM para ampliar la gama de servicios de datos y de conexiones a Internet de alta velocidad. Alcatel suministrará sus nodos multiservicio SDH perteneciente a su gama de productos Optinex™ de soluciones de transmisión para operadores. Proporcionando una capacidad de 10 Gbit/s, se permitirá la transmisión simultánea de más de 120.000

conversaciones telefónicas, favoreciendo de este modo el aumento del tráfico en las infraestructuras regionales de Telecom Italia. Estos sistemas pueden evolucionar hacia funciones de enrutamiento IP y de direccionamiento ATM para ofrecer servicios abiertos, transportando simultáneamente voz y datos.

**Intel**, el mayor fabricante mundial de chips, aunque no es una empresa de telecomunicaciones, ha decidido adquirir tres de las compañías privadas que fabrican componentes para sus equipos de redes ópticas (26 de abril del 2001). El precio de la compra de Newark, un fabricante de equipos transformadores de señales ópticas y digitales, con sede en California, ha ascendido a 400 millones de dólares, según anunció un portavoz de Intel. Otra de sus adquisiciones, nSerial, le ha supuesto un desembolso a Intel de 66 millones de dólares. Esta compañía, con sede en Santa Clara, California, se dedica a la construcción de componentes electrónicos de alta velocidad que convierten las señales eléctricas en el lenguaje utilizado por los aparatos de red. Intel no ha anunciado cuál será la cantidad a pagar por su tercera adquisición, Cognet, una compañía con sede en Los Ángeles, que se ocupa de la fabricación de equipos que procesan las señales eléctricas en módulos ópticos después de que estas señales hayan sido extraídas de ondas de luz, según el mismo portavoz. Estas adquisiciones completan la lista de 16 que Intel ha acumulado en lo que va de año. La mayoría de las nuevas empresas incorporadas se dedican a la industria de redes. [20a. Conferencia anual de Newport, 1997]

Para satisfacer estas necesidades y ser eficientes, estas empresas requerirán:

- Mayor ancho de banda, para transmitir las nuevas aplicaciones.
- Eficiencia en costos.
- Fiabilidad.
- Flexibilidad, soporte multiprotocolo.
- Fácil instalación y administración.

### III. LAS REDES ÓPTICAS

En la presente sección se enfoca las Perspectivas, los Avances Tecnológicos más importantes y los Sistemas de Comunicación Óptico.

#### 3.1 Perspectiva

Debido al cuello de botella de la electrónica producida por la conversión óptica a eléctrica y viceversa, estos sistemas se implementaran sobre DWDM. Se introducirá una mayor funcionalidad en la capa óptica, transformando los sistemas de transmisión de punto a punto convencionales en redes ópticas flexibles. Habrá una gran demanda de nuevos componentes ópticos a fin de satisfacer las necesidades de tales sistemas. El desarrollo de nuevos dispositivos

fonónicos está creciendo a una gran velocidad y la integración de los componentes fonónicos y de la fonónica con la electrónica continuará reduciendo los costos e incrementando la funcionalidad de los dispositivos fonónicos.

En las redes ópticas los objetivos perseguidos son:

- Disponer de una Capa de Red completamente óptica, flexible y reconfigurable;
- Fácil de administrar;
- Implementar Sistemas Terabit.

Las dificultades son:

- El flujo de datos encuentra cuellos de botella en las tecnologías de interfase eléctrico-óptico;
- Compatibilidad de protocolos y formatos;
- Limitaciones físicas y económicas.

### 3.2 Avances Tecnológicos

Los avances tecnológicos son los siguientes:

- Mejoras a la fibra óptica, tendencia a la no linealidad;
- Láser de longitud de onda seleccionable de haz estrecho;
- Amplificadores ópticos;
- Múltiplexión por longitud de onda DWDM;
- OADM: Multiplexor de adición-abandono;
- OXC: optical cross-connect.

### 3.3 Bandas o Ventanas en la Fibra Óptica

Son regiones del espectro óptico, donde la atenuación óptica es menor, se ubican cerca de áreas de gran absorción, hasta hoy se ha trabajado en 4 ventanas. La primera ventana fue la región ubicada en los 850nm, la segunda ventana opera a 1310 nm y es conocida como la Banda S la cual tiene menos dispersión, la tercera ventana llamada Banda C a 1550 nm la cual tiene menos atenuación, la cuarta ventana conocida como Banda L, opera a 1625 nm y también tiene menos atenuación.

### 3.4 Tipos de Fibra Óptica

**Multimodo;** Fue el primer tipo de fibra en ser comercializado. Está limitada para aplicaciones de menores distancias de transmisión (comparado con la fibra monomodo). Hay dos subtipos:

**Multimodo de Índice Abrupto;** Son aquellas que tienen el índice de refracción a lo largo del núcleo, constante y cambia abruptamente en la frontera núcleo-cubierta óptica. En estas fibras, el haz de luz se propaga en diferentes modos (trayectorias). La fibra de índice abrupto presenta un problema serio: la dispersión multimodal. Ver figura 1.

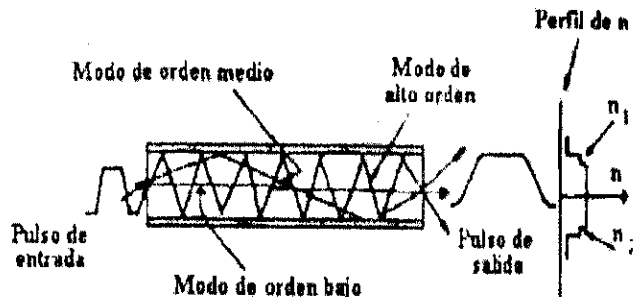


Figura 1. Fibra Multimodo de índice Abrupto

**Multimodo de Índice Gradual;** Como se sabe, la velocidad de propagación en la fibra depende del índice de refracción ( $v=c/n$ ). Se puede hacer un núcleo, cuyo índice disminuya conforme se acerca a la cubierta óptica, para que la velocidad de los rayos de luz aumente conforme se alejan del núcleo, con el objeto de lograr que los rayos de modo alto lleguen al mismo tiempo que los rayos de modo bajo en el otro extremo de la fibra. Al hacer esto, se logra una considerable disminución de la dispersión multimodal (ver figura 2).

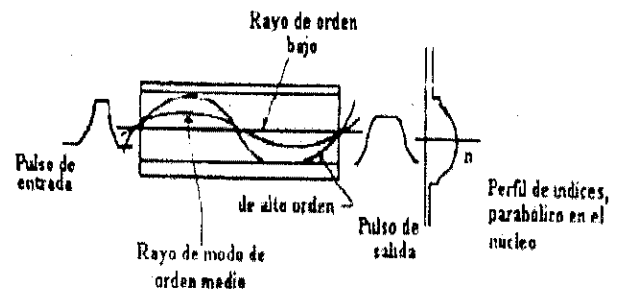


Figura 2. Dispersión Cromática y Perfil del Índice de Refracción

**Monomodo;** presenta mejores características, son preferidas para aplicaciones de larga distancia y mayor ancho de banda, incluyendo DWDM. El diseño de estas fibras, se ha desarrollado por años, entre ellas tenemos:

**Fibra Desplazada de No-Dispersión (NDSF);** Comúnmente llamado Estándar Single Mode (SM), fueron diseñados para operar en la ventana de los 1310 nm (bandas). Constituyen un 95% de la fibra instalada actualmente en el mundo. Es adecuada para TDM (un canal) en la región de 1310 nm o para DWDM en la región de 1550nm (con compensadores de dispersión). Aquí se propaga un solo modo, para reducir la dispersión multimodal a cero. Esto se logra reduciendo el diámetro del núcleo y eligiendo la relación de índices de refracción del núcleo y la cubierta óptica (ver figura 3). De esta manera pueden llevar información de mayor velocidad que la fibra multimodo de índice abrupto. Para optimizar el desempeño de la fibra en esta ventana, la fibra fue diseñada de manera que la dispersión cromática sea cercana a cero, cerca de los 1310 nm [Jardón Aguilar, et. All 1998].

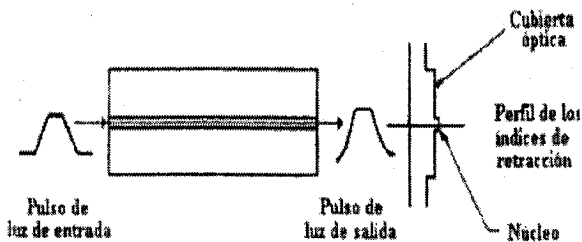


Figura 3. Dispersión Cromática y Perfil del Índice de Refracción

Debido a que el uso de la fibra óptica es cada día más común y que por lo tanto aumentan las necesidades de mayor ancho de banda y distancias, se pasó a investigar una nueva ventana en los 1550 nm (banda C). Se encontró que la atenuación es menor en el intervalo de 1.5 a 1.6  $\mu\text{m}$ , pero la dispersión es diferente de 0dB. La solución es hacer una construcción modificada, especial de la fibra, tal que el punto de dispersión cero se mueva a la región de 1.5 a 1.6  $\mu\text{m}$  o se aplane en la región de 1.3-1.6  $\mu\text{m}$  [Jardón Aguilar, et. All 1998].

**Fibra de Dispersión Desplazada (DSF);** Es adecuado para su uso en TDM en la región de 1550 nm., pero es inadecuado en DWDM en esa región. La banda C ofrece dos ventajas, mucho menos atenuación y su frecuencia es la misma que la del nuevo amplificador de fibra dopado con Erblio (EDFAs). Sin embargo, su característica de dispersión tiene una gran limitación el cual fue superado con láser de estrecho ancho de haz y altas potencias de emisión.

Debido a su característica de baja dispersión, se crea la fibra DSF el cual es una construcción modificada, especial de la fibra, tal que el punto de dispersión cero se mueva a la región de 1.5 a 1.6  $\mu\text{m}$ . Esto se logra variando el índice de refracción del núcleo, de acuerdo a un perfil triangular, manteniendo baja la atenuación (ver figura 4). Pero sucede que no hay linealidades ópticas en la fibra cercanas al punto de dispersión cero, para el cual no hay una compensación efectiva.

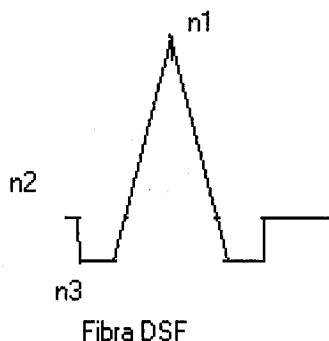


Figura 4. Perfil de Índice de Refracción para la Fibra DSF Debido a este comportamiento, la fibra DSF no es adecuada para DWDM [Jardón Aguilar, et. All 1998].

**Fibra de Dispersión Aplanada;** para aplanar la característica de dispersión como función de la longitud de onda en la región de 1.3-1.6  $\mu\text{m}$ , se suele usar un perfil fraccionado como vemos en la figura 5 [Corning, <http://www.corningfiber.com>].

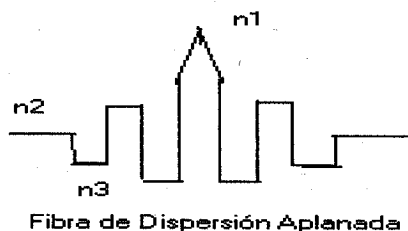


Figura 5. Perfil de una Fibra de Dispersión Aplanada

Una ilustración de la dispersión cromática de estas fibras se muestra en la figura 6.

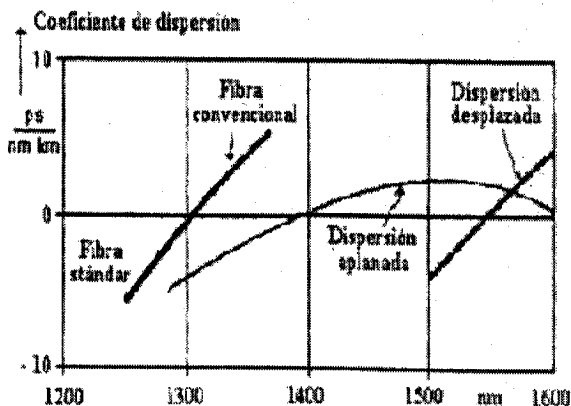


Figura 6. Desplazamiento de la Dispersión en la Fibra Óptica

**Fibra de Dispersión Desplazada-Dispersión No Cero (Nz-Dsf);** Adecuada para TDM y DWDM en la región de 1550nm. Fue diseñada para reunir las necesidades de aplicaciones de DWDM. La idea es tener una baja dispersión en la región de 1550nm, pero no cero. De esta manera se introduce una pequeña cantidad controlada de dispersión, el cual se opone a los efectos no lineales de la "Mezcla de Cuatro Ondas" (Figura 7) (four-wave mixing)[Lucent Technologies, <http://www.lucent.com/2001>].

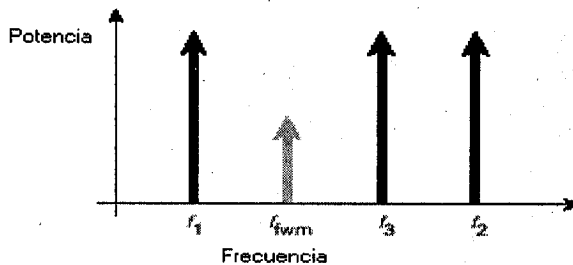


Figura 7. Mezcla de Cuatro Ondas

*Fibra de Compensación de la Distorsión Convencional (cDCF)*; para sistemas que transportan 10 Gbps usando fibras NDSF, se requieren compensadores de dispersión en tramos de 80 Km (Puesto que la dispersión cromática de la fibra aumenta con el cuadrado del incremento de la tasa de bits transmitidos). Estas fibras tienen un coeficiente de dispersión negativo. Ver figura 8. [Lucent Technologies, TrueWave, <http://www.lucent.com/> 2001].

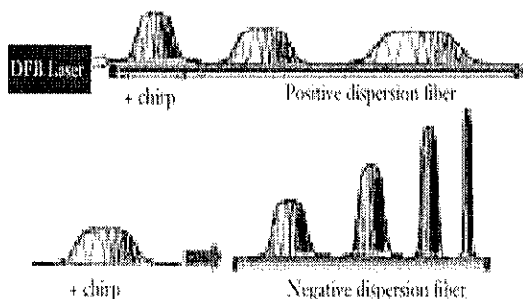


Figura 8. Dispersión Cromática Negativa

### 3.5 Láser Sintonizable

El láser sintonizable está surgiendo como una solución que reducirá el número de láser necesario, al tiempo que llevará los sistemas DWDM y de conmutación al siguiente nivel de flexibilidad de la red.

La función del láser sintonizable está pensado para las redes ópticas inteligentes de la próxima generación, las cuales han sido creadas para reducir costes y permitir el suministro de servicios de la nueva generación, tales como prestación de ancho de banda, ancho de banda a petición, y conmutación de paquetes. Esta función permitirá aislar, dirigir y gestionar longitudes de onda individuales. El láser sintonizable reducirá los costes operativos y la complejidad.

Jay Patel, analista jefe de The Yankee Group pronostica que el mercado mundial de los láseres sintonizables crecerá de US\$50 millones en 2001 a US\$2.320 millones en 2005. Por otro lado Brian McFadden, presidente de Metro Optical, Nortel Networks, 2001 afirma que Los sistemas sintonizables serán un requisito esencial de las futuras redes metropolitanas.

### 3.6 Amplificadores Ópticos y el Amplificador de Fibra Dopado con Erblio (Edfa)

Los OA han hecho posibles amplificar todas las longitudes de onda de una fibra con un solo OA, sin conversión óptica-eléctrica-óptica (OEO). Debido a la atenuación, hay límites del tamaño del segmento de fibra para propagar una señal con integridad antes de que tenga que ser regenerada. A pesar del uso de los amplificadores ópticos (OA), se tiene que usar un repetidor, cuando las distancias son muy grandes.

Además de ser usados en enlaces ópticos, los OA también pueden ser usados para ayudar a la señal antes o después de ser Demultiplexados, pues en ambos casos podría introducir pérdidas al sistema.

### 3.7 EDFA

El erbio es un elemento (tierra rara) que, cuando es excitada, emite luz alrededor de los  $1.54 \cdot \mu\text{m}$ —la longitud de onda de baja pérdida para fibras ópticas usadas en DWDM, la figura 9 muestra un diagrama simplificado de un EDFA.

Una señal débil entra en la fibra dopada con erbio, en la que se inyecta luz a 980 nm o 1480 nm usando una bomba láser. Esta luz inyectada estimula los átomos de erbio liberando su energía almacenada como una luz adicional de 1550 nm. Mientras este proceso continúe a lo largo de la fibra, la señal se hace más fuerte. Las emisiones espontáneas en el EDFA también añade ruido a la señal, esto determina la figura de ruido de un EDFA.

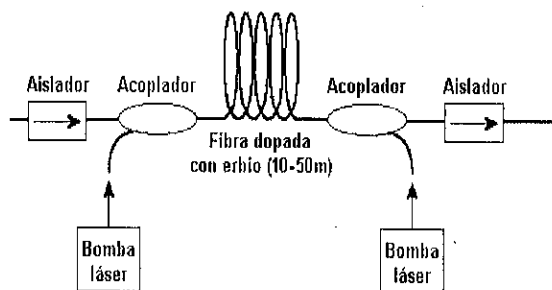


Figura 9. Amplificador Dopado con Erblio

Los parámetros clave de desarrollo de los OA son ganancia, ganancia plana, nivel de ruido, y la potencia de salida. Los EDFA son típicamente capaces de ganancias de 30 dB o más y una potencia de salida de +17 dB o más. [Cisco Systems, <http://www.cisco.com/>, 2001].

### 3.8 Multiplexores Ópticos de Adición/Abandono (OADM)

Un OADM remueve o inserta una o más longitudes de onda en algún punto de la fibra óptica. En vez de combinar o separar todas las longitudes de onda, los OADM pueden remover algunas mientras pasan otras. Los OADM son una pieza clave hacia el objetivo común de todas las redes ópticas. Los OADM son seleccionadas en muchos aspectos al ADM de SONET, excepto que sólo las longitudes de onda ópticas son añadidas o dejadas, sin que se realice ninguna conversión de óptica a eléctrica en la señal.

La figura 10 es un esquema que representa el proceso de añadir-dejar, este ejemplo incluye tanto una pre como una post amplificación, estos componentes pueden o no estar presentes en un OADM, dependiendo de su diseño. [Cisco Systems, <http://www.cisco.com/>, 2001].

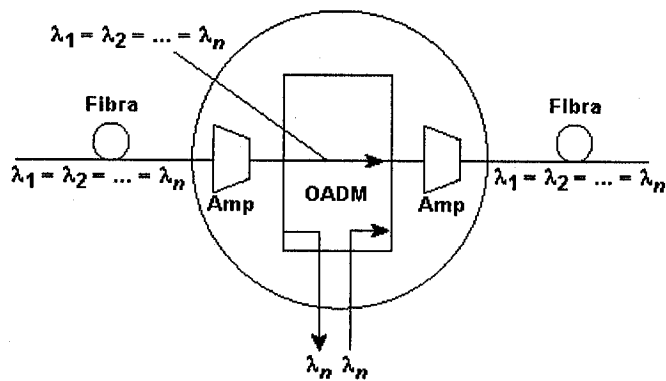


Figura 10. Retiro o Adición Selectivo de Longitudes de Onda

### 3.9 Conectores de Cruce Ópticos (Oxc)

El conector de cruce óptico (OXC) es un nodo de red, que posee varias fibras de entrada y varias de salida. Tiene la capacidad de enrutar un canal de comunicación hacia una de las varias fibras de salida.

Los puntos de salida de la red óptica pueden estar en los niveles DS-3, OC-3 o OC-12. Por esta razón es útil asegurarse que estos ductos estén llenos de tráfico cuando ellos salgan del sistema OXC. Cuando hay 40 canales multiplexados en una fibra (por ejemplo), se necesita que un dispositivo pueda aceptar varios canales de entrada y que pueda enrutarlos a los puertos de salida apropiados en la red. Para lograr esto, el OXC (figura 11) necesita tres bloques:

1. Conmutación de fibra, es la capacidad de poder enrutar la longitud de onda específica de una fibra entrante a diferentes fibras a la salida.
2. Conmutación de longitud de onda, es la capacidad de cambiar específicas longitudes de onda de una fibra entrante a múltiples longitudes de onda en las fibras de salida (en diferentes canales).
3. Conversión de longitud de onda, la capacidad de tomar longitudes de onda entrantes y convertirlas ellas a otra longitud de onda específica sobre el puerto de salida para un mismo canal.

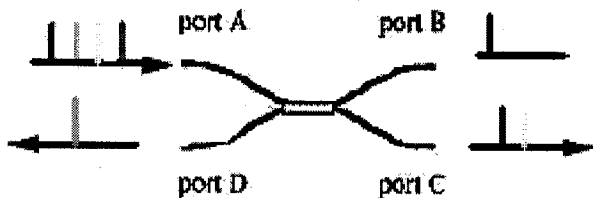


Figura 11. OXC

El OXC juega un rol muy importante en las redes ópticas del futuro, entre las expectativas que se tienen están: monitoreo confiable de señal, participación en el proceso de restauración en la capa óptica y limpieza, capacidad de manejar mas puertos de entrada y salida.

## IV. SISTEMAS DE COMUNICACIONES OPTICAS SONET Y SDH

La industria de las telecomunicaciones adoptó el estándar Red Óptica Síncrona (SONET) o la Jerarquía Digital Síncrona (SDH) para el transporte óptico de datos de TDM. SONET, fue usado en América del Norte, y SDH, en Europa, son dos normas estrechamente relacionadas que especifican parámetros de interfase, velocidades, ideando formatos, métodos del y administración para TDM síncrona sobre la fibra.

SONET/SDH toman flujos de bits, los multiplexan y ópticamente modulan la señal y la envían fuera usando un dispositivo emisor de luz sobre la fibra con una tasa de bits igual a  $n$ . Así el tráfico que llega al multiplexor de SONET de cuatro lugares a 2.5 Gbps saldrá como un solo flujo a  $4 \times 2.5$  Gbps, o 10 Gbps.

### 4.1 Jerarquía de Multiplexión Sonet/Sdh

La unidad original usada en llamadas telefónicas es 64 kbps que representa una llamada telefónica. Al multiplexar 24 (en América del Norte) o 32 (fuera de América del Norte) de estas unidades usando TDM, resulta una señal con una tasa de bits más alta con una velocidad de 1.544 Mbps o 2.048 Mbps para la transmisión sobre las líneas T1 o E1 respectivamente. La jerarquía para llamadas telefónicas se muestra en la Tabla 1:

Tabla 1. Jerarquía de TDM

Jerarquía de Multiplexión	Tasa de bits	Slot de Voz
DS0	64 kbps	1 DS0
DS1	1.544 Mbps	24 DS0s
DS2	6.312 Mbps	96 DS0s

Estos son los bloques básicos usados por SONET/SDH para multiplexar en una jerarquía estándar de velocidades, tal como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Jerarquía de SONET/SDH

Portadora	Señal SONET/SDH	Tasa Mbps	CAPACIDAD
OC-1	STS-1	51.84	28 DS1s o 1 DS3
OC-3	STS-3/STM-1	155.52	84 DS1s o 3 DS3s
OC-12	STS-12/STM-4	622.08	336 DS1s o 12 DS3s
OC-48	STS-48/STM-16	2488.32	1344 DS1s o 48 DS3s
OC-192	STS-92/STM-64	9953.28	5379 DS1s o 192 DS3s

### 4.2 DWDM (División de Longitud de Onda Densa)

La División de Longitud de Onda Densa (DWDM) es una técnica de la transmisión por fibra óptica que emplea diferentes longitudes de onda para transmitir datos, voz y video a través de una sola fibra (figura 12).

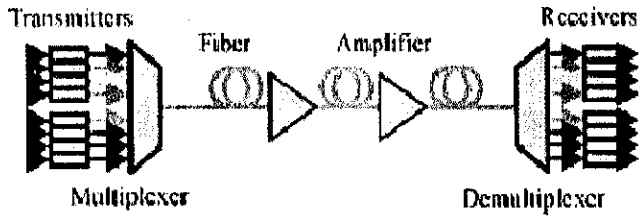


Figura 12. Sistema DWDM

DWDM asigna canales ópticos entrantes a las frecuencias específicas de luz (longitudes de onda, o lambdas) que proceden de diferentes fibras ópticas, dentro de una cierta banda de frecuencia y luego las junta (multiplexa) convirtiéndolas en un solo haz de luz.

Consideremos una analogía con una carretera donde una fibra puede pensarse de como una carretera de múltiples vías como en la figura 13. Los sistemas de TDM tradicionales usan una sola vía de esta carretera e incrementan su capacidad moviéndose más rápidamente en esa vía. En redes ópticas, utilizando DWDM, es análogo a acceder a las vías sin usar en la carretera (aumentando el número de longitudes de onda en la fibra) para ganar acceso a una cantidad increíble de capacidad sin explotar en la fibra. Un beneficio adicional es que la carretera es indiferente al tipo de tráfico que viaja en él. Por consiguiente, los vehículos en la carretera pueden llevar paquetes ATM, SONET e IP.

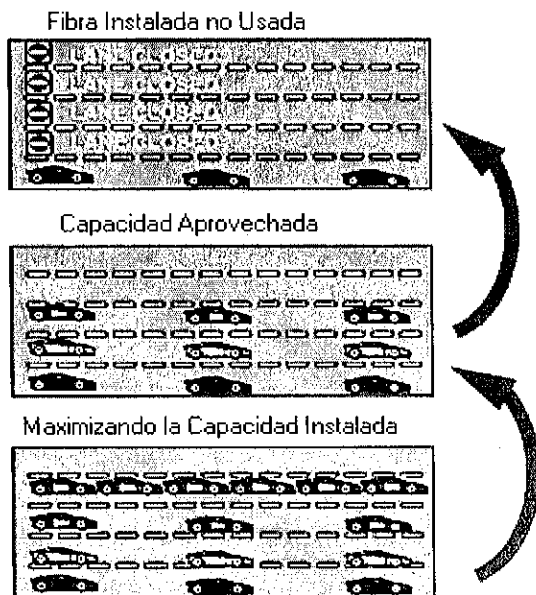


Figura 13. Analogía con una Carretera y la Capacidad Inherente de la Fibra no Aprovechada

### 4.2.1 La Capa Óptica Como la Capa Unificadora

Aparte de la enorme capacidad ganada a través de la red óptica, la capa óptica proporciona los únicos medios a los portadores para integrar las diversas tecnologías de redes existentes en una infraestructura física. Los sistemas de DWDM son independientes de la tasa de bits y formato y pueden aceptar cualquier combinación de tasa de interfase (síncrono, asíncrono, OC-3, OC-12, OC-48, o OC-192) en la misma fibra al mismo tiempo.

### 4.2.2 Una Red Completamente Óptica

El concepto de una red totalmente óptica implica que el proveedor de servicios tendrá acceso a tráfico de varios nodos de la red. Los OWAD (adición/abandono de longitudes de onda ópticas) ofrecen tal capacidad, donde se agregan longitudes de onda o se dejan a ó de una fibra, sin requerir un terminal SONET. Combinado con OWAD y DWDM, el cross-connect (OXC) ofrecerá a los proveedores de servicio la habilidad de crear una red óptica flexible, de alta capacidad y eficaz con una administración completamente óptica del ancho de banda.

Estas tecnologías son la realidad de hoy: DWDM se ha utilizado en redes de larga distancia desde 1995, OWAD esta disponible desde 1998, y el primer OXC fue mostrado en convenciones de industria en 1997. La figura 14 muestra la evolución de la capa óptica. [Fiberspace.2001 <http://www.fiberspace.net>]

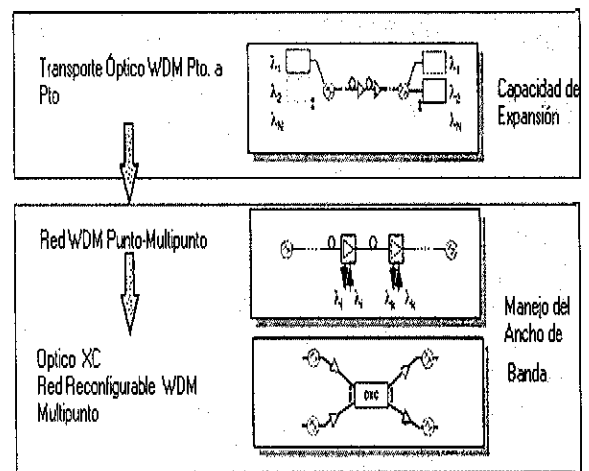


Figura 14. Evolución de la Capa Óptica.

### 4.2.3 Actualizaciones: SONET con DWDM

Usando DWDM como un transporte para TDM, las inversiones existentes de equipo SONET pueden ser preservados. Los equipos de SONET pueden ser evitados completamente uniendo directamente al equipo DWDM desde ATM y switches, donde interfaces OC-48 son comunes, la figura 15 ilustra la idea.

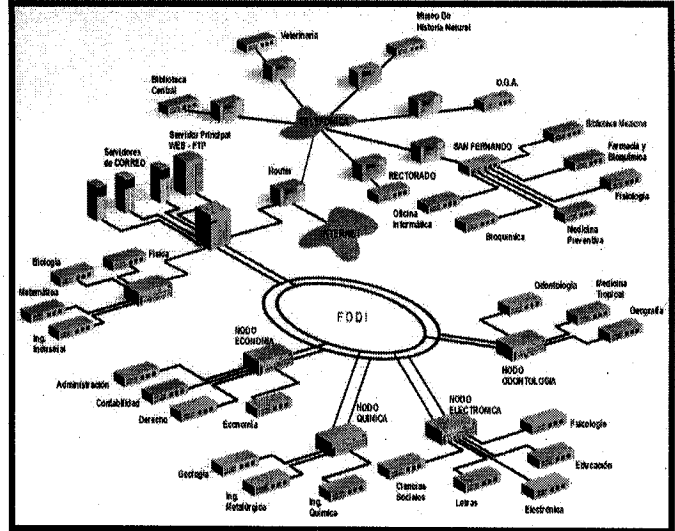
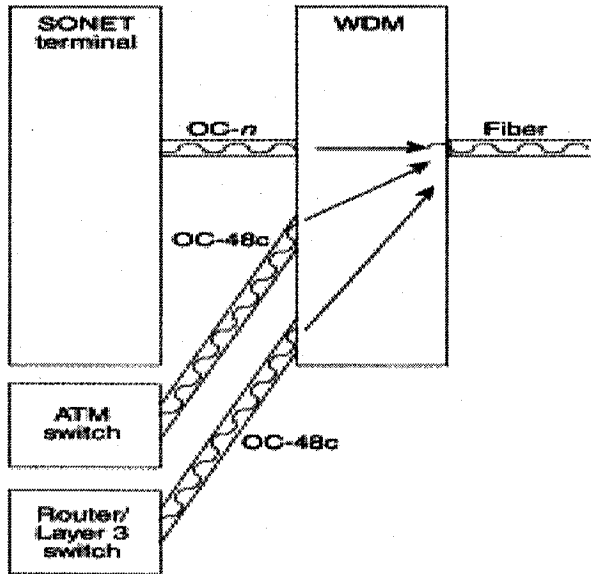


Figura 16. Red Óptica de la UNMSM. [Cortesía de la Red Telemática, UNMSM, 2001].

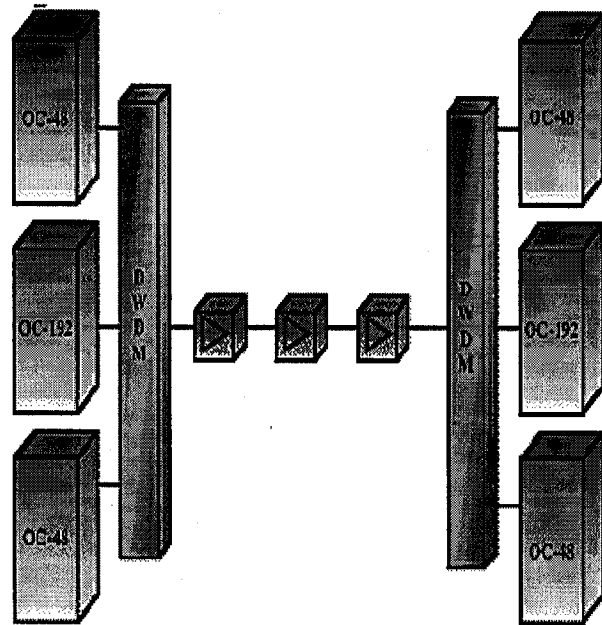


Figura 15. Actualizando con DWDM.

## V. LA RED ÓPTICA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

La UNMSM, cuenta con una red óptica, la cual enlaza todas las facultades de la Ciudad Universitaria, y las facultades que se hallan fuera de ésta, como lo son las escuelas de Medicina Humana, Medicina Veterinaria, la Oficina General de Admisión, el Centro Pre-Universitario CEPUSM, Museo de Historia Natural, entre otros (ver figura 16), contando con la infraestructura para la implementación de servicios que requieren gran ancho de banda.

## VI CONCLUSIONES

- La implementación de las nuevas tecnologías permitirán brindar un mayor número de servicios, surgidos en un mundo globalizado, e informatizado, cambiando la manera tradicional en que se efectuaban las comunicaciones, el comercio, trabajo, educación, etc.
- La técnica DWDM ofrece hoy en día una manera económica de aumentar la capacidad de la infraestructura existente, para la prestación de los nuevos servicios.
- Con el desarrollo tecnológico, cada vez se va logrando la implementación de una capa completamente óptica de muy alta velocidad y capacidad, la cual no necesitará de la electrónica.
- Una vez que la tecnología DWDM sobrepase el marco de aplicación de las conexiones punto a punto, los OADMs y OXC's serán usados masivamente en las redes metropolitanas.
- El desarrollo tecnológico, permite el reducir los costos, haciendo más asequible el uso de estas tecnologías, siendo DWDM una de las tecnologías que se implementará próximamente, para redes de alta velocidad.



**VII. BIBLIOGRAFÍA**

- Fiber Optics Networks, Prentice Hall, 1993, P.E. Green.  
Instalaciones de Fibra Óptica, Chomy CZ. BOB.  
Sistemas de Comunicaciones por Fibras Ópticas, Jardón Aguilar / Linares y Miranda, 1996.  
Redes de Computadoras, Andrew Tanenbaum.  
Nortel Networks. <http://www.nortelnetworks.com/>  
Alcatel. <http://www.alcatel.com> octubre-2001.  
Lucent Technologies (Bell Labs) <http://www.lucent.com/> octubre-2001.  
Cisco : <http://www.cisco.com/> octubre-2001.  
Corning. <http://www.corningfiber.com> octubre-2001.  
Fiberspace. <http://www.fiberspace.net/> noviembre-2001.  
Tsunami. <http://www.tsunamioptics.com/> diciembre-2001.  
BFI Optilas,S.A (R.Fernández Rojo.Jefe de Productos) .  
20a. Conferencia anual de Newport sobre mercados de fibra óptica de KMI en Newport, R.I., el 21 de octubre de 1997.