



# Universidad Austral de Chile

---

Facultad de Ciencias de la Ingeniería  
Escuela de Electricidad y Electrónica

## Análisis de la Tecnología IP sobre WDM

Trabajo de Titulación para optar al  
**Título de Ingeniero Electrónico**

Profesor Patrocinante:  
**Sr. José Mardones Fernández**

César Arsenio García Barría

Valdivia 2006

**Profesor Patrocinante:**

Sr. José Mardones Fernández

---

**Profesores Informantes:**

Sr. Néstor Fierro Morineaud

---

Sr. Pedro Rey Clericus

---

**Fecha Examen de Titulación**

25 de Agosto de 2006

**Agradecimientos:**

*Agradezco a todos aquellos que con su apoyo lograron que este objetivo se cumpla, principalmente a mis padres y mi familia que sin su incondicional afecto no lo hubiera sido posible culminar esta meta y también a mis amigos los cuales me han apoyado en toda circunstancia en que nos ha puesto la vida....*

## INDICE

OBJETIVOS.....	7
Objetivos Generales .....	7
Objetivos Específicos.....	7
RESUMEN.....	8
ABSTRACT .....	9
INTRODUCCIÓN.....	10
1.1 Evolución de las comunicaciones.....	11
1.2 Transmisión por Fibra óptica.....	11
1.3 Tipos de Fibra Óptica .....	12
1.3.1 Fibra Monomodo.....	12
1.3.2 Fibra Multimodo de Índice Gradiente Gradual.....	13
1.3.3 Fibra Multimodo de índice escalonado .....	13
1.4 Atenuación de la señal óptica. ....	15
1.5 Que es WDM ( Wavelength Division Multiplexing). ....	17
1.6 Tecnología DWDM (Multiplexión Densa por División de Longitud de onda). ....	18
2.0 Evolución de las redes .....	22
2.1 Historia de Internet. ....	22
2.2 Historia fibra óptica.....	25
2.3 ATM (Asynchronous Transfer Mode).....	26
2.3.1 Ventajas y desventajas de ATM.....	27
2.4 SDH (Synchronous Digital Hierarchy) .....	28
2.4.1 Estructura de la trama STM-1 .....	29
2.4.2 Ventajas y desventajas de SDH.....	29
2.5 IP sobre ATM sobre SDH y sobre WDM. ....	31
2.5.1 Protocolo IP.....	31
2.5.1.1 IP v4 .....	33
2.5.1.2 IP v6 .....	33
2.6 Evolución hacia las redes IP/WDM.....	35
2.6.1 IP / ATM .....	36
2.6.2 IP / SDH .....	40

2.6.3	Ethernet y GbEthernet.....	41
3.0	IP sobre WDM.....	46
3.1	Redes de Telecomunicaciones Ópticas.....	46
3.2	Multiplexación por División de Longitudes de Onda (WDM).....	47
3.2.1	Características del funcionamiento WDM. ....	48
3.2.2	Normas UIT para WDM. ....	50
3.3	Componentes de una red óptica.....	51
3.3.1	Amplificadores ópticos EDFA (Erbium-Doped Fiber Amplifiers). ....	51
3.3.2	Multiplexores de Inserción/Extracción (OADM). ....	52
3.3.3	Conmutadores ópticos (OXC).....	54
3.3.4	Routers de altas prestaciones. ....	55
3.4	Arquitecturas de redes ópticas WDM.....	58
3.5	Integración de la transmisión óptica con la capa IP. ....	58
3.6	Calidad de servicio en redes IP.....	59
3.6.1	MPLS .....	61
3.6.2	DiffServ.....	63
4.0	Comparación de las tecnologías de Internet con IP/WDM. ....	67
4.1	SDH v/s WDM. ....	67
4.2	ATM y IP/ATM vs IP/WDM. ....	68
4.3	SDH y IP/SDH vs IP/WDM. ....	70
4.4	Tipos de tecnologías WDM.....	71
4.4.1	CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing). ....	72
4.4.1.1	Hasta 18 longitudes de onda. ....	72
4.4.1.2	Estándar ITU G.694.2. ....	72
4.4.2	DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing). ....	74
4.4.2.1	Estándar ITU – T G.692.....	75
4.4.2.2	Diferentes generaciones de redes DWDM. ....	76
4.4.3	Diferencias entre DWDM y CWDM. ....	77
5.0	CONCLUSIONES.....	79
6.0	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS. ....	81
7.0	ANEXO. ....	82

## ÍNDICE FIGURAS

1.2-a:	Transmisión óptica. ....	11
1.2-b:	Capas fibra óptica.....	12
1.3.3-a:	Tipos de fibra.....	14
1.4-a:	Atenuación señal óptica. ....	16
1.4-b:	Identificación de frecuencias en la banda C.....	17
1.5-a:	Canales WDM en fibra.....	18
1.6-a:	DWDM de 8 Canales. ....	20
1.6-b:	Sistemas de Comunicación de Fibra Óptica Tradicional y WDM.....	21
2.5-a:	Arquitectura actual de las redes de datos. ....	31
2.6-a:	Evolución hacia IP/WDM .....	36
2.6.1-a:	Diferencia topología física ATM con topología lógica IP. ....	38
2.6.1-b:	Backbone ATM.....	39
3.2-a:	Conversión longitud de onda en canal WDM. ....	48
3.3-a:	Componentes de una red óptica .....	51
3.3.1-a:	Ejemplo de utilización de amplificadores ópticos.....	52
3.3.2-a:	Multiplexor OADM.....	53
3.3.2-b:	OADM espalda-espalda .....	53
3.3.2-c:	Utilización OADM: inserción / extracción en longitud de onda.....	54
3.3.3-a:	Conmutador óptico (OXC).....	54
4.1-a:	Comparación SDH con WDM .....	68
4.2-a:	Tecnología WDM, representada como tráfico automovilístico. ....	70
4.4.1.2-a:	Longitudes de onda según norma G.694.2 .....	73
4.4.2.1-a:	Separación de canales según ITU G.692.....	75
4.4.2.1-b:	Tabla de frecuencias normalizadas .....	75
4.4.3-a:	Costes relativos CWDM vs DWDM.....	78
4.4.3-b:	Tabla comparativa entre tecnologías ATM, SDH y WDM.....	78

## **OBJETIVOS**

### **Objetivos Generales**

- Estudiar la tecnología IP/WDM que se está esta usando hace poco tiempo en nuestro País, la cual está específicamente orientada a los sistemas de comunicación por medio de fibra óptica.
- Analizar esta tecnología, para entender y explicar su funcionamiento, para así comprender las mejoras que traería al sistema que rige actualmente las comunicaciones por fibra óptica.

### **Objetivos Específicos**

- Entregar información del funcionamiento de un red con tecnología IP sobre WDM.
- Analizar la evolución de las redes hasta converger a las redes con tecnología IP sobre WDM.
- Realizar un estudio de los sistemas que componen una red IP/WDM y su funcionamiento.
- Hacer un análisis comparativo con las tecnologías que permiten accesos a internet, ósea ATM, SDH y sus respectivas evoluciones para tecnologías con fibra.

## **RESUMEN**

Uno de los progresos más recientes en el campo de las transmisiones ópticas ha sido la transmisión de información mediante el uso de la multiplexación de división por longitud de onda, Wavelength division Multiplexing, WDM. Gracias a este logro, la información se puede transmitir en múltiples longitudes de onda a la vez, a través de un único filamento de fibra, por otra parte, el uso global del protocolo IP, se ha posicionado como la plataforma más importante para transportar datos sobre la red, sin importar la naturaleza de su fuente. Luego, al desarrollar IP sobre WDM se eliminan pasos previos en una transmisión lo que redundaría en mayor rapidez y capacidad.

En el presente trabajo de Titulación se entregará una descripción detallada del funcionamiento y capacidades de la nueva tecnología de transmisión de datos IP sobre WDM, para lo cual se realizará un análisis de las distintas partes con la cual funciona esta tecnología, además de hacer comparaciones con las actuales tecnologías que rigen internet.



## **ABSTRACT**

One of the most recent progresses in the field of the optic transmissions has been the transmission of information by means of the use of the Wavelength division Multiplexing, multiplexación de división por longitud de onda, WDM. Thanks to this achievement, the information you can transmit at the same time in multiple Wavelength, through an only fiber filament, on the other hand, the global use of the IP protocol, it has been positioned as the most important platform to transport data on the net, without caring the nature of their source. Then, when developing IP on WDM previous steps are eliminated in a transmission what redounds in bigger speed and capacity.

Presently work of certification will surrender a detailed description of the operation and capacities of the new technology of transmission of data IP on WDM, for that which will be carried out an analysis of the different parts with which this technology works, besides making comparisons with the current technologies that govern internet.

## INTRODUCCIÓN

En teoría, la fibra óptica tiene un ancho de banda extremadamente alto. Sin embargo, dado que la tasa a la cual puede acceder un usuario final está limitada a velocidad electrónica, sólo pueden ser alcanzadas velocidades de unos pocos gigabits por segundo. Por tanto, es la conversión óptica-electrónica la que impide explotar el ancho de banda de una fibra. La multiplexación por división de longitudes de onda WDM y los amplificadores de fibra EDFA son dos desarrollos recientes que permiten superar estas limitaciones. Se analizara la tecnología IP/WDM la cual consiste en enviar el protocolo IP directamente por fibra óptica, lo cual eliminaría los protocolos intermedio como son ATM y SDH, y a través de WDM se obtiene el ancho de banda mucho mayor que el método convencional de transmisión por fibra óptica, para ello se toman en consideración que esta no es una tecnología asociada exclusivamente a protocolos de transmisión si no que también al hardware adecuado, ya que sin él no sería posible implementar IP/WDM. Este análisis se lleva a cabo recabando antecedentes existentes principalmente en internet, entre ellos destacan publicaciones realizadas por la red IRIS el año 2004, además de las realizadas en el congreso senacitel 2004, entre otros.

# CAPÍTULO I

## 1.1 Evolución de las comunicaciones.

Las necesidades que experimentan las redes de transmisión de información, de transmitir voz y datos a mayores velocidades, va aumentando exponencialmente en todo el mundo, sin embargo se denota una tendencia a la mayor cantidad de transmisión de datos, Asimismo, la cantidad de usuarios conectados aumenta rápidamente en perjuicio de la calidad de los servicios que estas redes proveen.

También, el desarrollo de tecnologías de acceso de banda ancha, hace incrementar los requerimientos de nuevos servicios y aplicaciones multimediales con entrega en tiempo real. Por esto, se ve la necesidad de implementar redes que transmitan gran cantidad de información a altas velocidades, que sean eficientes y de amplia cobertura.

## 1.2 Transmisión por Fibra óptica

Para realizar una transmisión de datos con un sistema de IP sobre WDM se necesita un medio adecuado de transmisión y el mejor medio de transmisión que actualmente rige en el planeta es la *fibra óptica*.

Las redes ópticas típicas emplean haces de luz (creadas por transmisor óptico) para transmitir bits de datos a través de un cable de fibra óptica hasta un receptor óptico. Se usa una fibra óptica para cada canal óptico y un par transmisor/receptor constituye un canal, osea, se necesita otro par transmisor/receptor y otra fibra óptica para la dirección opuesta.

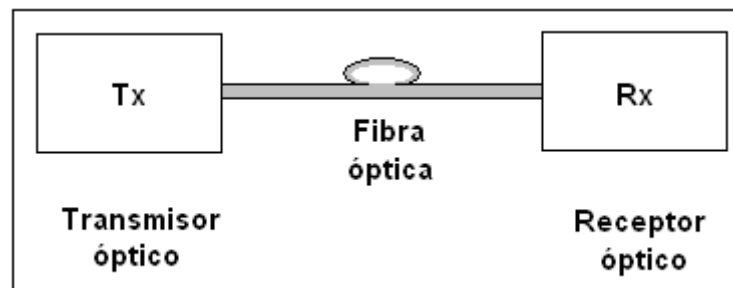


Figura 1.2-a. Transmisión óptica.

En un sistema de transmisión por fibra óptica existe un transmisor que se encarga de transformar las ondas electromagnéticas en energía óptica o en luminosa, por ello se le considera el componente activo de este proceso. Una vez que es transmitida la señal luminosa por las minúsculas fibras, en otro extremo del circuito se encuentra un tercer componente al que se le denomina detector óptico o receptor, cuya misión consiste en transformar la señal luminosa en energía electromagnética, similar a la señal original.

La fibra óptica está compuesta por filamentos de vidrio de alta pureza muy compactos o de filamentos plástico rigurosamente procesados. El grosor de una fibra es aproximadamente como la de un cabello humano (aprox.  $50\ \mu\text{m}$ ), el índice de refracción ( $n$ ) del núcleo tiene que ser mayor al del manto, debido a la propagación del as de luz usado en el interior del núcleo.

La fibra óptica consta de tres partes:

- El núcleo, es el que transporta la señal de luz
- El manto, mantiene la luz en el núcleo
- La envoltura, protege la fibra

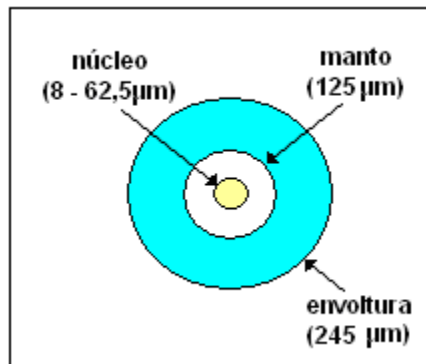


Figura 1.2-b. Capas fibra óptica

## 1.3 Tipos de Fibra Óptica

### 1.3.1 Fibra Monomodo

Potencialmente, esta es la fibra que ofrece la mayor capacidad de transporte de información. Tiene una banda de paso del orden de los  $100\ \text{GHz/km}$ . Los mayores flujos se consiguen con esta fibra, pero también es la más compleja de implantar. El dibujo muestra que

sólo pueden ser transmitidos los rayos que tienen una trayectoria que sigue el eje de la fibra, por lo que se ha ganado el nombre de "monomodo" (modo de propagación, o camino del haz luminoso, único). Son fibras que tienen el diámetro del núcleo en el mismo orden de magnitud que la longitud de onda de las señales ópticas que transmiten, es decir, de unos 5 a 8 m m. Si el núcleo está constituido de un material cuyo índice de refracción es muy diferente al de la cubierta, entonces se habla de fibras monomodo de índice escalonado. Los elevados flujos que se pueden alcanzar constituyen la principal ventaja de las fibras monomodo, ya que sus pequeñas dimensiones implican un manejo delicado y entrañan dificultades de conexión.

### **1.3.2 Fibra Multimodo de Índice Gradiente Gradual**

Las fibras multimodo de índice de gradiente gradual tienen una banda de paso que llega hasta los 500MHz por kilómetro. Su principio se basa en que el índice de refracción en el interior del núcleo no es único y decrece cuando se desplaza del núcleo hacia la cubierta. Los rayos luminosos se encuentran enfocados hacia el eje de la fibra, como se puede ver en el dibujo. Estas fibras permiten reducir la dispersión entre los diferentes modos de propagación a través del núcleo de la fibra.

La fibra multimodo de índice de gradiente gradual de tamaño 62,5/125 mm (diámetro del núcleo/diámetro de la cubierta) está normalizado, pero se pueden encontrar otros tipos de fibras:

- Multimodo de índice escalonado 100/140 mm.
- Multimodo de índice de gradiente gradual 50/125 m m.

### **1.3.3 Fibra Multimodo de índice escalonado**

Las fibras multimodo de índice escalonado están fabricadas a base de vidrio, con una atenuación de 30 dB/km, o plástico, con una atenuación de 100 dB/km. Tienen una banda de paso que llega hasta los 40 MHz por kilómetro. En estas fibras, el núcleo está constituido por un material uniforme cuyo índice de refracción es claramente superior al de la cubierta que lo rodea. El paso desde el núcleo hasta la cubierta conlleva por tanto una variación brutal del índice, de ahí su nombre de índice escalonado.

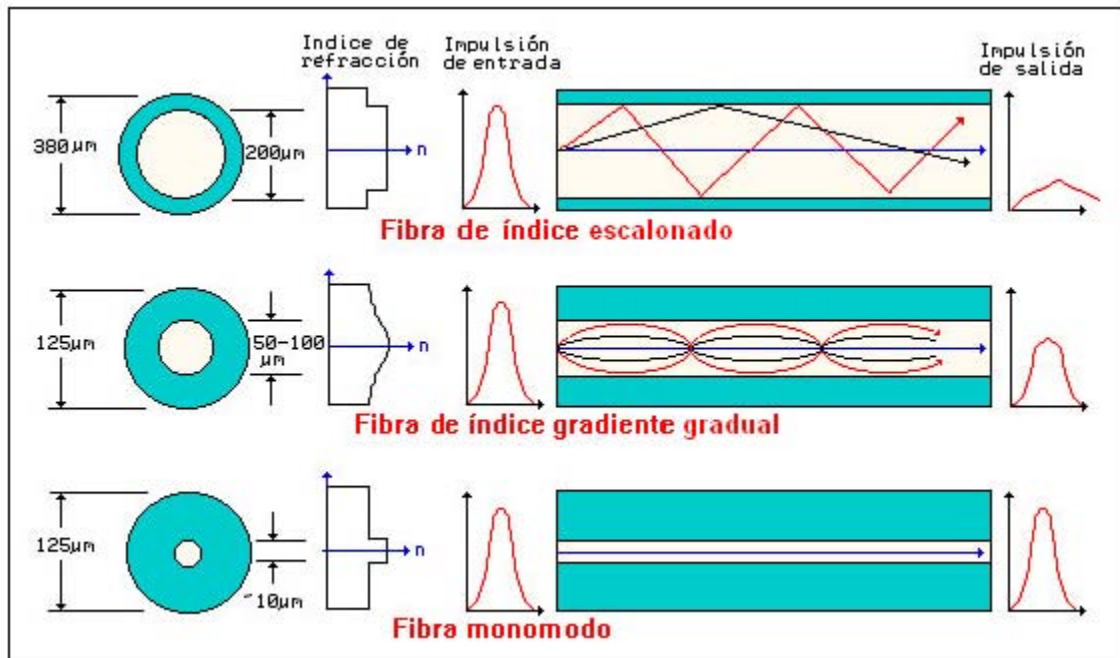


Figura 1.3.3-a. Tipos de fibra.

En comparación con el sistema convencional de cables de cobre, donde la atenuación de sus señales es de tal magnitud que requieren de repetidores cada dos kilómetros para regenerar la transmisión, en el sistema de fibra óptica se pueden instalar tramos de hasta 70 km sin que haya necesidad de recurrir a repetidores, lo que también hace más económico y de fácil mantenimiento este material.

Con un cable de seis fibras se puede transportar la señal de más de cinco mil canales o líneas principales, mientras que se requiere de 10,000 pares de cable de cobre convencional para brindar servicio a ese mismo número de usuarios, con la desventaja que este último medio ocupa un gran espacio en los canales y requiere de grandes volúmenes de material, lo que también eleva los costos.

Originalmente, la fibra óptica fue propuesta como medio de transmisión debido a su enorme ancho de banda; sin embargo, con el tiempo se ha introducido en un amplio rango de aplicaciones además de la telefonía, automatización industrial, computación, sistemas de televisión por cable y transmisión de información de imágenes astronómicas de alta resolución entre otros.

En un sistema de transmisión por fibra óptica existe un transmisor que se encarga de transformar las ondas electromagnéticas en energía óptica o en luminosa. Por ello se le considera el componente activo de este proceso. Cuando la señal luminosa es transmitida por las pequeñas fibras, en otro extremo del circuito se encuentra un tercer componente al que se le denomina detector óptico o receptor, cuya misión consiste en transformar la señal luminosa en energía electromagnética, similar a la señal original. El sistema básico de transmisión se compone en este orden, de señal de entrada, amplificador, fuente de luz, corrector óptico, línea de fibra óptica (primer tramo ), empalme, línea de fibra óptica (segundo tramo), corrector óptico, receptor, amplificador y señal de salida.

Se puede decir que en este proceso de comunicación, la fibra óptica funciona como medio de transportación de la señal luminosa, generado por el transmisor de LED's (diodos emisores de luz) y lasers.

Los diodos emisores de luz y los diodos lasers son fuentes adecuadas para la transmisión mediante fibra óptica, debido a que su salida se puede controlar rápidamente por medio de una corriente de polarización. Además su pequeño tamaño, su luminosidad, longitud de onda y el bajo voltaje necesario para manejarlos son características atractivas.

#### **1.4 Atenuación de la señal óptica.**

La atenuación de la señal óptica representa la disminución de la energía luminosa en propagación a lo largo de la fibra, también representa la distancia entre el emisor y receptor sin empleo de dispositivos intermedios de regeneración de señal. En la figura 1.4-a se representa la atenuación total y las ventanas de transmisión de la fibra óptica.

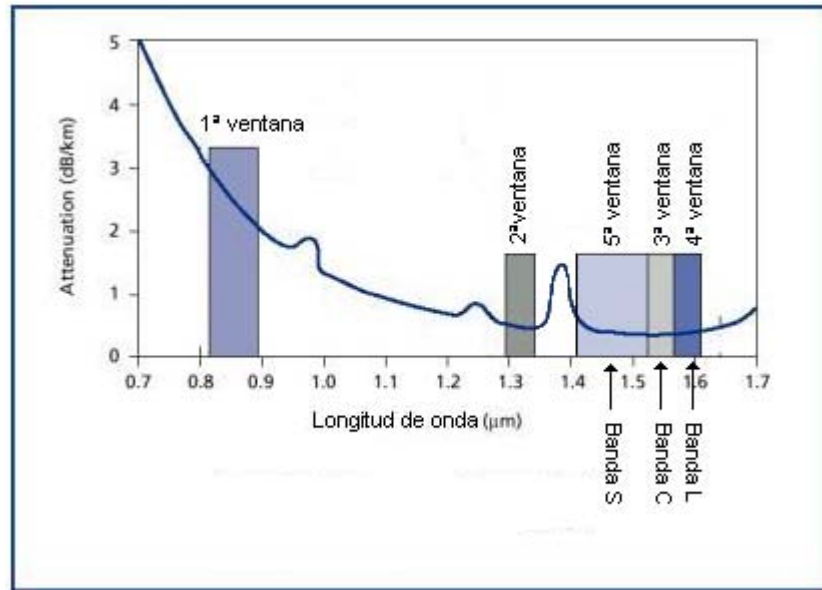


Figura 1.4-a. Atenuación señal óptica.

La atenuación de la luz en la fibra esta en función de la longitud de onda de la fuente. Ella es constante para todas las frecuencias de la señal útil transmitida. La figura 1.4-a muestra que el debilitamiento es más importante en la primera ventana de transmisión (850nm) por lo que su utilización habitual es en redes LAN. En la segunda ventana (1300nm), donde la atenuación de la fibra es típicamente menor que 0.35 dB/Km es utilizado para SONET/SDH metropolitana. La región de menos pérdida típicamente pérdidas cercanas a las 0.20 dB/Km permanece en una longitud de onda amplia y los lasers y receptores operan en la tercera ventana cercanos a 1550nm, que es la ventana utilizada en sistemas SONET/SDH larga distancia y también en sistemas WDM.

Los sistemas de fibra óptica utilizan señales de luz dentro de la banda infrarroja del espectro electromagnético con una longitud de onda entre 1mm – 400nm. Las frecuencias de la luz en el rango óptico del espectro electromagnético se identifican por su longitud de onda en vez de su frecuencia (figura 1.4-b).



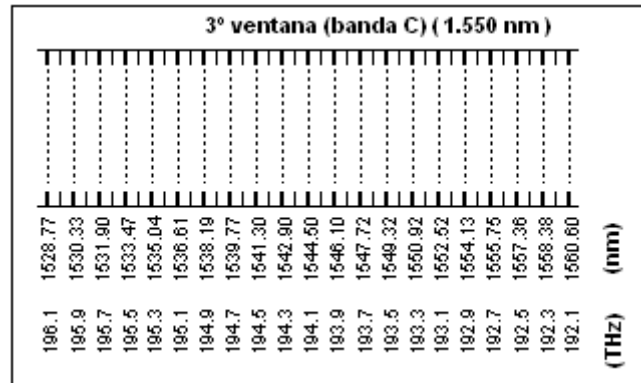


Figura 1.4-b. Identificación de frecuencias en la banda C.

### 1.5 Que es WDM ( Wavelength Division Multiplexing).

La tecnología conocida como Multiplexión por División de Longitud de Onda, a pesar de existir desde hace varios años, es hoy en día uno de los temas de mayor interés dentro del área de la infraestructura de redes ópticas, WDM se ha consolidado como una de las tecnologías favoritas, debido a las enormes ventajas que ofrece en la optimización del uso del ancho de banda.

Los enlaces de comunicación óptica permiten el envío simultáneo de diferentes longitudes de onda a través de una sola fibra dentro de la banda espectral que abarca los 1300 y los 1600nm. Ésta es una importante característica, posible gracias a la tecnología WDM, que consiste en combinar varias longitudes de onda dentro de la misma fibra.

Una propiedad fundamental de la luz establece que las ondas de luz individuales de diferentes longitudes de onda no interfieren unas con otras dentro del medio. Los láseres son capaces de crear pulsos de luz con una longitud de onda muy precisa. Cada longitud de onda individual de luz puede representar un canal de información diferente. Combinando pulsos de luz de diferentes longitudes de onda, pueden transmitirse simultáneamente muchos canales a través de una sola fibra.

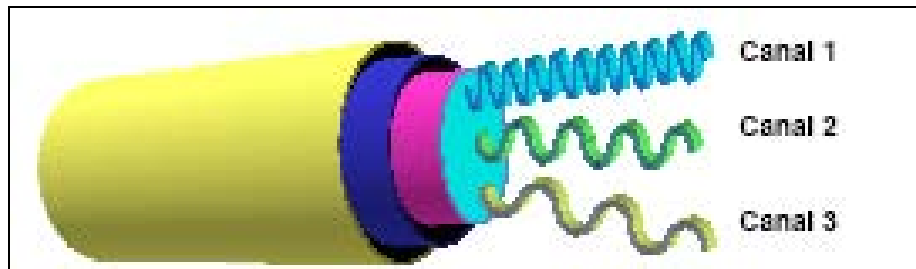


Figura 1.5-a. Canales WDM en fibra.

Conceptualmente, esta forma de multiplexión es similar a FDM (Multiplexión por división de frecuencia), utilizada en sistemas satelitales y de microondas. Mientras que FDM consiste en transmitir varias señales al mismo tiempo a través de un solo canal de banda ancha, modulando primero cada una de ellas en una subportadora distinta y, posteriormente, reuniéndolas para formar una sola señal, WDM reúne diferentes longitudes de onda para formar la señal que se transmitirá. De manera similar a otras formas de multiplexión, WDM requiere que cada longitud de onda sea debidamente espaciada de las demás, con el objeto de evitar la interferencia intercanal.

A pesar de que esta técnica de multicanalización, utilizada principalmente en redes de fibra óptica, se denomina de manera amplia WDM, es más común escuchar el término convencional DWDM (Multiplexión Densa por División de Longitud de onda), el cual, aunque no denota ninguna región de operación o condición de implementación adicional, toma su nombre a partir de una designación de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) y se refiere únicamente al espaciamiento requerido en la especificación UIT-T G.692.

## 1.6 Tecnología DWDM (Multiplexión Densa por División de Longitud de onda).

Actualmente, DWDM no es vista tan solo como una técnica para ampliar la capacidad de una red de fibra óptica, sino más bien, como una tecnología robusta en el "backbone" de redes multi-servicios y redes de acceso móvil, que permite satisfacer el crecimiento en volumen y complejidad que presentan los servicios de telecomunicaciones. Las principales ventajas que ofrece DWDM se enlistan a continuación:

- Aumenta dramáticamente la capacidad de un punto a otro de la red de fibra óptica, lo cual es considerado la aplicación clásica de DWDM. Esto se debe principalmente a la posibilidad de transmitir varias señales dentro de una sola señal y a las altas tasas de transmisión que soporta.
- Permite transportar cualquier formato de transmisión en cada canal óptico. Así, sin necesidad de utilizar una estructura común para la transmisión de señales, es posible utilizar diferentes longitudes de onda para enviar información síncrona o asíncrona, analógica o digital, a través de la misma fibra.
- Permite utilizar la longitud de onda como una nueva dimensión, además del tiempo y el espacio, en el diseño de redes de comunicación.

En un enlace punto a punto de fibra óptica existe una fuente de luz localizada en el extremo transmisor y un fotodetector en el extremo receptor. Las señales originadas por diferentes fuentes ópticas utilizan fibras diferentes y únicas como medio de transmisión. Puesto que toda fuente óptica tiene un ancho de línea limitado, es decir, el rango de longitudes de onda que puede emitir es pequeño, el ancho de banda de la fibra es desperdiciado puesto que únicamente se hace uso de una pequeña porción de éste en la fibra. Los multicanalizadores WDM permiten acoplar diferentes longitudes de onda dentro de una fibra común. De la misma manera, un dispositivo WDM puede recuperar las longitudes de onda que se transmitieron a través de la fibra óptica.

Cada uno de los canales WDM es diseñado para dejar pasar una longitud de onda o una banda de longitudes de onda en particular. *Por ejemplo*, un sistema WDM de dos canales podría estar pensado para dejar pasar las bandas de 1310 y 1550nm. El sistema podría utilizarse para enviar dos señales ópticas a través de una fibra común: una señal con longitud de onda de 1310nm se transmitiría a través del canal de 1310nm, y una señal de 1550nm se enviaría por el canal WDM de 1550nm.

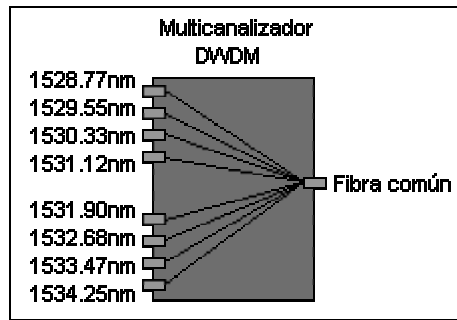


Figura 1.6-a. DWDM de 8 Canales.

Los canales WDM se comportan como filtros que únicamente permiten el paso de las señales ópticas especificadas para cada canal, de tal forma que transmitir una señal de 1310nm a través de un canal de 1550nm no funcionaría. A pesar de que actualmente se desarrollan técnicas para alojar más de 2000 canales en una sola fibra, los multicanalizadores más comunes que existen cuentan con 2, 4, 8, 16, 32 ó 64 canales. Aquéllos que integran dos canales cuyas longitudes de onda se localizan entre las bandas de 1310 y 1550nm se conocen como WDMs de banda amplia. Un multicanalizador WDM de banda angosta es aquél que integra dos o cuatro canales dentro de la banda de los 1550nm. DWDM pertenece a esta categoría WDM de banda angosta y está diseñado para un espaciamiento entre canales de 100GHz (~0.8nm). Debido a este espaciamiento, DWDM puede acoplar ocho o más canales dentro de la banda de los 1550nm (Ver figura 1.6-a).

Al momento de implementar tecnologías WDM, es muy importante que los multiplexores utilicen fuentes láser con diferentes longitudes de onda, y que estas fuentes se sintonicen de acuerdo a las longitudes de onda o bandas específicas del multicanalizador. De no utilizar las longitudes de onda correctas, el sistema podría no funcionar adecuadamente.

Antes de implementar tecnología WDM eran necesarias dos fibras en un sistema de comunicación. Una de ellas estaría conectada al transmisor óptico, mientras que la otra provendría del receptor, permitiendo una comunicación bidireccional, conocida como "full-duplex". Con la llegada de WDM, sólo se requiere de una fibra para proporcionar comunicación "full-duplex", sin importar el número de canales que se tengan. Por ejemplo, en un sistema WDM de cuatro canales se tienen dos sistemas de comunicación a través de una sola fibra; para ocho canales WDM se mantendrían cuatro sistemas de comunicación en la misma fibra. En consecuencia, es muy notable la reducción de fibra óptica de la planta (Ver figura 1.6-b).

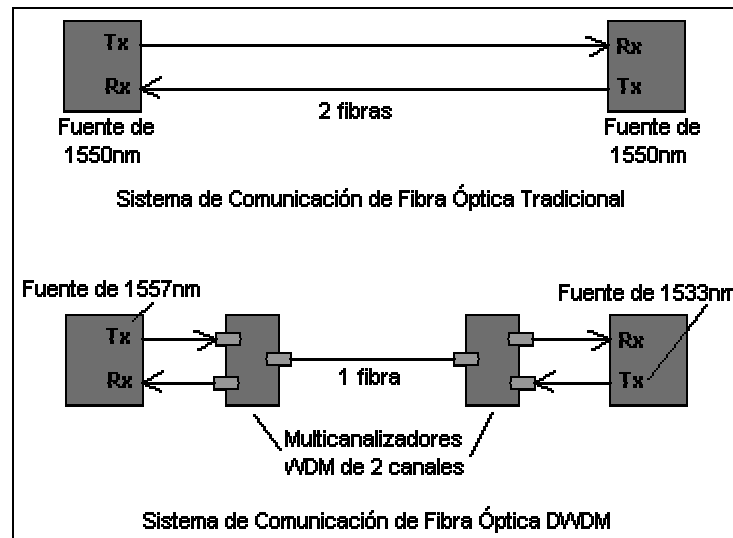


Figura 1.6-b. Sistemas de Comunicación de Fibra Óptica Tradicional y WDM.

# CAPÍTULO II

## 2.0 Evolución de las redes

En la evolución de las redes se partirá a través del origen de la red más importante del mundo, *Internet* para continuar con la historia de la fibra óptica, y con el modelo de protocolos que actualmente rige a internet IP, ATM, SDH, WDM y los pasos previos para llegar a una red IP sobre WDM.

### 2.1 Historia de Internet.

La primera descripción documentada acerca de las interacciones sociales que podrían ser propiciadas a través del *networking* (trabajo en red) está contenida en una serie de memorándums escritos por J.C.R. Licklider, del Massachusetts Institute of Technology, en Agosto de 1962, en los cuales Licklider discute sobre su concepto de *Galactic Network* (Red Galáctica). El concibió una red interconectada globalmente a través de la que cada uno pudiera acceder desde cualquier lugar a datos y programas. En esencia, el concepto era muy parecido a la Internet actual. Licklider fue el principal responsable del programa de investigación en computadores de la DARPA desde Octubre de 1962. Mientras trabajó en DARPA convenció a sus sucesores Ivan Sutherland, Bob Taylor, y el investigador del MIT Lawrence G. Roberts de la importancia del concepto de trabajo en red.

En Julio de 1961 Leonard Kleinrock publicó desde el MIT el primer documento sobre la teoría de conmutación de paquetes. Kleinrock convenció a Roberts de la factibilidad teórica de las comunicaciones vía paquetes en lugar de circuitos, lo cual resultó ser un gran avance en el camino hacia el trabajo informático en red. El otro paso fundamental fue hacer dialogar a los computadores entre sí. Para explorar este terreno, en 1965, Roberts conectó un ordenador TX2 en Massachusetts con un Q-32 en California a través de una línea telefónica conmutada de baja velocidad, creando así *la primera (aunque reducida) red de computadores de área amplia jamás construida*. El resultado del experimento fue la constatación de que los computadores de tiempo compartido podían trabajar juntos correctamente, ejecutando programas y recuperando datos a

discreción en la máquina remota, pero que el sistema telefónico de conmutación de circuitos era totalmente inadecuado para esta labor. La convicción de Kleinrock acerca de la necesidad de la conmutación de paquetes quedó pues confirmada.

A finales de 1966 Roberts se trasladó a la DARPA a desarrollar el concepto de red de computadores y rápidamente confeccionó su plan para ARPANET, publicándolo en 1967. En la conferencia en la que presentó el documento se exponía también un trabajo sobre el concepto de red de paquetes a cargo de Donald Davies y Roger Scantlebury del NPL. Scantlebury le habló a Roberts sobre su trabajo en el NPL así como sobre el de Paul Baran y otros en RAND. El grupo RAND había escrito un documento sobre redes de conmutación de paquetes para comunicación vocal segura en el ámbito militar, en 1964. Ocurrió que los trabajos del MIT (1961-67), RAND (1962-65) y NPL (1964-67) habían discurrido en paralelo sin que los investigadores hubieran conocido el trabajo de los demás. La palabra *packet* (paquete) fue adoptada a partir del trabajo del NPL y la velocidad de la línea propuesta para ser usada en el diseño de ARPANET fue aumentada desde 2,4 Kbps hasta 50 Kbps.

En Agosto de 1968, después de que Roberts y la comunidad de la DARPA hubieran refinado la estructura global y las especificaciones de ARPANET, DARPA lanzó un RFQ para el desarrollo de uno de sus componentes clave: los conmutadores de paquetes llamados *interface message processors* (IMPs, procesadores de mensajes de interfaz). El RFQ fue ganado en Diciembre de 1968 por un grupo encabezado por Frank Heart, de Bolt Beranek y Newman (BBN). Así como el equipo de BBN trabajó en IMPs con Bob Kahn tomando un papel principal en el diseño de la arquitectura de la ARPANET global, la topología de red y el aspecto económico fueron diseñados y optimizados por Roberts trabajando con Howard Frank y su equipo en la Network Analysis Corporation, y el sistema de medida de la red fue preparado por el equipo de Kleinrock de la Universidad de California, en Los Angeles.

A causa del temprano desarrollo de la teoría de conmutación de paquetes de Kleinrock y su énfasis en el análisis, diseño y medición, su *Network Measurement Center* (Centro de Medidas de Red) en la UCLA fue seleccionado para ser el primer nodo de ARPANET. Todo ello ocurrió en Septiembre de 1969, cuando BBN instaló el primer IMP en la UCLA y quedó conectado el primer computador *host*. El proyecto de Doug Engelbart denominado *Augmentation of Human Intellect* (Aumento del Intelecto Humano) que incluía NLS, un primitivo sistema hipertexto en el Instituto de Investigación de Standford (SRI) proporcionó un segundo nodo. El SRI patrocinó el

*Network Information Center*, liderado por Elizabeth (Jake) Feinler, que desarrolló funciones tales como mantener tablas de nombres de *host* para la traducción de direcciones así como un directorio de RFCs (*Request For Comments*). Un mes más tarde, cuando el SRI fue conectado a ARPANET, el primer mensaje de *host a host* fue enviado desde el laboratorio de Leinrock al SRI. Se añadieron dos nodos en la Universidad de California, Santa Bárbara, y en la Universidad de Utah. Estos dos últimos nodos incorporaron proyectos de visualización de aplicaciones, con Glen Culler y Burton Fried en la UCSB investigando métodos para mostrar funciones matemáticas mediante el uso de "*storage displays*" (N. del T.: mecanismos que incorporan *buffers* de monitorización distribuidos en red para facilitar el refresco de la visualización) para tratar con el problema de refrescar sobre la red, y Robert Taylor y Ivan Sutherland en Utah investigando métodos de representación en 3-D a través de la red. Así, a finales de 1969, cuatro computadores *host* fueron conectados conjuntamente a la ARPANET inicial y se hizo realidad una embrionaria Internet. Incluso en esta primitiva etapa, hay que reseñar que la investigación incorporó tanto el trabajo mediante la red ya existente como la mejora de la utilización de dicha red. Esta tradición continúa hasta el día de hoy.

Se siguieron conectando computadores rápidamente a la ARPANET durante los años siguientes y el trabajo continuó para completar un protocolo *host a host* funcionalmente completo, así como software adicional de red. En Diciembre de 1970, el *Network Working Group* (NWG) liderado por S.Crocker acabó el protocolo *host a host* inicial para ARPANET, llamado *Network Control Protocol* (NCP, protocolo de control de red). Cuando en los nodos de ARPANET se completó la implementación del NCP durante el periodo 1971-72, los usuarios de la red pudieron finalmente comenzar a desarrollar aplicaciones.

En Octubre de 1972, Kahn organizó una gran y muy exitosa demostración de ARPANET en la *International Computer Communication Conference*. Esta fue la primera demostración pública de la nueva tecnología de red. Fue también en 1972 cuando se introdujo la primera aplicación "estrella": el correo electrónico.

En Marzo, Ray Tomlinson, de BBN, escribió el software básico de envío-recepción de mensajes de correo electrónico, impulsado por la necesidad que tenían los desarrolladores de ARPANET de un mecanismo sencillo de coordinación. En Julio, Roberts expandió su valor añadido escribiendo el primer programa de utilidad de correo electrónico para relacionar, leer selectivamente, almacenar, reenviar y responder a mensajes. Desde entonces, la aplicación de



correo electrónico se convirtió en la mayor de la red durante más de una década. Fue precursora del tipo de actividad que observamos hoy día en la *World Wide Web*, es decir, del enorme crecimiento de todas las formas de tráfico persona a persona.

La ARPANET original evolucionó hacia Internet. Internet se basó en la idea de que habría múltiples redes independientes, de diseño casi arbitrario, empezando por ARPANET como la red pionera de conmutación de paquetes, pero que pronto incluiría redes de paquetes por satélite, redes de paquetes por radio y otros tipos de red. Internet como ahora la conocemos encierra una idea técnica clave, la de arquitectura abierta de trabajo en red.

## **2.2 Historia fibra óptica**

La Historia de la comunicación por la fibra óptica es relativamente corta. En 1977, se instaló un sistema de prueba en Inglaterra; dos años después, se producían ya cantidades importantes de pedidos de este material.

Antes, en 1959, como derivación de los estudios en física enfocados a la óptica, se descubrió una nueva utilización de la luz, a la que se denominó rayo láser, que fue aplicado a las telecomunicaciones con el fin de que los mensajes se transmitieran a velocidades inusitadas y con amplia cobertura.

Sin embargo esta utilización del láser era muy limitada debido a que no existían los conductos y canales adecuados para hacer viajar las ondas electromagnéticas provocadas por la lluvia de fotones originados en la fuente denominada láser.

Fue entonces cuando los científicos y técnicos especializados en óptica dirigieron sus esfuerzos a la producción de un ducto o canal, conocido hoy como la fibra óptica. En 1966 surgió la propuesta de utilizar una guía óptica para la comunicación.

En poco más de 10 años la fibra óptica se ha convertido en una de las tecnologías más avanzadas que se utilizan como medio de transmisión. Este novedoso material vino a revolucionar los procesos de las telecomunicaciones en todos los sentidos, desde lograr una mayor velocidad y disminuir casi en su totalidad los ruidos y las interferencias hasta multiplicar las formas de envío en comunicaciones y recepción por vía telefónica.

La instalación de millones de cables de fibra óptica ha conducido a incrementar enormemente el ancho de banda y la capacidad de las redes actuales.

Pero los protocolos que rigen actualmente las redes en el mundo se están siendo cuestionados por un incremento en la cantidad de información que contienen las redes por esta razón esta en estudio la incorporación de *redes totalmente ópticas*, pero hasta que eso no ocurra la tecnología dominante de transmisión de datos en internet esta dominada por los protocolos IP, ATM, SDH/SONET y esto enviado por canales WDM.

### **2.3 ATM (Asynchronous Transfer Mode).**

La primera referencia del ATM tiene lugar en los años 60 cuando un norteamericano de origen oriental perteneciente a los laboratorios Bell describió y patentó un modo de transferencia no síncrono. Sin embargo el ATM no se hizo popular hasta 1988 cuando el CCITT decidió que sería la tecnología de conmutación de las futuras red ISDN en banda ancha. En la reunión del CCITT celebrada en Ginebra en Junio de 1989 se tomó una decisión: 48 bytes será el tamaño de la celda. Para la cabecera un tamaño de 5 bytes. Así 53 (48+5) sería el tamaño definitivo, en octetos, de las células ATM.

ATM es un protocolo de transporte de alta velocidad, sus implementaciones actuales son en la red local en compañías que requieren grandes anchos de banda, ATM es capaz de ofrecer servicios de hasta 155 Mbps y en la red amplia como backbone de conmutación de las redes que lo requieren y que además tiene facilidad de conexión a redes de alta velocidad. Las características de ATM permiten el transporte de vídeo, voz y datos. Con esta tecnología, a fin de aprovechar al máximo la capacidad de los sistemas de transmisión, sean estos de cable o radioeléctricos, la información no se transmite y se conmuta a través de canales asignados en permanencia, sino en forma de cortos paquetes (celdas ATM) de longitud constante y que pueden ser enrutadas individualmente mediante el uso de los denominados *canales virtuales* y *trayectos virtuales*. La forma en que diferentes flujos de información de paquetes ATM se incorporan a la red para ser transportados mediante grandes enlaces de transmisión a velocidades facilitados generalmente por sistemas SDH.

### 2.3.1 Ventajas y desventajas de ATM.

Algunas ventajas de la red ATM:

- *Calidad de servicio.* Por un lado, permite al operador de red establecer distintos controles de tráfico, ya sean controles de admisión o mecanismos capaces de manejar prioridades, que permiten garantizar a los flujos una determinada calidad de servicio en términos de pérdidas de información, retardo y variación del retardo (jitter). Esta es una de las capacidades imprescindibles para la integración de varios servicios dentro de una red, puesto que permite garantizar una calidad definida que se ajuste a los requisitos de cada uno de ellos.
- *Redes privadas virtuales.* ATM también facilita la configuración de subredes lógicas dentro de una misma red física de una manera mucho más sencilla y económica que la solución tradicional basada en el empleo de líneas alquiladas.
- *Gestión.* Su orientación a conexión le permite disponer de grandes capacidades en lo que respecta a la ingeniería de tráfico que permiten a los operadores gestionar de manera flexible el tráfico de sus redes, pudiendo establecer rutas predefinidas para determinados flujos o equilibrados de carga, por ejemplo.

Sin embargo, la especificación de ATM es, en gran medida, anterior al crecimiento de tráfico IP, por lo que presenta una serie de inconvenientes o desventajas importantes a la hora de acomodar tráfico de esta naturaleza:

- Existe una tara de ancho de banda procedente del hecho de que los paquetes IP deban ser fraccionados para acomodarlos al formato de las células ATM, que además incluyen una nueva cabecera, la cual se traduce en una mayor proporción de información inútil para el usuario final. Este efecto se denomina *cell-tax* y da lugar a un uso poco eficiente del ancho de banda.
- También existe una tara a nivel de proceso. En la solución de IP sobre ATM, se dispone de una serie de *routers* IP que se enlazan entre sí por medio de enlaces ATM. En esta situación, en cada *router* se debe esperar a que lleguen todas las células correspondientes

a un mismo paquete para reconstruirlo y que, a partir de él, se puedan tomar las correspondientes decisiones de encaminamiento. Esto constituye una nueva tara y además introduce una serie de retardos que hay que controlar, sobre todo para cierto tipo de aplicaciones, como las basadas en el intercambio de información en tiempo real.

- Aunque ATM permita llevar a cabo una gestión de la red eficiente, esto se hace a costa de introducir un nivel de complejidad muy elevado. Si el tráfico que soporta es IP podrían producirse redundancias por el hecho de que alguna funcionalidad apareciera duplicada en la capa IP, como controles de flujo o de congestión, por ejemplo.

## 2.4 SDH (Synchronous Digital Hierarchy)

La Jerarquía Digital Sincrónica se puede considerar como la evolución de los sistemas de transmisión, como consecuencia de la utilización de la fibra óptica como medio de transmisión, así como de la necesidad de sistemas más flexibles y que soporten anchos de banda elevados. La jerarquía SDH se desarrolló en EEUU bajo el nombre de SONET y posteriormente el CCITT en 1989 publicó una serie de recomendaciones donde quedaba definida con el nombre de SDH.

Uno de los objetivos de esta jerarquía estaba en el proceso de adaptación del sistema PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy), ya que el nuevo sistema jerárquico se implantaría paulatinamente y debía convivir con la jerarquía plesiócrona instalada. Esta es la razón por la que la ITU-T normalizó el proceso de transportar las antiguas tramas en la nueva.

La trama básica de SDH es el STM-1 (Synchronous Transport Module level 1), con una velocidad de 155 Mbps.

Cada trama va encapsulada en un tipo especial de estructura denominado *contenedor*. Una vez se ha encapsulado se añaden cabeceras de control que identifican el contenido de la estructura y el conjunto, después de un proceso de multiplexación, se integra dentro de la estructura STM-1.

Los niveles superiores se forman a partir de multiplexar a nivel de Byte varias estructuras STM-1, dando lugar a los niveles STM-4, STM-16 y STM-64.

### 2.4.1 Estructura de la trama STM-1

Las tramas contienen información de cada uno de los componentes de la red, *trayecto*, *línea* y *sección*, además de la información de usuario. Los datos son encapsulados en contenedores específicos para cada tipo de señal tributaria. A estos contenedores se les añade una información adicional denominada *tara de trayecto* (Path overhead), que son bytes utilizados con fines de mantenimiento de la red, dando lugar a la formación de los denominados contenedores virtuales (VC).

El resultado de la multiplexación es una trama formada por 9 filas de 270 octetos cada fila (270 columnas de 9 octetos). La transmisión se realiza bit a bit en el sentido de izquierda a derecha y de arriba abajo. La trama se transmite a razón de 8000 veces por segundo (cada trama se transmite en 125  $\mu$ s). Por lo tanto el régimen binario (Rb) para cada uno de los niveles es:

$$STM-1 = 8000 * (270 \text{ octetos} * 8 \text{ bits} * 9 \text{ filas}) = 155 \text{ Mbps}$$

$$STM-4 = 4 * 8000 * (270 \text{ octetos} * 8 \text{ bits} * 9 \text{ filas}) = 622 \text{ Mbps}$$

$$STM-16 = 16 * 8000 * (270 \text{ octetos} * 8 \text{ bits} * 9 \text{ filas}) = 2.5 \text{ Gbps}$$

$$STM-64 = 64 * 8000 * (270 \text{ octetos} * 8 \text{ bits} * 9 \text{ filas}) = 10 \text{ Gbps}$$

De las 270 columnas que forman la trama STM-1 las 9 primeras forman la denominada tara (Overhead), independiente de la tara de trayecto de los contenedores virtuales antes mencionados, mientras que las 261 restantes constituyen la carga útil (Payload).

En la tara están contenidos bytes para alineamiento de trama, control de errores, canales de operación y mantenimiento de la red y los punteros, que indican el comienzo del primer octeto de cada contenedor virtual.

### 2.4.2 Ventajas y desventajas de SDH

La SDH presenta una serie de ventajas. Algunas de estas ventajas son:

- El proceso de multiplexación es mucho más directo. La utilización de punteros permite una localización sencilla y rápida de las señales tributarias de la información.

- El procesamiento de la señal se lleva a cabo a nivel de STM-1. Las señales de velocidades superiores son síncronas entre sí y están en fase por ser generadas localmente por cada nodo de la red.
- Las tramas tributarias de las señales de línea pueden ser subdivididas para acomodar cargas plesiócronas, tráfico ATM o unidades de menor orden. Esto supone mezclar tráfico de distinto tipo dando lugar a redes flexibles.
- Compatibilidad eléctrica y óptica entre los equipos de los distintos suministradores gracias a los estándares internacionales sobre interfaces eléctricos y ópticos.

En cuanto a las desventajas no hay que olvidar que el protocolo fue inicialmente concebido para permitir la multiplexación de flujos telefónicos de 64 kbit/s para su posterior transmisión por enlaces de fibra óptica de mayor capacidad. Mediante el empleo de multiplexores de adición/extracción (ADMs - *Add/Drop Multiplexers*), es posible multiplexar varios canales telefónicos hasta completar la trama SDH para su posterior transmisión por la fibra. En el extremo receptor, el ADM se encarga de la tarea contraria. Realiza la demultiplexación y la extracción de los distintos canales.

Algunas causas determinan su difícil adaptación al futuro escenario de las redes y son las causas de que se plantee la eliminación de la capa SONET/SDH. Estas características son las siguientes:

- Necesidad de sincronismo entre los nodos de la red SDH, se requiere que todos los servicios trabajen bajo una misma referencia de temporización.
- El principio de compatibilidad ha estado por encima de la optimización de ancho de banda. El número de bytes destinados a la cabecera de sección es muy grande, lo que nos lleva a perder eficiencia.
- Se trata de una solución muy robusta. Permite restaurar las conexiones punto a punto en el caso de que se produzca algún problema en una fibra o equipo intermedio, encontrando caminos alternativos para la transmisión. Esta característica tiene mayor o menor importancia según las funcionalidades que incorporen las capas superiores. Resulta de gran utilidad para servicios de tiempo real (no olvidemos que SONET/SDH fue concebido para la transmisión de tráfico telefónico convencional), puesto que contribuye de manera

notable a la robustez de la red. En el caso de que la mayor parte del tráfico viaje en forma de paquetes IP, que es un protocolo no orientado a conexión, su importancia es bastante menor, puesto que el propio nivel IP cuenta con mecanismos de encaminamiento que, aunque todavía lentos, son capaces de reaccionar de forma robusta ante posibles fallos en equipos o enlaces. Cuando se solucionen los problemas de convergencia de esos algoritmos de encaminamiento está claro que existirán redundancias entre ambas capas, por lo que no será imprescindible la utilización de SONET/SDH.

## 2.5 IP sobre ATM sobre SDH y sobre WDM.

Las redes de datos actuales se componen normalmente de cuatro capas: IP para el transporte de aplicaciones y servicios, ATM (Asynchronous Transfer Mode) para la ingeniería de tráfico (TE), SONET/SDH para el transporte y WDM (Wavelength-Division Multiplexing) para proporcionar la capacidad (Figura 2.5-a).

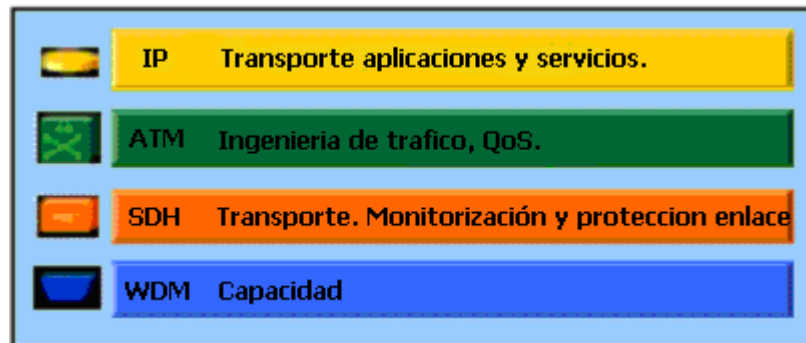


Figura 2.5-a. Arquitectura actual de las redes de datos.

### 2.5.1 Protocolo IP.

El Protocolo de Internet (IP, de sus siglas en inglés Internet Protocol) es un protocolo no orientado a conexión usado tanto por el origen como por el destino para la comunicación de datos a través de una red de paquetes conmutados.

Los datos en una red basada en IP son enviados en bloques conocidos como paquetes o datagramas, en el protocolo IP estos términos se suelen usar indistintamente. En particular, en IP

no se necesita ninguna configuración antes de que un equipo intente enviar paquetes a otro con el que no se había comunicado antes.

El Protocolo de Internet provee un servicio de datagramas no fiable, también llamado del mejor esfuerzo (best effort), lo hará lo mejor posible pero garantizando poco. IP no provee ningún mecanismo para determinar si un paquete alcanza o no su destino y únicamente proporciona seguridad mediante *checksums* o sumas de comprobación de sus cabeceras y no de los datos transmitidos. Por ejemplo, al no garantizar nada sobre la recepción del paquete, éste podría llegar dañado, en otro orden con respecto a otros paquetes, duplicado o simplemente no llegar. Si se necesita fiabilidad, esta es proporcionada por los protocolos de la capa de transporte, como TCP.

Si la información a transmitir ("datagramas") supera el tamaño máximo "negociado" (MTU) en el tramo de red por el que va a circular podrá ser dividida en paquetes más pequeños, y reensamblada luego cuando sea necesario. Estos fragmentos podrán ir cada uno por un camino diferente dependiendo de como estén de congestionadas las rutas en cada momento.

Las cabeceras IP contienen las direcciones de las máquinas de origen y destino, direcciones IP, direcciones que serán usadas por los conmutadores de paquetes, switches y los enrutadores, routers para decidir el tramo de red por el que reenviarán los paquetes.

El IP es el elemento común en la Internet de hoy. El actual y más popular protocolo de red es IPv4. IPv6 es el sucesor propuesto de IPv4; poco a poco Internet está agotando las direcciones disponibles por lo que IPv6 utiliza direcciones de fuente y destino de 128 bits, muchas más direcciones que las que provee IPv4 con 32 bits. Las versiones de la 0 a la 3 están reservadas o no fueron usadas. La versión 5 fue usada para un protocolo experimental. Otros números han sido asignados, usualmente para protocolos experimentales, pero no han sido muy extendidos.

#### Direccionamiento IP y enrutamiento:

Quizás los aspectos más complejos de IP son el direccionamiento y el enrutamiento. El direccionamiento se refiere a la forma como se asigna una dirección IP y como se dividen y se agrupan subredes de equipos.

El enrutamiento consiste en encontrar un camino que conecte una red con otra y aunque es llevado a cabo por todos los equipos, es realizado principalmente por enrutadores que no son más que computadores especializados en recibir y enviar paquetes por diferentes interfaces de red, así



como proporcionar opciones de seguridad, redundancia de caminos y eficiencia en la utilización de los recursos.

### **2.5.1.1 IP v4**

IPv4 es la versión 4 del Protocolo IP (Internet Protocol). Esta fue la primera versión del protocolo que se implementó extensamente, y forma la base de Internet.

IPv4 usa direcciones de 32 bits, limitándola a  $2^{32} = 4.294.967.296$  direcciones únicas, muchas de las cuales están dedicadas a redes locales, LANs. Por el crecimiento enorme que ha tenido del Internet, mucho más de lo que esperaba, cuando se diseñó IPv4, combinado con el hecho de que hay desperdicio de direcciones en muchos casos, ya hace varios años se vio que escaseaban las direcciones IPv4.

Esta limitación ayudó a estimular el impulso hacia IPv6, que está actualmente en las primeras fases de implementación, y se espera que termine reemplazando a IPv4.

Desperdicio de direcciones.

El desperdicio de direcciones IPv4 se debe a varios factores.

Uno de los principales es que inicialmente no se consideró el enorme crecimiento que iba a tener Internet; se asignaron bloques de direcciones grandes de 16,7 millones de direcciones a países, e incluso a empresas.

Otro motivo de desperdicio es que en la mayoría de las redes, exceptuando las más pequeñas, resulta conveniente dividir la red en subredes. Dentro de cada subred, la primera y la última dirección no son utilizables; de todos modos no siempre se utilizan todas las direcciones restantes. Por ejemplo, si en una subred se quieren acomodar 80 hosts, se necesita una subred de 128 direcciones, se tiene que redondear a la siguiente potencia de 2; en este ejemplo, las 48 direcciones restantes ya no se utilizan.

### **2.5.1.2 IP v6**

IPv6 es la versión 6 del Protocolo de Internet (Internet Protocol), un estándar del nivel de red encargado de dirigir y encaminar los paquetes a través de una red.

Diseñado por Steve Deering de Xerox PARC y Craig Mudge, IPv6 está destinado a sustituir al estándar IPv4, cuyo límite en el número de direcciones de red admisibles está empezando a restringir el crecimiento de Internet y su uso, especialmente en China, India, y otros países asiáticos densamente poblados. Pero el nuevo estándar mejorará el servicio globalmente; por ejemplo, proporcionando a futuras celdas telefónicas y dispositivos móviles con sus direcciones propias y permanentes. Al día de hoy se calcula que las dos terceras partes de las direcciones que ofrece IPv4 ya están asignadas.

IPv4 soporta 4.294.967.296 ( $4,294 \times 10^9$ ) direcciones de red diferentes, un número inadecuado para dar una dirección a cada persona del planeta, y mucho menos para cada coche, teléfono, PDA o tostadora; mientras que IPv6 soporta 340.282.366.920.938.463.463.374.607.431.768.211.456 ( $3,4 \times 10^{38}$  ó 340 sextillones) direcciones.

Adoptado por el *Internet Engineering Task Force* en 1994, cuando era llamado "IP Next Generation" o IPng, IPv6 cuenta con un pequeño porcentaje de las direcciones públicas de Internet, que todavía están dominadas por IPv4. La adopción de IPv6 ha sido frenada por la traducción de direcciones de red (NAT), que alivia parcialmente el problema de la falta de direcciones IP. Pero NAT hace difícil o imposible el uso de algunas aplicaciones P2P, como son la voz sobre IP (VoIP) y juegos multiusuario.

Además, NAT rompe con la idea originaria de Internet donde todos pueden conectarse con todos. Actualmente, el gran catalizador de IPv6 es la capacidad de ofrecer nuevos servicios, como la movilidad, Calidad de Servicio (QoS), privacidad, etc. El gobierno de los Estados Unidos ha ordenado el despliegue de IPv6 por todas sus agencias federales para el año 2008.

Se espera que IPv4 se siga soportando hasta por lo menos el 2025, dado que hay muchos dispositivos heredados que no se migrarán a IPv6 nunca y que seguirán siendo utilizados por mucho tiempo.

IPv6 es la segunda versión del Protocolo de Internet que se ha adoptado para uso general. También hubo un IPv5, pero no fue un sucesor de IPv4; mejor dicho, fue un protocolo experimental orientado al flujo de streaming que intentaba soportar voz, video y audio.

Direccionamiento IPv6.

El cambio más drástico de IPv4 a IPv6 es la longitud de las direcciones de red. Las direcciones IPv6, definidas en el RFC 2373 y RFC 2374, son de 128 bits; esto corresponde a 32

dígitos hexadecimales, que se utilizan normalmente para escribir las direcciones IPv6, como se describe en la siguiente sección.

El número de direcciones IPv6 posibles es de  $2^{128} \approx 3.4 \times 10^{38}$ . Este número puede también representarse como  $16^{32}$ , con 32 dígitos hexadecimales, cada uno de los cuales puede tomar 16 valores.

En muchas ocasiones las direcciones IPv6 están compuestas por dos partes lógicas: un prefijo de 64 bits y otra parte de 64 bits que corresponde al identificador de interfaz, que casi siempre se genera automáticamente a partir de la dirección MAC de la interfaz a la que está asignada la dirección.

A menudo se ha argumentado que las direcciones de 128 bits son exageradas, y que Internet nunca necesitará tantas. Debería tenerse en cuenta que el fundamento principal para las direcciones de 128 bits no solo es tener suficientes direcciones disponibles de por vida, sino también asegurar que el encaminamiento podrá ser llevado a cabo eficientemente con un esquema jerárquico que mantenga al espacio de direcciones sin fragmentar. Esto difiere de la situación actual con IPv4, donde un gran número de bloques discretos discontiguos de red pueden ser, y con frecuencia han sido, asignados a una misma organización.

## **2.6 Evolución hacia las redes IP/WDM.**

La red de telecomunicaciones tradicional se considera formada por cuatro capas: IP, ATM, SDH y WDM, superpuestas de la forma que se ilustra en el diagrama (1) de la figura 2.6-a.

Esta estructura es muy robusta porque el nivel IP es portador de la inteligencia; la capa de ATM, por su parte, garantiza la calidad de servicio (QoS); SDH asegura la fiabilidad pues contiene los mecanismos para la recuperación ante fallas, mientras que WDM añade una alta capacidad de transporte.

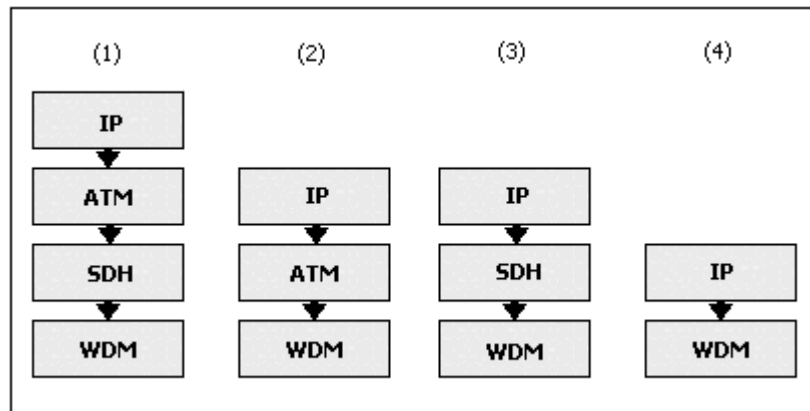


Figura 2.6-a. Evolución hacia IP/WDM

Sin embargo, la estructura tradicional de cuatro capas consume un mayor ancho de banda por lo que se han desarrollado un importante trabajo investigativo para simplificar este modelo.

### 2.6.1 IP / ATM

La solución de superponer IP sobre ATM permite aprovechar la infraestructura ATM existente. Las ventajas inmediatas son el ancho de banda disponible a precios competitivos y la rapidez de transporte de datos que proporcionan los conmutadores. En los casos de NSPs (Network Service Provider) de primer nivel, ellos poseen y operan el backbone ATM al servicio de sus redes IP. La ingeniería de tráfico se hace a base de proporcionar a los routers los PVCs necesarios, con una topología lógica entre routers totalmente mallada. El "punto de encuentro" entre la red IP y la ATM está en el acoplamiento de los subinterfaces en los routers con los PVCs, a través de los cuales se intercambian los routers la información de encaminamiento correspondiente al protocolo interno IGP. Lo habitual es que, entre cada par de routers, haya un PVC principal y otro de respaldo, que entra automáticamente en funcionamiento cuando falla el principal

Sin embargo, el modelo IP/ATM tiene también sus inconvenientes: hay que gestionar dos redes diferentes, una infraestructura ATM y una red lógica IP superpuesta, lo que supone a los proveedores de servicio unos mayores costes de gestión global de sus redes. Existe, además, lo que se llama la "tasa impuesta por la celda", un overhead aproximado del 20% que causa el

transporte de datagramas IP sobre las celdas ATM y que reduce en ese mismo porcentaje el ancho de banda disponible.

La solución IP/ATM presenta serios problemas de escalabilidad. En un escenario en el que los routers IP se unen por medio de enlaces ATM punto a punto, el número de enlaces crece cuadráticamente con el número de *routers*, lo cual supone un problema cuando las redes adquieren una cierta dimensión.

El funcionamiento IP/ATM supone la superposición de una topología virtual de routers IP sobre una topología real de conmutadores ATM. El backbone ATM se presenta como una nube central (el núcleo) rodeada por los routers de la periferia. Cada router comunica con el resto mediante los circuitos virtuales permanentes (PVCs) que se establecen sobre la topología física de la red ATM. Los PVCs actúan como circuitos lógicos y proporcionan la conectividad necesaria entre los routers de la periferia. Estos, sin embargo, desconocen la topología real de la infraestructura ATM que sustenta los PVCs. Los routers ven los PVCs como enlaces punto a punto entre cada par. En la figura 2.6.1-a se representa un ejemplo en el que se puede comparar la diferencia entre la topología física de una red ATM con la de la topología lógica IP superpuesta sobre la anterior.

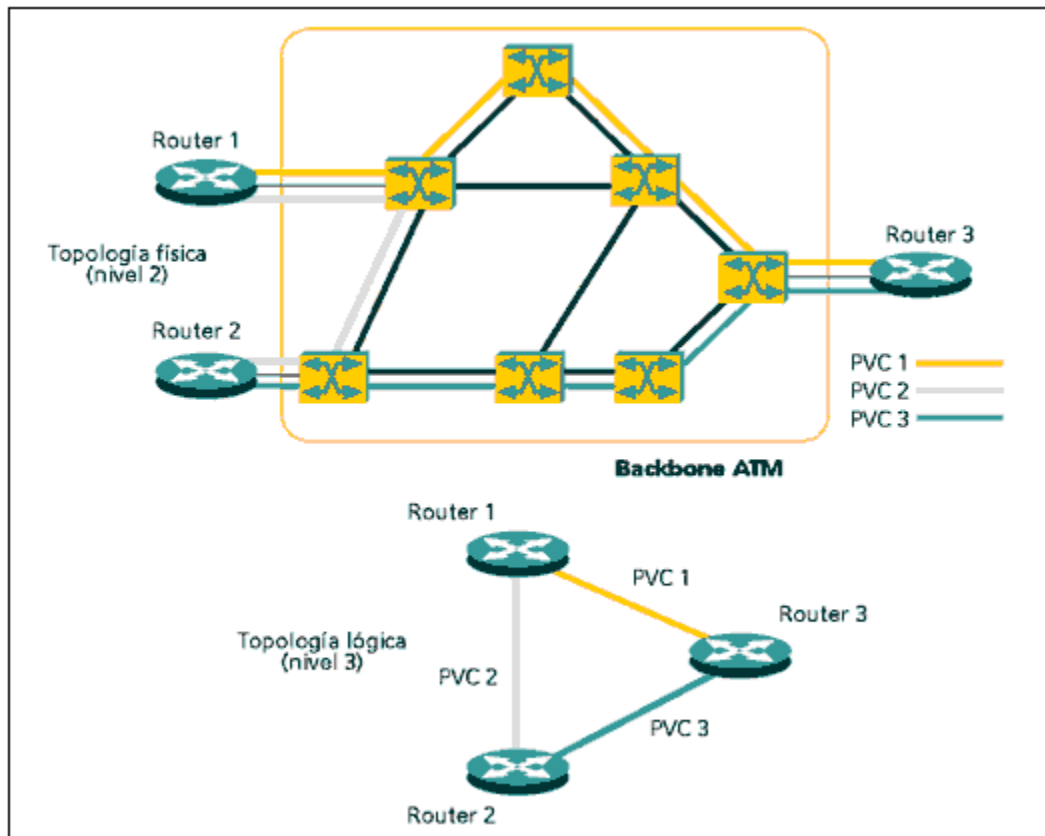


Figura 2.6.1-a. Diferencia topología física ATM con topología lógica IP.

La base del modelo IP/ATM está en la funcionalidad proporcionada por el nivel ATM, es decir, los controles de software (señalización y routing) y el envío de las celdas por hardware (conmutación). En realidad, los PVCs se establecen a base de intercambiar etiquetas en cada conmutador de la red, de modo que la asociación de etiquetas entre todos los elementos ATM determina los correspondientes PVCs. Las etiquetas tienen solamente significado local en los conmutadores y son la base de la rapidez en la conmutación de celdas. La potencia de esta solución de topologías superpuestas está en la infraestructura ATM del backbone; el papel de los routers IP queda relegado a la periferia, que, a mitad de los 90, tenían una calidad cuestionable, al estar basados en funcionamiento por software. En la figura 2.6.1-b se representa el modelo IP/ATM con la separación de funciones entre lo que es routing IP (control y envío de paquetes) y lo que es conmutación (control/señalización y envío de celdas). Aunque se trata de una misma infraestructura física, en realidad existen dos redes separadas, con diferentes tecnologías, con

diferente funcionamiento y, lo que quizás es más sorprendente, concebidas para dos finalidades totalmente distintas.

La solución de superponer IP sobre ATM permite aprovechar la infraestructura ATM existente. Las ventajas inmediatas son el ancho de banda disponible a precios competitivos y la rapidez de transporte de datos que proporcionan los conmutadores. En los casos de NSPs de primer nivel, ellos poseen y operan el backbone ATM al servicio de sus redes IP. Los caminos físicos de los PVCs se calculan a partir de la necesidades del tráfico IP, utilizando la clase de servicio ATM UBR (Unspecified Bit Rate), ya que en este caso el ATM se utiliza solamente como infraestructura de transporte de alta velocidad, no hay necesidad de apoyarse en los mecanismos inherentes del ATM para control de la congestión y clases de servicio. La ingeniería de tráfico se hace a base de proporcionar a los routers los PVCs necesarios, con una topología lógica entre routers totalmente mallada. El "punto de encuentro" entre la red IP y la ATM está en el acoplamiento de los subinterfaces en los routers con los PVCs, a través de los cuales se intercambian los routers la información de encaminamiento correspondiente al protocolo interno IGP. Lo habitual es que, entre cada par de routers, haya un PVC principal y otro de respaldo, que entra automáticamente en funcionamiento cuando falla el principal.

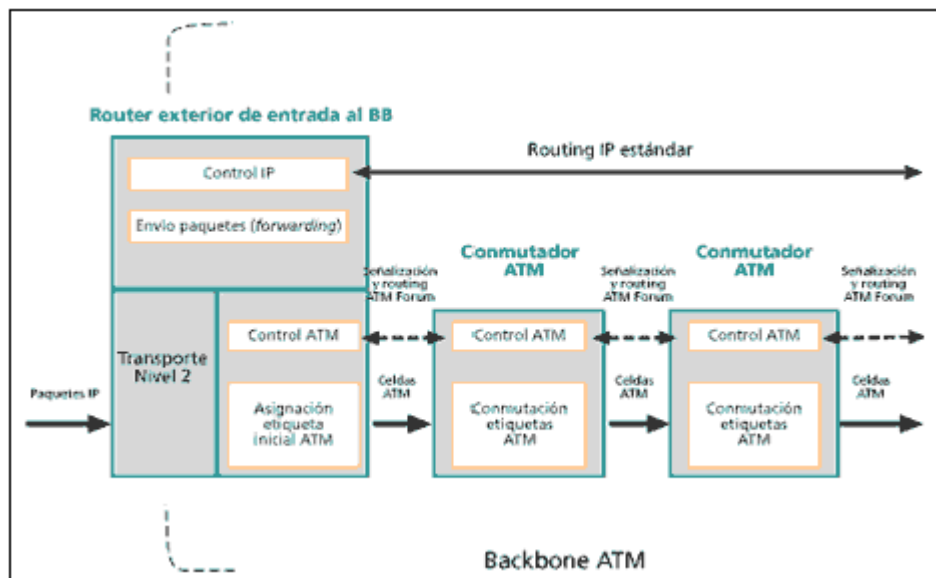


Figura 2.6.1-b. Backbone ATM.

Sin embargo, el modelo IP/ATM tiene también sus inconvenientes: hay que gestionar dos redes diferentes, una infraestructura ATM y una red lógica IP superpuesta, lo que supone a los

proveedores de servicio unos mayores costes de gestión global de sus redes. Existe, además, lo que se llama la "tasa impuesta por la celda", un overhead aproximado del 20% que causa el transporte de datagramas IP sobre las celdas ATM y que reduce en ese mismo porcentaje el ancho de banda disponible. Por otro lado, la solución IP/ATM presenta los típicos problemas de crecimiento exponencial  $n \times (n-1)$  al aumentar el número de nodos IP sobre una topología completamente mallada. Piénsese, p. ej., en una red con 5 routers externos con una topología virtual totalmente mallada sobre una red ATM. Son necesarios  $5 \times 4 = 20$  PVCs (uno en cada sentido de transmisión). Si se añade un sexto router se necesitan 10 PVCs más para mantener la misma estructura ( $6 \times 5 = 30$ ). Una pega adicional del crecimiento exponencial de rutas es el mayor esfuerzo que tiene que hacer el correspondiente protocolo IGP.

Se puede decir que el modelo IP/ATM, si bien presenta ventajas evidentes en la integración de los niveles 2 y 3, lo hace de modo discontinuo, a base de mantener dos redes separadas.

### 2.6.2 IP / SDH

Se puede decir que IP/SDH puede proporcionar un servicio similar teniendo en cuenta que la velocidad de los modernos routers IP, usando MPLS, se aproxima a la de los conmutadores ATM. Aunque una red IP tiene normalmente un "jitter" mayor que una red ATM, este efecto es despreciable si la red tiene interfaces de alta velocidad y ancho de banda suficiente.

En relación a los Paquetes enviados sobre SDH, con la ampliación de capacidades del IP vía MPLS es posible enviar los datagramas IP directamente a SDH Eliminando el overhead de ATM.

SDH forma un enlace Punto a punto entre los enrutadores IP por lo que Utiliza el protocolo PPP el cual proporciona las siguientes funciones:

- Encapsula y transfiere paquetes desde múltiples capas de red sobre un mismo enlace físico
- Establece, configura y monitorea la conexión del nivel de enlace
- Determina y configura los protocolos de nivel de red
- No hay encabezado ATM



El inconveniente es que SDH solo puede operar en el modo de punto a punto

- No hay circuitos virtuales
- No hay ingeniería de tráfico
- La ruta del tráfico es manejada por el IP

Aunque la tecnología IP sobre SDH es viable su aplicación es reducida al envío de datos en alta capacidad, ATM por el otro lado es una plataforma multiservicios pero tiene el inconveniente de tener demasiado overhead. Se abre la puerta para otra tecnología, la cual pretende eliminar las dos capas ATM y SDH para que el protocolo IP sea enviado directamente sobre la capa óptica, se esta hablando de IP sobre WDM o DWDM.

### 2.6.3 Ethernet y GbEthernet

Esta es una tecnología no se puede dejar a un lado ya que se han hecho estudios para que ethernet sea un factor importante dentro de IP/WDM.

Ethernet es el nombre de una tecnología de redes de computadoras de área local (LANs) basada en tramas de datos. El nombre viene del concepto físico de *ether*. Ethernet define las características de cableado y señalización de nivel físico y los formatos de trama del nivel de enlace de datos del modelo OSI. Ethernet se refiere a las redes de área local y dispositivos bajo el estándar IEEE 802.3 que define el protocolo CSMA/CD, aunque actualmente se llama Ethernet a todas las redes cableadas que usen el formato de trama descrito más abajo, aunque no tenga CSMA/CD como método de acceso al medio.

Aunque se trató originalmente de un diseño propietario de Digital Equipment Corporation (DEC), Intel y Xerox (DIX Ethernet), esta tecnología fue estandarizada por la especificación IEEE 802.3, que define la forma en que los puestos de la red envían y reciben datos sobre un medio físico compartido que se comporta como un bus lógico, independientemente de su configuración física. Originalmente fue diseñada para enviar datos a 10 Mbps, aunque posteriormente ha sido perfeccionada para trabajar a 100 Mbps, 1 Gbps o 10 Gbps y se habla de versiones futuras de 40 Gbps y 100 Gbps. En sus versiones de hasta 1 Gbps utiliza el protocolo de acceso al medio CSMA/CD (*Carrier Sense Multiple Access / Collision Detect* - Acceso

múltiple con detección de portadora y detección de colisiones). Actualmente Ethernet es el estándar más utilizado en redes locales/LANs.

Ethernet fue creado por Robert Metcalfe y otros en *Xerox Parc*, centro de investigación de Xerox para interconectar computadoras Alto. El diseño original funcionaba a 1 Mbps sobre cable coaxial grueso con conexiones vampiro (que "muerden" el cable) en 10Base5. Para la norma de 10 Mbps se añadieron las conexiones en coaxial fino (10Base2, también de 50 ohmios, pero más flexible), con tramos conectados entre sí mediante conectores BNC; par trenzado categoría 3 (10BaseT) con conectores RJ45, mediante el empleo de hubs y con una configuración física en estrella; e incluso una conexión de fibra óptica (10BaseF).

Los estándares sucesivos 100 Mbps o Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, y 10 Gigabit Ethernet abandonaron los coaxiales dejando únicamente los cables de par trenzado sin apantallar (UTP - *Unshielded Twisted Pair*), de categorías 5 y superiores y la fibra óptica.

Ethernet es la capa física más popular de la tecnología LAN usada actualmente. Otros tipos de LAN incluyen Token Ring 802.5, Fast Ethernet, FDDI, ATM y LocalTalk. Ethernet es popular porque permite un buen equilibrio entre velocidad, costo y facilidad de instalación. Estos puntos fuertes, combinados con la amplia aceptación en el mercado y la habilidad de soportar virtualmente todos los protocolos de red populares, hacen a Ethernet la tecnología ideal para la red de la mayoría de usuarios de la informática actual.

El estándar original IEEE 802.3 estuvo basado en la especificación Ethernet 1.0 y era muy similar. El documento preliminar fue aprobado en 1983 y fue publicado oficialmente en 1985 (ANSI/IEEE Std. 802.3-1985). Desde entonces un gran número de suplementos han sido publicados para tomar ventaja de los avances tecnológicos y poder utilizar distintos medios de transmisión, así como velocidades de transferencia más altas y controles de acceso a la red adicionales.

**Gigabit Ethernet**, también conocida como **GigE**, es una ampliación del estándar Ethernet (concretamente la versión 802.3ab y 802.3z del IEEE) que consigue una capacidad de transmisión de 1 gigabit por segundo, correspondientes a unos 1000 megabits por segundo de rendimiento contra unos 100 de Fast Ethernet.

Funciona sobre cables de cobre (par trenzado) del tipo UTP y categoría 5, y por supuesto sobre fibra óptica. Se decidió que esta ampliación sería idéntica al Ethernet normal desde la capa de enlace de datos hasta los niveles superiores, mientras que para el resto del estándar sería

tomado del ANSI X3T11 Fiber Channel, lo que otorga al sistema compatibilidad hacia atrás con Ethernet y el aprovechamiento de las posibilidades de la fibra óptica.

**10-Gigabit Ethernet** (XGbE o 10GbE) es el más reciente (año 2002) y más rápido de los estándares Ethernet. IEEE 802.3ae define una versión de Ethernet con una velocidad nominal de 10 Gbit/s, diez veces más rápido que gigabit Ethernet.

El nuevo estándar 10-gigabit Ethernet contiene siete tipos de medios para LAN, MAN y WAN. Ha sido especificado en el estándar suplementario IEEE 802.3ae, y será incluido en una futura revisión del estándar IEEE 802.3.

Hay diferentes estándares para el nivel físico (PHY). La letra "X" significa codificación 8B/10B y se usa para interfaces de cobre. La variedad óptica más común se denomina LAN PHY, usada para conectar routers y switches entre sí. Aunque se denomine como LAN se puede usar con 10GBase-LR y -ER hasta 80km. LAN PHY usa una velocidad de línea de 10.3 Gbit/s y codificación 66B. WAN PHY (marcada con una "W") encapsula las tramas Ethernet para la transmisión sobre un canal SDH/SONET STS-192c.

- **10GBASE-SR.** ("short range") Diseñada para soportar distancias cortas sobre cableado de fibra óptica multi-modo, soporta una distancia entre 26 y 82 m dependiendo del tipo de cable . También soporta una distancia de 300 m sobre una nueva fibra óptica multi modo de 2000 MHz·km (usando longitud de onda de 850nm).
- **10GBASE-CX4.** Interfaz de cobre que usa cables InfiniBand CX4 y conectores InfiniBand 4x para aplicaciones de corto alcance (máximo 15 m) (tal como conectar un switch a un router). Es el interfaz de menor coste pero también el de menor alcance.
- **10GBASE-LX4.** Usa multiplexión por división de longitud de onda para distancias entre 240 m y 300 m sobre fibra óptica multi-modo. También soporta hasta 10 km sobre fibra mono-modo. Usa longitudes de onda alrededor de los 1310 nm.
- **10GBASE-LR** ("long range") Este estándar soporta distancias de hasta 10 km sobre fibra mono-modo (usando 1310nm).
- **10GBASE-ER** ("extended range") Este estándar soporta distancias de hasta 40 km sobre fibra mono-modo (usando 1550nm). Recientemente varios fabricantes han introducido interfaces enchufables de hasta 80-km.
- **10GBASE-LRM** 10 Gbit/s sobre cable de FDDI- de 62.5  $\mu$ m.

- **10GBASE-SW, 10GBASE-LW y 10GBASE-EW.** Estas variedades usan el WAN PHY, diseñado para interoperar con equipos OC-192/STM-64 SONET/SDH usando una trama ligera SDH/SONET. Se corresponden en el nivel físico con 10GBASE-SR, 10GBASE-LR y 10GBASE-ER respectivamente, y por ello usan los mismos tipos de fibra y soportan las mismas distancias. (No hay un estándar WAN PHY que corresponda al 10GBASE-LX4).

Contrariamente a los primeros sistemas Ethernet, 10-gigabit Ethernet esta basado principalmente en el uso de cables de fibra óptica (con la excepción del -CX4). Sin embargo, el IEEE está desarrollando un estándar de 10- gigabit Ethernet sobre par trenzado (10GBASE-T), usando cable de categoría 6A cuya aprobación esta planificada para el año 2006. Además este estándar en desarrollo está cambiando el diseño de half-duplex, con difusión a todos los nodos, hacia solo soportar redes conmutadas full-duplex. Se asegura que este sistema tiene una compatibilidad muy alta con las primeras redes Ethernet y las del estándar IEEE 802.

10-gigabit Ethernet es aún muy nueva, y falta ver que estándares ganarán aceptación comercial.

Una propuesta novedosa es la idea de expandir Ethernet más allá de los límites de la LAN, aprovechando todas las ventajas que ofrece Ethernet respecto SDH/ATM. Dichas ventajas son:

- Ancho de banda escalable a bajo coste: desde 10, 100, 1000 Mbit/s o 10 Gbit/s a un precio comparativamente reducido. En redes SDH aumentar la velocidad de línea conlleva un gran coste.
- Flexibilidad, ancho de banda dinámico: suministro de un ancho de banda en incrementos tan pequeños como 10Kbit/s, seleccionados y ajustados por el cliente, con el cliente pagando sólo por el ancho de banda utilizado. Los cambios en el ancho de banda Ethernet se pueden realizar en segundos, mientras que en tiempo típico requerido para los servicios tradicionales de SDH es de semanas.
- Gestión de red más simple: la gestión de una red Ethernet se simplifica considerablemente debido a la carencia de conversiones de protocolos (SDH y ATM).

- Menor Coste: las redes Ethernet son más económicas de desarrollar que las redes SDH, debido a que requieren un equipamiento de menor coste y una formación del personal menos especializada.

Pero la evolución de Ethernet a MAN/WAN no es tan simple y directa como cabría esperar, fundamentalmente debido a dos principales desventajas que se detallan a continuación:

- QoS: SDH y ATM ofrecen una QoS garantizada, superando a la tecnología Ethernet, que sólo puede ofrecer *best-effort* QoS.
- Supervivencia (protección/restauración): Ethernet permite *loops* que suministran redundancia tolerante a los fallos, pero sin embargo en una red Ethernet *multi-loop*, la reconfiguración para identificar una ruta alternativa, deseable en caso de una avería en la red, puede llevar varios minutos.

Algunas de las razones de posicionamiento de redes ópticas gigabit Ethernet

- 1997 Ethernet domina el 85% de redes LAN.
- 1998 IEEE 802.3z estándar GE e introducción en MAN
- 2001/2 Estándar final 10GE que tiene un futuro próximo y prometedor.

Expertos de red están de acuerdo que GE se convertirá en la tecnología de redes LAN de alta velocidad. Es una buena elección para proporcionar una red troncal (*backbone*) de alta capacidad para organizaciones/instituciones, proporcionando conexiones de alta velocidad con una excelente relación capacidad/coste. Sin embargo GE no es una buena solución para aplicaciones/redes que deseen mover rápidamente una gran cantidad de datos, presenten conexiones muy ocupadas o para el envío de paquetes de tamaño relativamente pequeño, todo ello debido a las características de la técnica MAC de Ethernet (CSMA/CD). (*fuentes* : David Benito. Red Iris).

# CAPÍTULO III

## 3.0 IP sobre WDM.

### 3.1 Redes de Telecomunicaciones Ópticas.

El mundo de las telecomunicaciones evoluciona vertiginosamente con la constante introducción de nuevas tecnologías en el mercado. Dado que la economía evoluciona de un pasado industrial a un futuro basado en la información, la demanda de más ancho de banda se está convirtiendo en un conductor dominante en la mayoría de las sociedades.

La mayoría de las redes de telecomunicaciones están divididas en tres niveles principales *la red de larga distancia, la red metropolitana, y la red de acceso local.*

La red de **larga distancia** es la que típicamente conecta pares de ciudades a través de los nodos de paso.

La red **metropolitana** interconecta oficinas centrales en diferentes grupos de clientes y proporciona acceso a los nodos de paso.

Finalmente, la red de **acceso local**, conecta clientes individuales, pertenecientes a un grupo, con la correspondiente oficina central.

Estos tres niveles del sistema de comunicación se diferencian en diversos aspectos incluyendo los criterios de diseño particulares. Idealmente, el diseño de una red de telecomunicaciones debería considerar simultáneamente estos tres niveles. Sin embargo, debido a su complejidad, el problema de planificación completo se descompone considerando cada uno de los niveles independientemente. Se planifica la red de larga distancia con la información sobre las necesidades globales. En cada área metropolitana, se planifica la correspondiente red de comunicaciones. Finalmente, cada grupo de usuarios aborda el diseño de su propia red de acceso local.

Aunque la mayoría de las redes de telecomunicaciones actuales tienen fibra óptica, esto no las convierte en redes ópticas. En la mayoría de los casos en los que es usada la fibra, ésta sólo se despliega en los enlaces de transmisión para reemplazar a los cables de cobre. Sin embargo, una red óptica es una red de telecomunicaciones con fibras ópticas como enlaces de transmisión,

y con una arquitectura diseñada para explotar las características ópticas de las fibras. Tales arquitecturas involucran tanto dispositivos ópticos como electrónicos. Por lo tanto, el término red óptica no implica exclusivamente red de conexiones puramente ópticas, sino algo más que un conjunto de fibras ópticas que terminan en dispositivos electrónicos.

La tecnología de fibra óptica se ha convertido rápidamente en una de las principales componentes de las redes de comunicación. Este medio de transmisión es de coste efectivo y fiable, y proporciona capacidad casi ilimitada. Esta combinación permite establecer nuevos servicios que requieren grandes cantidades de ancho de banda. De forma paralela, las características únicas de esta tecnología implican la necesidad de nuevos métodos de planificación.

### **3.2 Multiplexación por División de Longitudes de Onda (WDM).**

En teoría, la fibra óptica tiene un ancho de banda extremadamente alto. Sin embargo, dado que la tasa a la cual puede acceder un usuario final está limitada a velocidad electrónica, sólo pueden ser alcanzadas velocidades de unos pocos gigabits por segundo. Por tanto, es la conversión óptica-electrónica la que impide explotar el ancho de banda de una fibra. La multiplexación por división de longitudes de onda (WDM) y los amplificadores de fibra (EDFA-erbium-doped fiber amplifier) son dos desarrollos recientes que permiten superar estas limitaciones.

La tecnología de multiplexación por división de longitudes de onda (WDM) es la transmisión de múltiples señales láser a diferentes longitudes de onda en la misma dirección, al mismo tiempo, y sobre el mismo hilo de fibra. Las tecnologías tradicionales tales como SDH (Synchronous Digital Hierarchy) o su equivalente americano SONET (Synchronous Optical network) están con frecuencia basadas en anillos interconectados, mientras que la tecnología WDM usualmente no restringe a ninguna arquitectura de red especial. A tales redes generales se les denomina redes de tipo malla.

Cada longitud de onda utilizada en la transmisión se convierte en un canal WDM (figura 3.2-a).

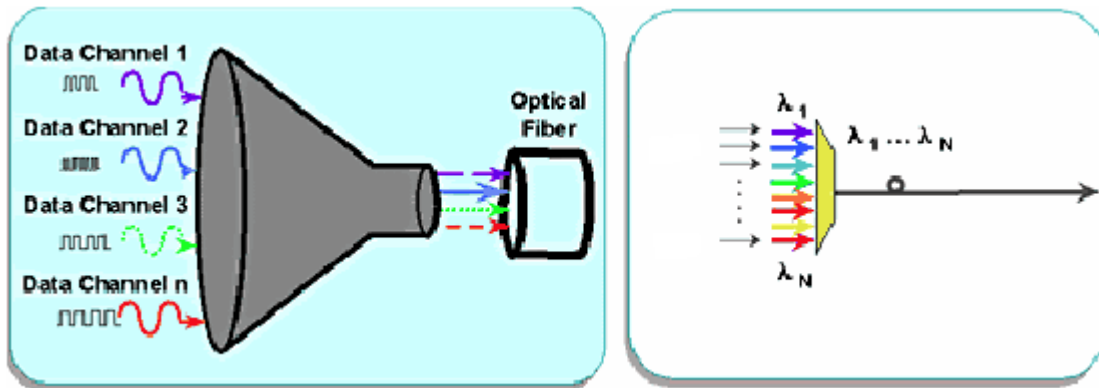


Figura 3.2-a. Conversión longitud de onda en canal WDM.

### 3.2.1 Características del funcionamiento WDM.

El principio de funcionamiento de WDM (*Wavelength Division Multiplexing*) y DWDM (*Dense WDM*) se basa en el transporte de varios flujos de información, cada uno codificado sobre una longitud de onda distinta y multiplexados dentro de una única fibra. De esta manera se logra incrementar de manera considerable la capacidad de las redes de fibra óptica.

Este aumento de capacidad se puede lograr generalmente de varias formas distintas:

- *Incrementando el número de longitudes de onda* incluidas en una fibra y, con ello, el número de canales transportados por la misma. DWDM permite alcanzar altas densidades de empaquetado de portadoras dentro de una sola fibra óptica. Hoy en día son típicos valores de 16 ó 32 longitudes de onda por fibra, pudiendo llegar en el caso de enlaces submarinos hasta 128 o incluso 256.
- *Aumentando la velocidad de transmisión* soportada por cada una de las longitudes de onda. A esto contribuye la fabricación de unas fibras de cada vez mayor calidad, pero existe un límite físico determinado por su dispersión. Actualmente se trabaja con valores de 2,5 Gbit/s (STM-16 / OC-48), llegando en algunos casos a 10 Gbit/s (STM-64 / OC-192).

La utilización de tecnologías WDM aporta otra serie de ventajas importantes:

- WDM trae consigo una reducción de costes en la instalación de fibra óptica. Al ser mayor su capacidad, debido principalmente al hecho de que se pueden transportar varias



longitudes de onda dentro de una sola fibra, será necesario desplegar un número menor de fibras, o aprovechar la ya instalada, para atender una demanda de tráfico creciente.

- Permite a los operadores aumentar la capacidad de sus redes de manera incremental, dándoles la posibilidad de ajustarse a la demanda que exista en cada momento. Para ello, les basta con instalar la fibra e ir activando sus diferentes longitudes de onda de manera progresiva conforme se vayan necesitando. Esto también se traduce en una mayor rapidez a la hora de afrontar aumentos en la capacidad de la red. Esta característica resulta fundamental para que nuevos agentes entren al mercado sin tener que hacer frente a un elevado coste de inversión inicial.
- Para ello les basta con desplegar una fibra e ir activando longitudes de onda conforme vayan necesitando más capacidad de transmisión.
- Cada una de las longitudes de onda puede incluir información transmitida a diferentes velocidades y con distinto formato. Es decir, que DWDM permite transportar información de diversas naturalezas y procedente de aplicaciones distintas dentro de una misma fibra.
- Se puede aumentar la capacidad de la fibra para adaptarse a incrementos de la demanda con sólo cambiar las interfaces de los equipos de transmisión. Por ejemplo, se puede pasar de 16 STM-16 a 80 STM-16 con sólo cambiar las tarjetas de dichos equipos.
- Para usar tecnología WDM, se debe contar con una unidad de equipo en ambos extremos de cada enlace de fibra. Además, para cada longitud de onda o canal en uso, se debe instalar el equipo de canal en ambos extremos del canal. Cada canal WDM es bidireccional y tiene la misma capacidad que un par de fibras.
- En WDM, las funciones de gestión se simplifican en gran medida, puesto que la propia capa óptica en sí goza de una mayor sencillez. La eficiencia del sistema de gestión óptico pasa porque la mayoría de las tareas se puedan realizar en el dominio óptico, sin necesidad de realizar ninguna conversión optoelectrónica, que lo único que produce es un mayor consumo de recursos e introduce más complejidad en las redes.

Sin embargo, también hay que tener en cuentas los siguientes condicionantes:

- Las características de las fibras influyen de manera directa en las prestaciones de DWDM, pudiendo llegar a limitarlas de manera considerable.

- Cuanto mayor sea la pureza de la fibra, mayor será el número de longitudes de onda que podrá transportar así como la velocidad de la información transmitida por cada una de ellas.
- Se requieren componentes ópticos (láseres, fibra) de gran calidad, que elevan el coste de la solución.
- Hay muchos parámetros que difieren en función del suministrador (como la distancia máxima sin amplificación, el número de canales por fibra, el ancho de banda de cada canal o la tasa óptica agregada de salida) y que van a influir de manera directa en la configuración y las prestaciones de los sistemas.
- En la actualidad este tipo de sistemas se encuentra en un punto intermedio de su desarrollo.

### **3.2.2 Normas UIT para WDM.**

La UIT para que las separaciones entre canales sea la adecuada estableció algunas “recomendaciones” para el trabajo con esta tecnología la cual son UIT-T G.692 que establece condiciones el trabajo y posterior aplicación de esta tecnología.

También se establecen otras recomendaciones en el ámbito DWDM y CWDM las cuales son:

- G.694.1 Tecnología DWDM. Más de 16 canales, en la cual establece bandas de trabajo en la S, C, y L. Con separaciones entre canales de 0.8 nm (100GHz), 0.4 nm (50 GHz), 0,2 nm (25GHz) y próximamente 12,5GHz.
- G.694.2 Tecnología CWDM. 18 canales separados entre si por 20 nm dentro de las Bandas S, C y L.
- Velocidad por canal 1.25, 2.5, 10 y 40 Gbps.

(Fuente: Adolfo García Unitronics comunicaciones. RED IRIS)

### 3.3 Componentes de una red óptica.

Todos los avances conseguidos en el contexto de las comunicaciones ópticas tienen como fin hacer realidad el concepto de "red todo óptica". Avances significativos se han hecho al respecto con la invención de amplificadores ópticos *EDFA* (*Erbium-Doped Fiber Amplifiers*), *OADM*s (*Optical Add/Drop Multiplexeres*) y *OXC*s (*Optical CrossConnects*) (ver Figura 3.3-a). Todos estos desarrollos tienen como objetivo común conseguir realizar en el dominio óptico tareas que hasta ahora sólo podían llevarse a cabo en el dominio eléctrico y requiriendo, por tanto, conversiones optoelectrónicas que aumentan el coste.

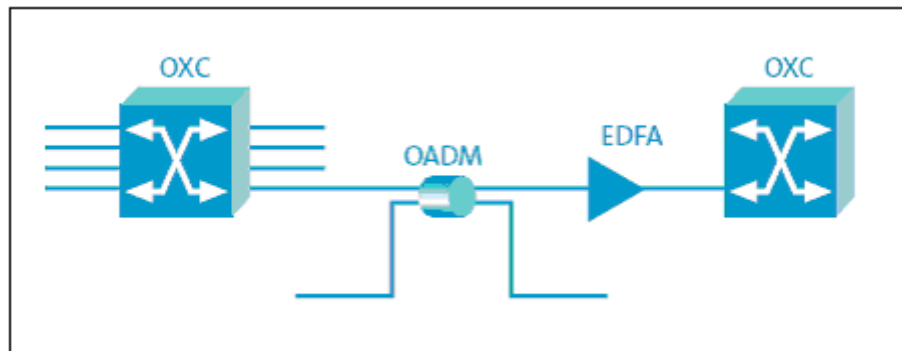


Figura 3.3-a. Componentes de una red óptica

#### 3.3.1 Amplificadores ópticos EDFA (Erbium-Doped Fiber Amplifiers).

La amplificación es el proceso de restaurar la señal óptica a su poder óptico original y sin distorsión después de que la señal haya perdido poder al pasar a través de un hilo de fibra. Este proceso es particularmente importante en entornos WDM. Los amplificadores estándares no tienen elementos electrónicos y consecuentemente no precisan la clásica conversión eléctrico-óptico y óptico-eléctrico, eliminando así la necesidad de ancho de banda adicional.

El desarrollo reciente más importante ha sido la comercialización de los amplificadores EDFA, que amplifican las señales en muchas longitudes de onda diferentes simultáneamente.

La fibra, como todo medio de transmisión, introduce una determinada atenuación que provoca la necesidad de emplear amplificadores o regeneradores cuando los enlaces superan una cierta longitud. En los últimos tiempos se han desarrollado nuevos amplificadores EDFA,

amplificadores de fibra dopados con erbio, capaces de completar todo el proceso de amplificación en el dominio óptico.

Otra de las ventajas que introducen este tipo de dispositivos es que permiten amplificar varias o todas las longitudes de onda que se transmiten en una fibra, es factible conseguir EDFAs con curvas de ganancia planas en tercera ventana, es decir, que, combinándolos con DWDM, además de lograr un ahorro en fibra también permite reducir el número de amplificadores necesarios.

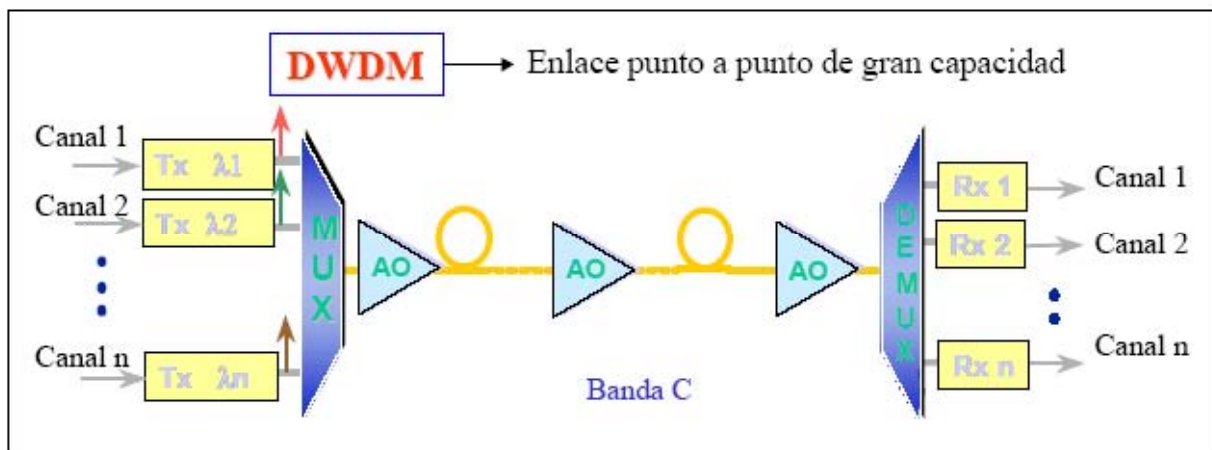


Figura 3.3.1-a. Ejemplo de utilización de amplificadores ópticos.

### 3.3.2 Multiplexores de Inserción/Extracción (OADM).

Estos dispositivos son capaces de extraer la información contenida en cualquiera de las longitudes de onda de la fibra en cualquier punto intermedio de la misma.

Además de la extracción, también permiten introducir canales a mitad de fibra.

Los primeros equipos de estas características no son sintonizables, es decir, deben ser programados "a mano" por un operario y emplean longitudes de onda fijas, lo que supone una verdadera complicación para las tareas de gestión y reduce considerablemente la flexibilidad de las redes. Los OADMs sintonizables marcarán un nuevo hito en este aspecto y facilitarán en gran medida la gestión de las redes ópticas.

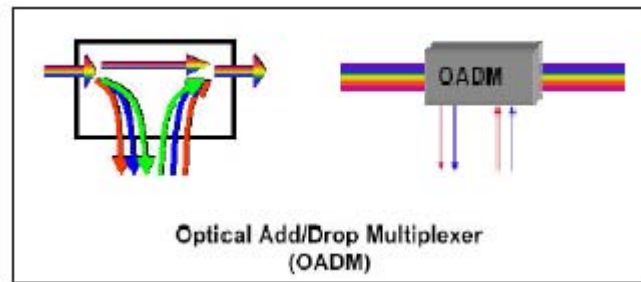


Figura 3.3.2-a. Multiplexor OADM

Un tipo de multiplexor OADM es el OADM espalda con espalda.

El nombre ADM espalda-espalda se deriva del hecho que dos multiplexores WDM se ordenan espalda con espalda para formar una terminación en el enlace WDM (ver figura 3.3.2-b).

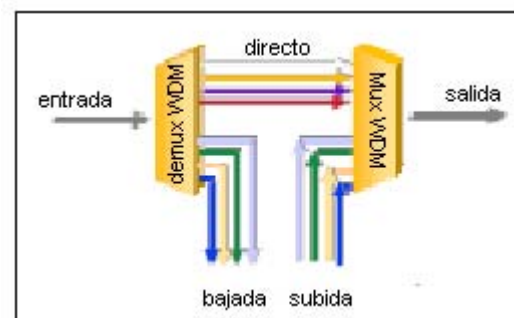


Figura 3.3.2-b. OADM espalda-espalda

El demultiplexor interrumpe la señal WDM con todas las longitudes de onda que llegan con la señal. Algunas longitudes de onda se bajan y otras continúan por el multiplexor.

En el multiplexor el proceso es inverso. Algunas longitudes de onda se suben y siguen, junto con las directas hacia la salida. Se forma una nueva señal WDM.

Este tipo de ADM se construye normalmente como componente pasivo y se usa típicamente en sistemas de bajo volumen, como por ejemplo en sistemas con 8 a 16 canales.

Esta clase de operación permite también la posibilidad de reamplificar, reformar y retemporizar las señales de los canales, pero aquellos que continúan directos. ADM espalda-espalda son complejos y más caros que los OADMs que están apareciendo.

Los OADM se utilizarían en un sistema óptico como lo muestra la figura 3.3.2-c.

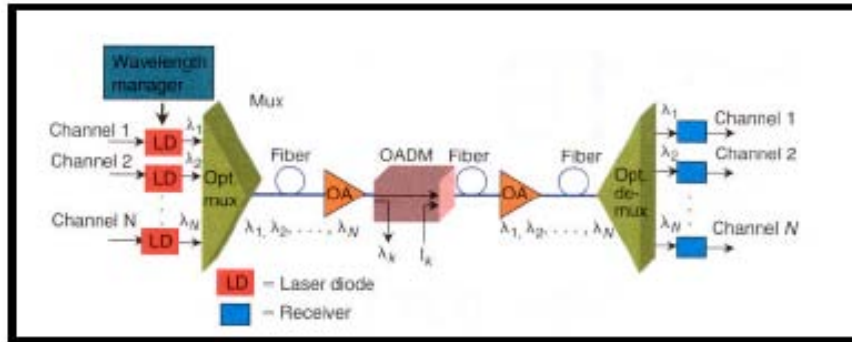


Figura 3.3.2-c. Utilización OADM: inserción / extracción en longitud de onda.

### 3.3.3 Conmutadores ópticos (OXC)

Para empezar a hablar de conmutadores ópticos primero hay que referirse a su utilización ósea a nodos de redes ópticas.

Los nodos de red pueden tener distintos tipos de funcionalidad. Se pueden clasificar en orden creciente de complejidad del siguiente modo:

*Nodos Estáticos.* Son los acopladores direccionales y los conductores estáticos.

*Nodos Dinámicos.* El nodo dinámico más simple es un interruptor de división de espacio, que es comúnmente llamado dispositivo de conexión óptica cruzada (OXC - Optical Cross-Connect). Las redes WDM pueden interconectar datos ópticamente mediante el uso de dispositivos OXC. Un sistema OXC puede incluir conversión óptico-electrónico o ser completamente óptico. Los sistemas que requieren conversión están equipados con transmisores y receptores. Estos sistemas convierten los datos del dominio óptico al electrónico, seguidamente los interconectan mediante el uso de un centro de cambio eléctrico, y finalmente convierten los datos nuevamente al dominio óptico. Los sistemas OXC completamente ópticos interconectan los datos enteramente en el dominio óptico.

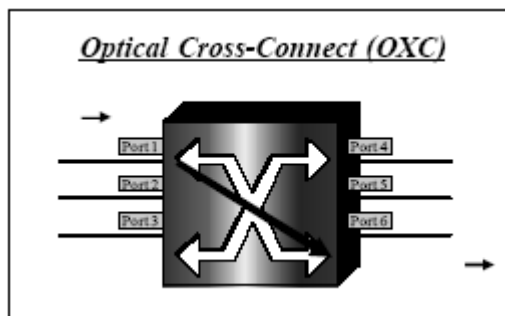


Figura 3.3.3-a. Conmutador óptico (OXC)

La restricción de continuidad de longitud de onda significa que la señal óptica debe tener la misma longitud de onda desde su origen hasta su destino. Es posible evitar esta restricción mediante la instalación de convertidores de longitudes de onda en los sistemas OXC completamente ópticos. Un convertidor de longitudes de onda es un dispositivo óptico capaz de trasladar la señal desde una longitud de onda entrante a una longitud de onda saliente posiblemente diferente entre las longitudes de onda disponibles en el sistema. Los convertidores de longitudes de onda relajan la restricción de continuidad de longitud de onda. Sólo es necesario que esté disponible alguna longitud de onda saliente entre las disponibles en el sistema. De esta manera se reduce el número de longitudes de onda necesarias para conducir un conjunto de demandas. Recíprocamente, serán necesarias menos longitudes de ondas distintas para conducir la demanda, resultando en un mejor aprovechamiento del ancho de banda.

### **3.3.4 Routers de altas prestaciones.**

Uno de los factores que van a posibilitar la construcción de grandes troncales de red de altas prestaciones es la disponibilidad de conmutadores/encaminadores de altas prestaciones. Estos equipos, deben su elevado rendimiento a características como:

- La integración en el hardware, mediante el uso de circuitos de aplicación específica ASICs (*Application Specific Integrated Circuits*), de funciones que anteriormente los *routers* efectuaban mediante software.
- El aumento del número de puertos/interfaces por tarjeta de línea, lo que reduce el espacio necesitado para instalar los equipos, a la vez que facilita la gestión y mantenimiento de los mismos.
- La capacidad de "*crossconexión*" sin bloqueo para un elevado número de entradas/salidas. (fuente [www.telefonica.es](http://www.telefonica.es) área proyectos).

En general se pueden distinguir dos tipos de conmutadores de altas prestaciones. Los primeros, con rendimientos del orden de varios *gigabits* por segundo de capacidad de procesamiento de paquetes, conocidos como GSRs (*Giga Switch Routers*). Estos equipos, que son

los que actualmente se emplean en el núcleo de la red, en el futuro pasarán a la periferia de la misma, dedicándose a tareas de acceso, como son la de facilitar la interconexión a la red IP correspondiente y el establecer perfiles de tráfico y políticas de admisión.

El segundo grupo es el de los TSRs (*Tera Switch Routers*), equipos de arquitectura distribuida, altamente escalables mediante avanzadas estructuras de "crossconexión" y de elevadas prestaciones en cuanto al número de paquetes procesados por segundo; se manejan cifras que oscilan entre varias centenas de millones de paquetes por segundo hasta alcanzar en algún caso más de 63.000 Millones de paquetes/seg.

A continuación se señalan algunas de las características de los *routers* de altas prestaciones:

- *Interfaces de alta velocidad.* La interfaz de acceso a Internet esta evolucionando con gran rapidez, desde los módem analógicos a velocidades del orden de unos pocos kbit/s hasta alcanzar actualmente velocidades del orden de Mbit/s, gracias a la digitalización del bucle de abonado con técnicas xDSL o los cable módem en las redes de cable. Por tanto, es lógico esperar un aumento en la velocidad de conexión de los proveedores de servicio de Internet al *backbone*, pasando de las velocidades actuales que oscilan desde unos pocos Mbit/s hasta 155 Mbit/s (OC-3/STM-1), a velocidades de conexión que pudieran alcanzar varios Gbit/s. La mayoría de los TSRs disponen de mecanismos propietarios para combinar múltiples enlaces físicos de entrada en un único flujo lógico IP de salida, mejorando las prestaciones del encaminamiento IP. Este flujo lógico de salida se transporta sobre una única portadora óptica de alta velocidad de hasta 40 Gbit/s (OC-768/STM-256) entre los TSRs. Los protocolos de las capas superiores ven esos enlaces como una única entidad lógica con una capacidad total equivalente a la suma de las capacidades de todos los miembros de ese enlace compuesto. El orden de los paquetes se mantiene a nivel de microflujos de modo que se proteja la integridad de la secuencia de los paquetes. Actualmente estos mecanismos son propietarios de los fabricantes de los equipos.
- *Reenvío de paquetes.* Es el proceso de mover paquetes desde las interfaces de entrada a las de salida, tomando la decisión del destino tras analizar la cabecera del paquete IP



entrante. Los actuales GSR/TSR disponen de hardware dedicado para efectuar las búsquedas, frente a los clásicos, que realizan este proceso mediante software.

- *Colas.* Los *routers* deben disponer de medios para almacenar paquetes de datos, de manera que puedan procesar a la entrada, con ciertos criterios de prioridad, múltiples paquetes que se dirigen a una misma salida. Los GSRs y TSRs implementan múltiples colas a la entrada, mediante un mecanismo más conocido como VOQ (*Virtual Output Queuing*), que optimiza el caudal de salida de los enlaces y la latencia de los paquetes en el equipo.
- *Estructura de conmutación (switching fabric).* Es uno de los componentes crítico en el diseño de un GSR/TSR, ya que todo el tráfico que deba ser encaminado o reenviado atraviesa esta plataforma, pudiéndose convertir la estructura de conmutación en el cuello de botella del equipo. Existen tres tipos básicos:
  - Interconexión mediante *bus*.
  - Interconexión mediante memoria compartida.
  - Empleando una matriz de "*crossconexión*".

Habitualmente, la estructura de conmutación de estos equipos procesa celdas internamente o pequeños paquetes de tamaño prefijado, por ejemplo 64 bytes, con independencia del formato de paquete que deba encaminar o conmutar. De esta manera, el planificador del *backplane* aumenta la eficiencia de conmutación al poder trabajar de modo síncrono con paquetes de tamaño variable y de llegada asíncrona.

La posición en el mercado actual de los dos tipos de equipos es diferente. Los GSRs se utilizan hoy en día como los componentes principales del *backbone* de Internet, con resultados satisfactorios. Esto elimina al menos por el momento la necesidad de introducir en la red los TSRs, y por tanto está limitando su desarrollo comercial. Aunque es indudable que en el futuro será necesario el despliegue de unos equipos tan potentes, está claro que muchas de las propuestas de los TSRs se han adelantado a las necesidades del mercado. (fuente [www.telefonica.es](http://www.telefonica.es) área proyectos).

### **3.4 Arquitecturas de redes ópticas WDM.**

Según el nivel de control en los nodos de red, se consideran tres clases de arquitecturas de redes ópticas WDM: redes de emisión y selección, redes de conducción de longitudes de onda, y redes de ondas luminosas lineales.

La que principalmente se está estudiando son las redes de conducción de longitudes de onda, que pueden incluir selectividad estática o dinámica en los nodos de red. Estas redes no están restringidas a ninguna topología física particular. Una longitud de onda puede ser seleccionada en un nodo de red y ser conducida individualmente. Los nodos contienen transmisores y receptores que pueden seleccionar cualquier longitud de onda de un rango determinado.

Entonces los caminos ópticos son punto-a-punto y para obtener conectividad multipunto es necesario el uso de múltiples conexiones ópticas punto-a-punto ópticas (WDM) y un par transmisor-receptor para cada conexión. Además es posible incluir conversión de longitudes de onda en la red.

Los problemas más relevantes que surgen en la conducción de longitudes de ondas son los siguientes.

La conducción y asignación de longitudes de onda (RWA- Routing and Wavelength Assignment) es uno de los problemas fundamentales en redes de conducción de longitudes de onda. Este problema consiste en asignar una longitud de onda disponible a una conexión y establecer dicha longitud de onda en el transmisor y en el receptor.

El problema está presente en la mayoría de las problemáticas que surgen en la planificación de sistemas WDM.

### **3.5 Integración de la transmisión óptica con la capa IP.**

En esta integración uno de los principales sino la principal tecnología que pretende aunar esto es GMPLS, acrónimo del término MPLS generalizado, es una propuesta de extensión del estándar MPLS. Su objetivo es integrar en un mismo plano de control la red IP y los conmutadores ópticos, de forma que el operador vea el reencaminamiento óptico como una

funcionalidad más de los *routers* IP. Los promotores de esta propuesta son los fabricantes de *routers* y su estandarización se inició a principios del año 2001 en el seno del Internet Engineering Task Force (IETF).

### **3.6 Calidad de servicio en redes IP.**

Uno de los requisitos principales para que el proceso de migración hacia la red única se desarrolle con éxito es que las tecnologías de conmutación de paquetes permitan ofrecer servicios de tiempo real, típicamente la voz, asegurando a los usuarios los mismos niveles de calidad que les ofrecen hoy en día las arquitecturas basadas en conmutación de circuitos.

Desde sus orígenes, las redes IP han centrado su funcionamiento en mecanismos del tipo *best-effort*, que consiste en que todos los paquetes reciben el mismo tratamiento, y la red simplemente se limita a asegurar que éstos alcanzan su destino final, pero sin llegar a adquirir compromisos de calidad de ningún tipo. Esta filosofía ha aportado una gran sencillez a la gestión de red, lo que ha sido un factor muy importante para la rápida extensión de las redes IP.

Las degradaciones del servicio en términos de *throughput*, retardo y *jitter* afectan en el modelo *best-effort* a todos los servicios por igual, y esto puede no ser tolerable en las redes de nueva generación, en cuyo seno va a convivir tráfico perteneciente a servicios de naturaleza muy diferente y con requisitos muy distintos: aplicaciones no sensibles a retardos, como el correo electrónico o la transferencia de archivos, y aplicaciones basadas en el intercambio de flujos en tiempo real.

Existe en la actualidad la idea, relativamente extendida, de que el sobredimensionado de la red en términos de ancho de banda y de prestaciones de equipos evitará cualquier posible situación de congestión y así evitará los retardos intolerables para las aplicaciones más exigentes. A esta propuesta contribuyen decisivamente el crecimiento de la capacidad de las redes y el abaratamiento sostenido del precio de la capacidad de transmisión, es decir, cada vez se pueden transmitir más bit/s de forma más barata.

No obstante, desde otros sectores de considerable influencia operadores tradicionales y fabricantes de equipos, se afirma que hasta ahora el incremento de la demanda ha ido siempre en paralelo a los avances tecnológicos, por lo que se hacen necesarios nuevos mecanismos que

permitan diferenciar el tratamiento de la red a los distintos servicios con requisitos de calidad heterogéneos.

Por otra parte, en los últimos tiempos ha aumentado de manera espectacular el número de usuarios de las redes de telecomunicación. Como consecuencia de este crecimiento, ha sido inevitable la segmentación de los clientes. La demanda ha dejado de ser homogénea y ahora confluyen usuarios con perfiles muy distintos, cada uno con sus propias necesidades y buscando una utilidad distinta a su conexión a la red. Algunos, por ejemplo, la emplean como herramienta de trabajo, mientras que otros buscan en ella un simple medio de entretenimiento para satisfacer sus momentos de ocio.

Bajo estas condiciones, y desde un punto de vista de negocio, puede ser beneficioso para los operadores ofrecer niveles diferenciados de calidad que se ajusten a los distintos segmentos de clientes, fijando el precio en función de la calidad ofrecida por cada clase de servicio.

Estas son las razones por las que desde hace cierto tiempo se está invirtiendo un esfuerzo considerable en que las nuevas arquitecturas estén capacitadas para diferenciar flujos de tráfico procedentes de aplicaciones de características distintas, y en que incluyan mecanismos avanzados de gestión de tráfico. Con el propósito de habilitar las redes de nueva generación para soportar servicios de tiempo real, se están desarrollando diferentes soluciones que permiten la implementación de mecanismos de provisión de calidad de servicio en el seno de redes basadas en el protocolo IP. En estos temas se está centrando gran parte de los esfuerzos de la IETF, encargada de estandarizar soluciones como MPLS y *Diff-Serv*, que son las propuestas más maduras entre todas las realizadas en los últimos años en este campo.

La aportación principal de MPLS pasa por las mejoras que permite alcanzar en la gestión de las rutas que siguen los flujos de tráfico, mientras que la mayor aportación de *Diffserv* viene dada por los mecanismos que introduce para manejar la prioridad de los flujos de tráfico. A continuación se describen ambas soluciones en detalle.

### 3.6.1 MPLS

El protocolo MPLS (*MultiProtocol Label Switching*) pretende aunar las capacidades de gestión de tráfico de nivel 2 con la flexibilidad y la escalabilidad propias del encaminamiento de nivel 3.

El funcionamiento de este protocolo se caracteriza porque realiza la conmutación de los paquetes IP de acuerdo a la información contenida en una etiqueta (*label*) introducida entre las cabeceras de nivel 2 y nivel 3. De esta manera se consigue que las redes de datagramas sean capaces de funcionar como redes de conmutación de circuitos virtuales, lo que les proporciona una cierta orientación a conexión. El objetivo final es que se pueda realizar una gestión de los recursos de red basada en reserva de capacidades de transmisión extremo a extremo.

Una ventaja añadida es que la conmutación basada únicamente en una etiqueta simplifica considerablemente el procesamiento respecto a la conmutación de datagramas IP, ya que se evita la ejecución de una serie de procesos, como algoritmos de encaminamiento de nivel de red.

Una red MPLS está constituida por una agrupación de LSRs (*Label Switching Routers*), que son *routers* capaces de realizar el encaminamiento en función de la etiqueta MPLS, la cual identifica el paquete como perteneciente a un determinado camino. La correspondencia entre los flujos y las etiquetas se realiza en los routers de borde de la red, denominados en este contexto LERs (*Label Edge Routers*). Cada LSR de la red se encarga de analizar la etiqueta de los paquetes recibidos para determinar el enlace de salida por el que deben ser retransmitidos, así como la nueva etiqueta que los debe acompañar. Toda esta información está contenida en tablas de conmutación que deben residir en todos los nodos y ser inicializadas como paso previo a la transmisión de los paquetes.

Se denomina LSP (*Label Switching Path*) al camino específico que sigue un paquete a través de la red determinado por las etiquetas que se le asignan, es conceptualmente similar a un canal virtual de ATM y puede ser punto a punto, punto a multipunto, multipunto a punto o multipunto a multipunto.

En una primera fase, el LSR de entrada a la red debe establecer un LSP por el que se van a transmitir los paquetes. Para ello envía un mensaje hacia el LSR destino, el cual contesta con la transmisión, siguiendo el camino inverso, de la etiqueta que se debe emplear. Cada uno de los nodos de este camino procesa el mensaje guardando la etiqueta que debe usar para transmitir los

paquetes hacia el LSR siguiente y lo reenvía hacia el nodo anterior incluyendo la etiqueta que éste debe emplear para comunicarse con él. De esta manera queda establecido el LSP. El encargado de esta misión es siempre el nodo destino de cada enlace en el que se utiliza una etiqueta: es éste el que, tras tomar la decisión sobre el significado, la distribuye a sus antecesores. Para realizar esta función de distribución se utilizan varios protocolos, similares en su funcionalidad a los protocolos del plano de control de ATM.

El empleo de MPLS aporta una serie de ventajas que complementan al protocolo IP:

- *Agregación de flujos.* Por un lado, posibilita la realización de agregación de flujos. Permite que varios flujos distintos sean transmitidos a través de un camino común identificados por una única etiqueta y siendo tratados, a todos los efectos, como un solo flujo. Esta es una de las mayores ventajas que introduce MPLS en el núcleo de la red y supone un alivio a los problemas de escalabilidad característicos de la tecnología ATM.
- *Integración de tráfico.* Otra de las grandes aportaciones de MPLS pasa por la mejora de la calidad de servicio que pueden ofrecer las redes IP. El encaminamiento actual de Internet se realiza atendiendo a una serie de criterios demasiado simples: las tablas de encaminamiento permiten buscar la ruta óptima según una determinada métrica y los posibles caminos alternativos no son empleados, concentrando todo el tráfico en determinados puntos de la red y produciendo una utilización de los recursos poco uniforme. En el seno de la IETF se denomina "ingeniería de tráfico" (*traffic engineering*) a la selección de varios caminos a través de una red para repartir la carga sobre varios enlaces y aprovechar todos los recursos de manera óptima en cada momento. Haciendo uso de MPLS, en la fase de establecimiento del LSP se pueden tener en cuenta los criterios apropiados con el fin de establecer rutas prefijadas para los paquetes. De esta manera, se da una cierta orientación a conexión a la red IP que permite introducir una serie de mecanismos de cara a obtener una mejor gestión de los recursos que pueda garantizar determinados niveles de calidad de servicio para los flujos. También es posible dirigir el tráfico desde enlaces sobrecargados de la red hacia otros que estén infrautilizados, obteniendo una distribución más uniforme de la carga, que se traduce en un mejor aprovechamiento de los recursos.

- *Redes privadas virtuales.* Las "redes privadas virtuales" (VPNs – Virtual Private Networks) ofrecen conectividad entre varios sitios privados empleando un núcleo de red compartido y aportando las mismas funcionalidades (seguridad, fiabilidad, capacidad de gestión, etc.) de las que se dispondría si se hiciera sobre una red privada. Pueden ser implementadas sobre la Internet pública o sobre la red de un proveedor de servicios.

No obstante, todavía no está claro que la solución a la provisión de calidades de servicio garantizadas pase por el uso generalizado de MPLS. En principio, esta era una solución a un problema puntual (la integración de entornos IP y ATM), y como tal ha sido un éxito. Por otra parte, como se ha señalado, su orientación al paradigma de la conmutación de circuitos la hace ideal para la gestión de VPNs. Sin embargo, esta misma concepción presenta ciertos inconvenientes, algunos de ellos difícilmente asumibles por una solución a largo plazo de gestión de red extremo a extremo. (fuente [www.telefonica.es](http://www.telefonica.es) area proyectos).

### 3.6.2 DiffServ.

Gran parte de los esfuerzos realizados por la IETF en los últimos tiempos se han plasmado en la definición de arquitecturas, como *IntServ* o *DiffServ*, que permiten diferenciar entre sí los flujos que atraviesan una red en términos de prestaciones, de acuerdo a unas garantías (*IntServ*) o expectativas (*DiffServ*) de calidad.

Los primeros esfuerzos se destinaron al desarrollo de una arquitectura de servicios integrados (*IntServ - Integrated Services*) a través de un grupo de trabajo del mismo nombre. La propuesta pasaba por dar un tratamiento individualizado a cada uno de los flujos que atravesaban las redes. Sin embargo, esta solución resulta demasiado ambiciosa y presenta serios problemas de escalabilidad, puesto que el número de flujos puede llegar a ser realmente elevado dentro de la red de transporte.

Como alternativa, el grupo de trabajo *DiffServ (Differentiated Services)* propuso una arquitectura en la que el tratamiento se lleva a cabo sobre agrupaciones de flujos, de manera que se trata por igual a todos los flujos que requieren la misma clase de servicio. Así se consiguen evitar los problemas de escalabilidad de los que adolecía *IntServ*.

Por medio de un contrato de tráfico, la red se compromete a dar un determinado trato a los paquetes, con vista a ofrecer una calidad de servicio definida, siempre y cuando el flujo satisfaga unos determinados parámetros estadísticos, como pueden ser la tasa de pico o la tasa media. El tratamiento viene determinado por el contenido del campo DS de la cabecera del paquete IP, que se corresponde con el campo TOS (*Type Of Service*), en el caso de IP, o con el campo *traffic class*, cuando se trata de IPv6.

Los paquetes entran en la red de tránsito con una determinada marca, indicativa de la calidad de servicio de que son acreedores, en función de que cumplan o no con el contrato de tráfico previamente establecido, que va a condicionar el tratamiento que los nodos y enlaces les otorguen.

Todos los nodos del núcleo de la red, tanto los exteriores como los interiores, deben disponer de mecanismos de prioridad capaces de discriminar los paquetes en función de sus marcas este es un requisito que cumplen la práctica totalidad de los equipos actuales. El tratamiento de los paquetes se concreta en lo que se conoce como PHBs (*Per Hop Behaviours*), que se corresponden con distintos niveles de prioridad:

- *Prioridad de servicio*. Determina qué paquete se atiende en primer lugar de todos los que están esperando a ser transmitidos por un enlace.
- *Prioridad de descarte*. En el interior de los nodos los paquetes son almacenados en buffers de tamaño finito. Como consecuencia de esto, cuando se agota su capacidad hay que proceder al descarte de uno o más paquetes. La prioridad de descarte permite determinar cuáles son los paquetes que se van a descartar cuando se produzca esta situación.

Durante su recorrido a través de la red, un paquete recibe distintos PHBs. En los nodos de la misma, en función del tratamiento de que sea acreedor, de manera que el servicio ofrecido a un flujo viene determinado por esa sucesión de PHBs. En este contexto, es necesario definir un conjunto de servicios extremo a extremo como sucesiones de PHBs.

La IETF se ha centrado en la especificación de dos tipos de PHBs distintos:

- *EF (Expedited Forwarding)*. Define el tratamiento que se debe dar a los paquetes pertenecientes a flujos de servicios de tiempo real, permitiendo asegurar bajos retardos



extremo a extremo, bajo *jitter*, baja probabilidad de pérdidas y una tasa mínima garantizada. A los paquetes conformes con el contrato de tráfico se les da un tratamiento de máxima prioridad de servicio en las colas de los distintos nodos, mientras que a los no conformes no tiene sentido darles un tratamiento de menor prioridad, puesto que se traduciría en unos retardos demasiado altos y, en todo caso, inaceptables para este tipo de aplicaciones. Por esta razón son descartados directamente evitando de esta manera el consumo innecesario de recursos.

- *AF (Assured Forwarding)*. En este caso se definen cuatro prioridades de servicio diferenciadas, cada una de las cuales soporta tres niveles de prioridad ante descartes distintos. La diferenciación en niveles de calidad de servicio viene determinada por la reserva de recursos, ancho de banda y espacio en colas. Además, se trata de minimizar las congestiones a largo plazo mediante la inclusión de mecanismos activos de gestión de colas, como RED, RIO o WRED. Dentro de una misma clase de servicio, los paquetes pueden presentar tres probabilidades de descarte distintas en caso de congestión, con vistas a que el tráfico conforme al contrato no sufra tanto este inconveniente. De esta manera, a los paquetes no conformes se les otorga una menor prioridad, que equivale a una mayor probabilidad de descarte. Así pues, el tratamiento ofrecido a los paquetes de un determinado flujo dependerá de la cantidad de recursos asignados para los flujos de su clase, de la carga de los mismos y de su probabilidad de descarte ante situaciones de congestión.

Además de estos dos tratamientos, también se contemplan mecanismos que presten un servicio *best-effort* como el de Internet. Afectaría a los paquetes de los flujos que no desean contratar una calidad de servicio mayor, además de a los paquetes no conformes pertenecientes a flujos de niveles de calidad superiores.

Aunque el servicio *best-effort* sea un servicio muy simple, no por ello deja de ser necesaria la realización del correspondiente dimensionado de recursos con el fin de asegurar unas mínimas garantías de calidad.

*DiffServ* se plantea como la solución más adecuada para ofrecer calidades diferenciadas en el seno de las futuras redes. Además es compatible y complementaria de MPLS. Usando las dos de manera combinada se pueden aprovechar las capacidades de gestión de tráfico de la

primera y las de ingeniería de tráfico de la segunda para ofrecer una cartera de servicios más amplia haciendo un uso más eficiente de los recursos.

Sin embargo, es conveniente señalar que esta arquitectura no supone por sí sola la solución a la diferenciación de servicios en las redes IP:

- El modelo *DiffServ* se limita a ofrecer expectativas de calidad a los flujos, y no garantías absolutas, es decir, asegura que a unos flujos se les trata mejor que a otros, pero no garantiza unos parámetros de calidad concretos a cada grupo de flujos. En este sentido sigue siendo fundamental el realizar un dimensionado adecuado para cumplir con esos parámetros de calidad. En última instancia, si se cumplieran las predicciones que ya se han mencionado sobre la disponibilidad casi ilimitada de ancho de banda barato, este mecanismo no sería necesario.
- El control sobre los flujos de tráfico se realiza únicamente dentro del dominio IP del operador, pero no se tiene un control extremo a extremo de la comunicación. Sería necesario, por tanto, garantizar la coherencia entre la interpretación que distintos fabricantes de equipos y operadores de red realicen del mismo DS, es decir, que todos empleen las mismas correspondencias entre DS y PHBs, y esta es una tarea bastante difícil. También son muy importantes en este contexto los acuerdos de nivel de servicio (*SLAs - Service Level Agreements*) que el operador del dominio *DiffServ* tiene con los dominios con los que intercambia tráfico. (fuente [www.telefonica.es](http://www.telefonica.es) area proyectos).

En resumen, el modelo *Diffserv* supone una herramienta simple para ofrecer servicios diferenciados, aunque sea necesario complementarla con otras herramientas de gestión o de dimensionado para explotar todas sus posibilidades.

# CAPÍTULO IV

## 4.0 Comparación de las tecnologías de Internet con IP/WDM.

Generar comparaciones con tecnologías actuales de internet resulta difícil ya que esta por si misma pretende ser un gran conducto de información superando a las actuales tecnologías del mercado, ya que por si misma WDM supone una plataforma de flujo de información mayor, capas de transportar protocolos actuales de internet tales como ATM, y SDH, etc.

En este capítulo se realizan las comparaciones con tecnologías de internet tales como ATM, SDH vs IP/WDM y también se explica las variantes de la tecnología WDM, ósea CWDM y DWDM.

### 4.1 SDH v/s WDM.

SDH es un ejemplo de multiplexión por división de tiempo (TDM). Señales de baja velocidad se agrupan, se les asigna aperturas de tiempo y se colocan en una salida serial de alta velocidad.

Con multiplexión por división de tiempo (TDM), el total del ancho de banda del medio de transmisión se divide en lapsos de tiempo. Las entradas transmiten, una por vez, en lapsos de tiempo individuales.

DWDM es un tipo de multiplexión por división de frecuencia (FDM). Múltiples señales de alta velocidad a cada una de las cuales se le asigna una distinta longitud de onda y se inyectan en una sola fibra.

Con multiplexión por división de frecuencia (FDM), el rango de frecuencia del medio de transmisión se divide en múltiples canales independientes. Las entradas transmiten simultáneamente a través de las diferentes frecuencias, o en el caso de WDM, a través de diferentes longitudes de onda. Las trayectorias ópticas independientes creadas al utilizar DWDM se denominan, a veces, “fibras virtuales”.

Como cada canal se demultiplexa en la salida recuperando su fuente original, se pueden transmitir juntos diferentes formatos de datos con diferentes razón de datos.

Específicamente, datos IP, SONET, y ATM pueden viajar al mismo tiempo dentro de la fibra óptica. La DWDM es un protocolo transparente. Por esto, una vez digitalizada la señal, se envía a través del transporte óptico, sin importar el formato, suponiendo que el receptor soporta la señal transmitida.

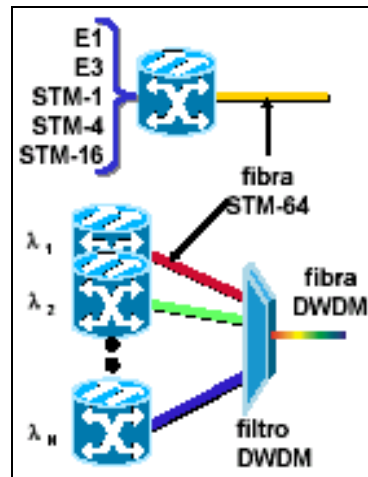


Figura 4.1-a. Comparación SDH con WDM

## 4.2 ATM y IP/ATM vs IP/WDM.

Una de las diferencias entre las tecnologías ATM y IP/WDM es la “Calidad de servicio”. Por un lado ATM, permite al operador de red establecer distintos controles de tráfico, ya sean controles de admisión o mecanismos capaces de manejar prioridades, que permiten garantizar a los flujos una determinada calidad de servicio en términos de pérdidas de información, retardo y variación del retardo (jitter). Esta es una de las capacidades imprescindibles para la integración de varios servicios dentro de una red, puesto que permite garantizar una calidad definida que se ajuste a los requisitos de cada uno de ellos, también su capacidad de “Gestión”, su orientación a conexión le permite disponer de grandes capacidades en lo que respecta a la ingeniería de tráfico que permiten a los operadores gestionar de manera flexible el tráfico de sus redes, pudiendo establecer rutas predefinidas para determinados flujos.

Por otra parte IP sobre WDM todavía no es una tecnología “madura” ya que todavía se está estudiando la forma de dar calidad de servicio bajo una plataforma directa, las posibilidades

son amplias y tiene que ver con el desarrollo de proyectos ya en funcionamiento en relación a tecnologías del tipo Gigabit ethernet y también con el desarrollo de GMPLS.

Las principales desventajas de ATM son que existe una tara de ancho de banda procedente del hecho de que los paquetes IP deban ser fraccionados para acomodarlos al formato de las células ATM, que además incluyen una nueva cabecera, la cual se traduce en una mayor proporción de información inútil para el usuario final. Este efecto se denomina *cell-tax* y da lugar a un uso poco eficiente del ancho de banda. También existe una tara a nivel de proceso.

En la solución de IP sobre ATM, se dispone de una serie de *routers* IP que se enlazan entre sí por medio de enlaces ATM. En esta situación, en cada *router* se debe esperar a que lleguen todas las células correspondientes a un mismo paquete para reconstruirlo y que, a partir de él, se puedan tomar las correspondientes decisiones de encaminamiento. Esto constituye una nueva tara y además introduce una serie de retardos que hay que controlar, sobre todo para cierto tipo de aplicaciones, como las basadas en el intercambio de información en tiempo real.

Aunque ATM permita llevar a cabo una gestión de la red eficiente, esto se hace a costa de introducir un nivel de complejidad muy elevado. Si el tráfico que soporta es IP podrían producirse redundancias por el hecho de que alguna funcionalidad apareciera duplicada en la capa IP, como controles de flujo o de congestión, por ejemplo.

Mientras que IP/WDM viene a corregir estos inconvenientes y a entregar un mayor ancho de banda por canal, el tráfico de la red se supone más expedito con una mayor “carretera de la información”, aunque WDM es una tecnología que soporta por si misma toda clase de protocolos, la implementación de una red directa para IP sin las plataformas como ATM conllevan una mayor velocidad dentro de la red y por consiguiente una eliminación dentro la pila de protocolos que provocan retardo dentro de la red.

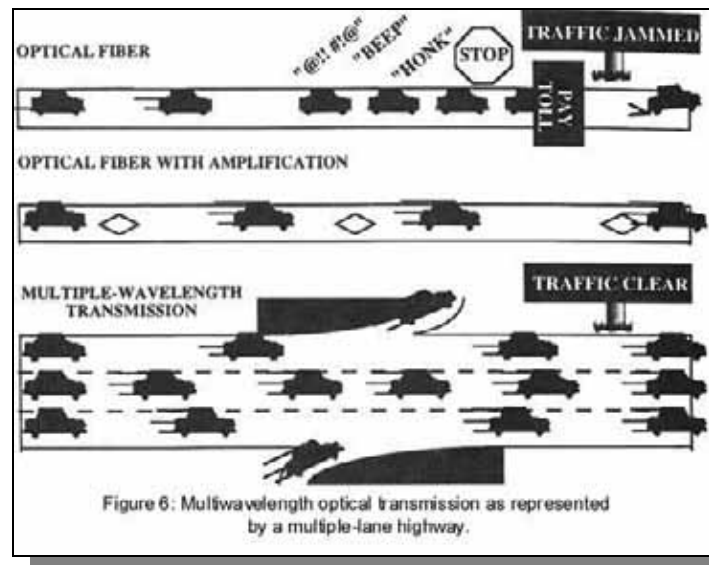


Figura 4.2-a. Tecnología WDM, representada como tráfico automovilístico.

### 4.3 SDH y IP/SDH vs IP/WDM.

En SDH el principio de compatibilidad ha estado por encima de la optimización de ancho de banda. El número de bytes destinados a la cabecera de sección es muy grande, lo que nos lleva a perder eficiencia.

También se trata de una solución muy robusta. Permite restaurar las conexiones punto a punto en el caso de que se produzca algún problema en una fibra o equipo intermedio, encontrando caminos alternativos para la transmisión. Esta característica tiene mayor o menor importancia según las funcionalidades que incorporen las capas superiores. Resulta de gran utilidad para servicios de tiempo real (no olvidemos que SONET/SDH fue concebido para la transmisión de tráfico telefónico convencional), puesto que contribuye de manera notable a la robustez de la red. En el caso de que la mayor parte del tráfico viaje en forma de paquetes IP, que es un protocolo no orientado a conexión, su importancia es bastante menor, puesto que el propio nivel IP cuenta con mecanismos de encaminamiento que, aunque todavía lentos, son capaces de reaccionar de forma robusta ante posibles fallos en equipos o enlaces. Cuando se solucionen los problemas de convergencia de esos algoritmos de encaminamiento está claro que existirán redundancias entre ambas capas, por lo que no será imprescindible la utilización de SONET/SDH.

Por los problemas anteriormente mencionados es que IP/WDM presenta una gran ventaja dentro de la robustez de la red ya que haría mucho más rápido el navegar por ella, al eliminar capas de protocolo intermedio como son SDH y también ATM.

Incrementando el número de longitudes de onda incluidas en una fibra y, con ello, el número de canales transportados por la misma. DWDM permite alcanzar altas densidades de empaquetado de portadoras dentro de una sola fibra óptica. Hoy en día son típicos valores de 16 ó 32 longitudes de onda por fibra, pudiendo llegar en el caso de enlaces submarinos hasta 128.

Aumentando la velocidad de transmisión soportada por cada una de las longitudes de onda. A esto contribuye la fabricación de unas fibras de cada vez mayor calidad, pero existe un límite físico determinado por su dispersión. Actualmente se trabaja con valores de 2,5 Gbit/s, llegando en algunos casos a 10 Gbit/s por canal.

#### **4.4 Tipos de tecnologías WDM.**

El ancho de banda de una conexión de fibra óptica se puede incrementar transmitiendo datos más rápidamente o transmitiendo diversas longitudes de onda en una única fibra, conocida como WDM. El WDM se consigue usando un multiplexor para combinar longitudes de onda viajando por diferentes fibras hacia una sola fibra. Al final del receptor de la conexión, un demultiplexor separa las longitudes de onda y las dirige hacia diferentes fibras que finalizan en diferentes receptores. El espacio entre las longitudes de onda individuales transmitidas a través de la misma fibra sirven de base para diferenciar DWDM del CWDM, ya que las tecnologías se reconocen principalmente por su número de longitudes de onda ( $\lambda$ ).

La tecnología WDM se distingue por tener hasta 4 longitudes de onda, ósea, cuatro canales de transmisión.

La tecnología CWDM puede producir de 4 a 18 longitudes de onda; por último la tecnología DWDM se distingue por transmitir un número mayor a 16 longitudes de onda.

#### **4.4.1 CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing).**

Los sistemas CWDM requieren de un espaciamiento entre longitudes de onda, mayor o igual a 20 [nm]. Esta holgura permite utilizar componentes de no tan alta precisión, lo que hace que este sistema sea bastante menos costoso que DWDM, al eliminar la necesidad de algunos componentes muy sofisticados y precisos. CWDM es una implementación de WDM para redes de corto y mediano alcance. Actualmente, CWDM puede operar con 8 longitudes de onda, cada una operando a un *Bit Rate* que va desde los 156 [Mbps] a los 10 [Gbps], logrando anchos de banda de hasta 100 [Gbps], utilizando múltiples longitudes de onda.

##### **4.4.1.1 Hasta 18 longitudes de onda.**

Los sistemas CWDM que soportan de 2 a 8 longitudes de onda están comercialmente disponibles hoy en día. Estos sistemas son el anticipo para escalar a un espectro de 18 longitudes de onda en 1270 -1610nm en un futuro. Hoy en día la mayoría de los sistemas CWDM están basados en un espaciado de 20nm de canal desde 1470 hasta 1610nm con un desarrollo en la ventana de 1300 nm para 10 Gigabit Ethernet. Las longitudes de onda en la región de los 1400 nm sufren una pérdida óptica mayor debido al pico de absorción del agua residual que presenta la mayoría de fibra óptica fabricada hoy en día. Mientras esta pérdida adicional puede limitar la ejecución de conexiones más largas, no es un obstáculo para la utilización de CWDM en aplicaciones de redes de área metropolitana o redes de acceso. Una nueva fibra que elimina el pico de atenuación por agua es ofrecida por lo menos por dos de los principales vendedores de fibra para uso en conexiones metropolitanas a bajo presupuesto que permiten una atenuación menor en la fibra óptica.

##### **4.4.1.2 Estándar ITU G.694.2.**

Una organización que está trabajando para definir los estándares para los sistemas CWDM es el de 1400nm Comercial Interest Group (CIG) cuyos participantes incluyen proveedores de componentes, vendedores de sistemas y proveedores de sistemas. Las longitudes de onda del grid CWDM bajo propuesta se dividen en tres bandas. La .O-Band.: 1290, 1310,



1330 y 1350 nm. La .E-Band.: 1380, 1400, 1420 y 1440 nm. Finalmente, la .S+C+L-Band. consistente en ocho longitudes de onda desde 1470 hasta 1610 nm en incrementos de 20 nm. Estas longitudes de onda se benefician del espectro completo de fibra óptica, incluyendo la herencia de las fuentes ópticas a 1310, 1510 y 1550 nm mientras se maximiza el número de canales. El espaciado de canal de 20nm soporta bajos costes de componentes con el uso de láser no refrigerado y filtro de banda ancha. También evita la alta pérdida de la longitud de onda 1270 y mantiene un espacio para los sistemas CWDM de desarrollo del aislamiento de la banda adyacente. Sin embargo, la UIT ha estandarizado un grid CWDM que consta de 18 longitudes de onda, el G.694.2: desde 1270 hasta 1610 nm con una separación entre portadoras de 20 nm (ver figura 4.4.1.2-a).

Con respecto a la distancia que puede alcanzar esta tecnología la UIT ha establecido las siguientes recomendaciones:

- 90 Km de alcance para 2 canales bidirecciones a 1.25 Gbps con una sola fibra.
- 55 Km de alcance para 8 longitudes de onda a 2.5 Gbps.
- 42 Km de alcance para 6 canales bidireccionales a 1.25 Gbps con una sola fibra convencional.
- 42 Km de alcance para 16 longitudes de onda a 2.5 Gbps usando fibra especial para el peak de agua. (fuente: UIT)

Como la demanda de la banda ancha está llevando al límite las redes corporativas y públicas, la necesidad de sistemas de transporte de bajo coste es imperativo. La tecnología CWDM de hoy responde a estos requerimientos, ofreciendo una arquitectura de sistema escalable para redes metropolitanas y de acceso.

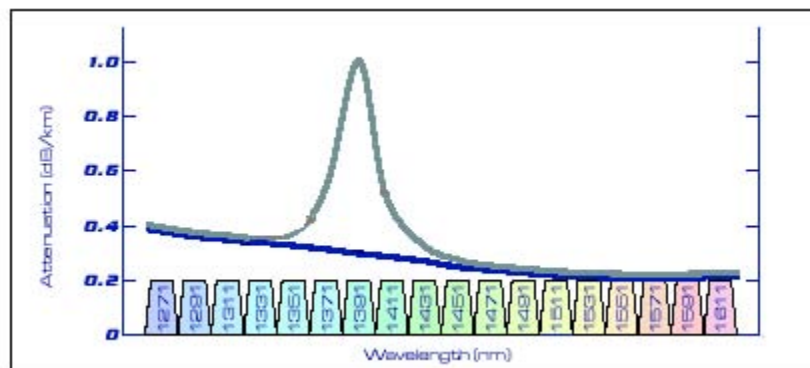


Figura 4.4.1.2-a. Longitudes de onda según norma G.694.2

#### 4.4.2 DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing).

Los rápidos avances producidos en DWDM, junto con la creciente demanda de servicios de alta velocidad y gran ancho de banda, están provocando cambios sustanciales en las arquitecturas de las redes ópticas. Así, la tecnología DWDM se está expandiendo progresivamente desde el núcleo de las redes ópticas de alta velocidad hacia las redes metropolitanas y de acceso. Y todo ello provocado por el éxito alcanzado por las soluciones DWDM de largo alcance que han permitido un aumento espectacular en la capacidad de las redes ópticas de transporte.

De hecho, se ha observado que la introducción de tecnología DWDM en las redes ópticas metropolitanas produce grandes beneficios en cuanto a coste, flexibilidad y eficiencia. Las primeras generaciones de sistemas DWDM dependían de subsistemas eléctricos que se encargaban de realizar funciones de conmutación, gestión de conexiones, protección y gestión de prestaciones. Sin embargo, se debe destacar las ventajas adicionales que conlleva la introducción de redes ópticas transparentes en el ámbito de las redes regionales y metropolitanas. Una red óptica transparente hace referencia a una red que mantiene el tráfico en el dominio óptico, es decir, sin ningún tipo de conversión OEO (óptica-eléctrica-óptica) en ninguno de sus nodos.

Los sistemas con más de cuatro longitudes de onda ( $\lambda$ s) y con una separación entre ellas de menos 1 [nm] aproximadamente, son considerados "densos" y son denominados sistemas DWDM. La ITU (*International Telecommunication Union*), ha estandarizado la separación de los canales usados en sistemas DWDM: esta separación corresponde aproximadamente a un mínimo de 100 [GHz] en el dominio de las frecuencias, que corresponde a 0.8 [nm] en el dominio de longitudes de onda, en la región de los 1550 [nm], donde la fibra posee la mínima atenuación. La tecnología DWDM permite combinar múltiples longitudes de onda, de manera que puedan ser transmitidas, amplificadas y propagadas por una misma fibra, aumentando así su capacidad.

#### 4.4.2.1 Estándar ITU – T G.692.

El estándar G.692 establece una separación mínima de 100GHz (50 GHz), con una frecuencia central (krypton line) de 193.1 THz, lo cual corresponde a 1552.52nm(ver figura 4.4.2.1-a). (fuente: [www.itu.int/itu-t/index.html](http://www.itu.int/itu-t/index.html))

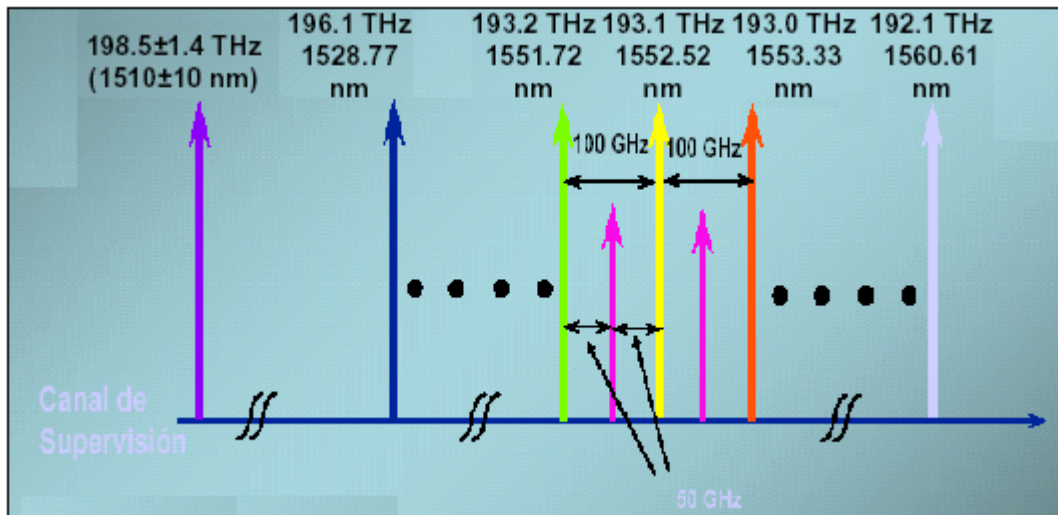


Figura 4.4.2.1-a. Separación de canales según ITU G.692

También se establece una tabla de frecuencias normalizadas para una separación mínima de 100 GHz o 0.8 nm.

Fre- quency/ THz	Center wave- length/nm	Fre- quency/ THz	Center wave- length/nm	Fre- quency/ THz	Center wave- length/nm
195,9	1530,33	194,4	1542,14	192,9	1554,13
195,8	1531,12	194,3	1542,94	192,8	1554,94
195,7	1531,90	194,2	1543,73	192,7	1555,75
195,6	1532,68	194,1	1544,53	192,6	1556,55
195,5	1533,47	194,0	1545,32	192,5	1557,36
195,4	1534,25	193,9	1546,12	192,4	1558,17
195,3	1535,04	193,8	1546,92	192,3	1558,98
195,2	1535,82	193,7	1547,72	192,2	1559,79
195,1	1536,61	193,6	1548,51	192,1	1560,61
195,0	1537,40	193,5	1549,32	192,0	1561,42
194,9	1538,19	193,4	1550,12	191,9	1562,23
194,8	1538,98	193,3	1550,92	191,8	1563,05
194,7	1539,77	193,2	1551,72	191,7	1563,86
194,6	1540,56	193,1	1552,52		
194,5	1541,35	193,0	1553,33		

Figura 4.4.2.1-b. Tabla de frecuencias normalizadas

También se establecen las siguientes separaciones entre canales: 0.4 nm (50 GHz), 0,2 nm (25GHz) y próximamente 12,5GHz.

#### **4.4.2.2 Diferentes generaciones de redes DWDM.**

La primera generación de redes WDM surgió para aliviar el problema del agotamiento de capacidad de las redes SONET/SDH, consistía simplemente en combinar múltiples longitudes de onda en una misma fibra. El número de canales era pequeño (del orden de 16) y la protección se realizaba en las capas 2 ó 3.

La segunda generación de redes metropolitanas DWDM dobla el número de canales e introduce protección de anillo y OADMs estáticos, permitiendo que los proveedores de servicio proporcionen servicios basados en longitud de onda. Adicionalmente, las arquitecturas de red que emplean DWDM de segunda generación soportan interfaces multiservicio protegidos, tales como Gigabit Ethernet y SONET/SDH. Si bien estas mejoras son enormes en comparación con las redes SONET/SDH convencionales, la segunda generación de redes posee limitaciones en cuanto a capacidad, coste, escalabilidad y gestión de red. La conmutación entre múltiples anillos metropolitanos se realiza de forma centralizada y las longitudes de onda se demultiplexan antes de ser conmutadas/enrutadas de forma individual. Esto da lugar a conmutadores con un gran número de puertos (por ejemplo, 1024 x 1024) para poder gestionar el tráfico entre anillos, resultando en costes elevados.

La mayoría de OXCs existentes en la actualidad realizan conversiones optoelectrónicas a la entrada y a la salida del conmutador debido a la falta de estándares de interconexión de longitudes de onda en entornos donde existen equipos de múltiples fabricantes. Estos conmutadores ofrecen una escalabilidad muy limitada y se convierten en una solución costosa debido a las funciones de demultiplexado, conmutación y remultiplexado que es necesario realizar. Cada conversión requiere transmisores, receptores, fibras y conectores, aumentando el tamaño del conmutador y disminuyendo su fiabilidad. Luego conforme aumentan las capacidades de las redes, sólo los conmutadores todo ópticos proporcionan una correcta protección de las inversiones.

Finalmente, las redes ópticas de tercera generación se caracterizan por ofrecer gestión dinámica de las longitudes de onda directamente en el dominio óptico, proporcionando ventajas

significativas con respecto a la segunda generación de redes. Asimismo, el número de canales es mayor y existe una monitorización de prestaciones más sofisticada que se realiza sobre cada canal óptico. Por medio de láseres sintonizables y filtros, junto con tarjetas de interfaz de múltiples velocidades, se puede realizar la gestión dinámica de longitudes de onda en el dominio óptico de una forma rápida y eficiente. Sin embargo, la clave para ganar clientes consiste en su habilidad para proporcionar nuevos servicios o cambiar la capacidad de los existentes de forma rápida.

En resumen, la tercera generación de redes DWDM proporciona conmutación de longitudes de onda directamente en el dominio óptico, teniendo en cuenta además todos los aspectos relativos a coste, escalabilidad y gestión. De este modo, en las áreas regionales y metropolitanas se proponen una serie de elementos que optimizan el funcionamiento de los anillos interconectados y de las redes en malla. Estos elementos consisten en conmutadores WXC (wavelength cross-connects), OADMs configurables dinámicamente, transpondedores sintonizables y software de gestión avanzado para controlar la capa óptica. El WXC conmuta longitudes de onda individuales sin necesidad de demultiplexar el flujo DWDM, ahorrando gran número de costes y disminuyendo sustancialmente los requisitos de tamaño y consumo de potencia del conmutador. (Fuente: Revista Conectónica / [www.conectonica.com](http://www.conectonica.com) autor Francisco Ramos Pascual ).

#### **4.4.3 Diferencias entre DWDM y CWDM.**

La diferencias no son sólo en la cantidad de longitudes de onda, sino otra de las principales diferencias es en el coste de la implementación de estas tecnologías.

En comparación con DWDM, los sistemas CWDM proporcionan ahorros del orden de un 35% a 65%. Por ejemplo, en la figura 4.4.3-a se muestran los costes relativos de ambas tecnologías calculados para un sistema consistente en un anillo protegido de 16 canales, con un hub y cuatro nodos, cada uno de los cuales manejando 4 longitudes de onda. El ahorro proporcionado por CWDM (hasta un 40% en este caso) se debe a la reducción de costes de los láseres sin necesidad de control de temperatura y al menor precio de los multiplexores y demultiplexores pasivos. Básicamente, la mayor separación entre canales de los sistemas CWDM permite que las longitudes de onda de los láseres DFB puedan sufrir derivas con los cambios de

temperatura, evitando de este modo la necesidad de emplear controladores de temperatura. Esto trae consigo un ahorro de espacio, simplifica el empaquetamiento del láser y reduce además el consumo de potencia un valor medio de 0,5 W para un láser CWDM en comparación con más de 2 W para un transmisor láser DWDM conforme a la rejilla de la UIT.(fuente: radioptica .com)

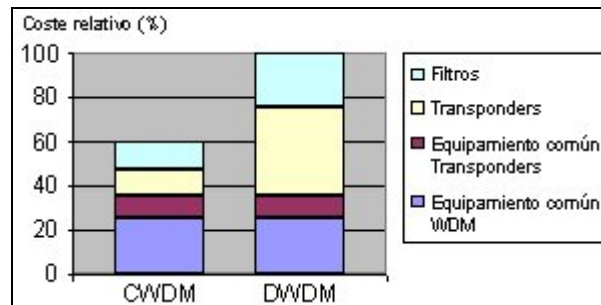


Figura 4.4.3-a. Costes relativos CWDM vs DWDM.

Existen varias diferencias entre las dos tecnologías que se presentaran a continuación en la siguiente tabla, además de compararlas con ATM y SDH. (fuente: radioptica .com)

<b>Aplicación / Parámetro</b>	<b>ATM</b>	<b>SDH</b>	<b>CWDM Acceso / MAN</b>	<b>DWDM MAN / WAN</b>	<b>DWDM Largo alcance</b>
Canales por fibra	1	1	4-16	32-80	80-160
Espectro Utilizado			O, E, S, C, L	C, L	C, L, S
Espaciado entre canales	no	no	20 nm (2500 GHz)	0,8 nm (100 GHz)	0,4 nm (50 GHz)
Capacidad por Canal	155 Mbit/s	10 Gbit/s (STM 64)	2,5 Gbit/s	10 Gbit/s	10 – 40 Gbit/s
Capacidad de la fibra	155 Mbit/s	10 Gbit/s (STM 64)	20-40 Gbit/s	100-800 Gbit/s	>1T bit/s
Distancia	Cientos de Km	Cientos de Km	Hasta 90 Km	Cientos de Km	Miles de Km
Amplificación Óptica	Solo electrónica	Solo electrónica	Ninguna	EDFA	EDFA, Raman

Figura 4.4.3-b. Tabla comparativa entre tecnologías ATM, SDH y WDM.

# CAPÍTULO V

## 5.0 CONCLUSIONES

- El funcionamiento de una red IP/WDM se basa en el principio de que el protocolo IP puede ser enviado directamente por fibra óptica, y que gracias a la multiplexación por división de longitud de onda (WDM) se forman varios canales a través de los cuales se puede transmitir una gran cantidad de información lo que lleva a un mayor ancho de banda por fibra.
- Para realizar IP/WDM se deben eliminar los protocolos ATM y SDH los cuales le dan a la red la calidad de servicio y le proporciona la ingeniería de tráfico en el caso ATM y SDH proporciona el transporte y la monitorización de la red. Por ello se estudian tipos de tecnologías las cuales podrían darle la calidad de servicio que requiere este sistema, como son IP v6, GbEthernet en las redes MAN y WAN y GMPLS.
- Los sistemas que componen una red IP/WDM se dedican principalmente a la transformación de sistemas opto-electrónicos a sistemas puramente ópticos lo que significa un aumento en la velocidad de la red ya que se eliminan las colas producidas por cambio óptico-eléctrico. Los principales componentes son los amplificadores ópticos *EDFA* (Erbium-Doped Fiber Amplifiers), multiplexores ópticos OADMs (Optical Add/Drop Multiplexeres) y conmutadores ópticos OXCs (Optical CrossConnects).
- Al comparar las tecnologías ATM y SDH con IP/WDM hay que tener en cuenta que aunque ATM y SDH permitan llevar a cabo una gestión de la red eficiente, esto se hace a costa de introducir un nivel de complejidad muy elevado, el 22% del ancho de banda aproximadamente se ocupa en overhead. Mientras que IP/WDM viene a corregir estos inconvenientes y a entregar un mayor ancho de banda por canal, el tráfico de la red se supone más expedito con una mayor “carretera de la información”, aunque WDM es una tecnología que soporta por si misma toda clase de protocolos, la implementación de una

red directa para IP sin las plataformas como ATM con lleva una mayor velocidad dentro de la red y por consiguiente una eliminación dentro la pila de protocolos que provocan retardo dentro de la red.

- Al comparar las dos tecnologías que surgen a través de WDM, osea CWDM y DWDM se aprecia que la mejor tecnología es DWDM ya que posee una mayor cantidad de longitudes de onda y por lo mismo puede transportar una mayor cantidad de información a pesar de que ofrece costos mas elevados con respecto a CWDM.
- La tecnología IP/DWDM se presenta como el futuro en transmisión de datos a través de fibra óptica por ello no solo comprende hacer un cambio en los protocolos de transmisión sino también requiere ajustes de hardware para poder ser transmitidos, osea cambiar de tecnología óptico-electrónica a solamente óptico, también tiene la propiedad de aumentar considerablemente el ancho de banda de una red ya que al ser DWDM los números de canales por fibra aumentan y por consiguiente en ancho de banda por fibra también.
- Para poder colocar IP sobre WDM se tienen en cuenta tres mecanismos, el enrutado MPLS que tiene como principio que utiliza routers con protocolo MPLS lo que le simplifica la tarea, ya que los routers realizan el encaminamiento de los paquetes, otro factor seria el uso no solo de IPv4 sino también el uso de IPv6, ya que con su mayor capacidad de trama facilitaría el uso de encabezados que den una mayor capacidad de gestión a la red y por ultimo el estándar 10Gbit Ethernet, ya que este estándar ahora no solo abarcaría las redes LAN sino también las MAN y WAN lo que propone un mayor alcance de transmisión entre dispositivos.



## 6.0 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

### Publicaciones

- [1] - Adolfo García, Tecnologías para el transporte y conmutación ópticas, Jornadas Técnicas Red IRIS , Unitronics Comunicaciones, 2004.
- [2] - Alejandro Caballar Rincón, Tecnologías fotónicas para redes ópticas, curso doctorado, Departamento Ingeniería Electrónica Universidad de Sevilla, Enero 2005.
- [3] – Fideromo Saavedra, USACH, Ricardo Olivares, UTFSM, Sistemas de Transmisión WDM, Congreso Senacitel, Valdivia, Noviembre 2004.

### Web información técnica

- [4] - [http://www.CINIT-ArtículoWDM\\_Una Tecnología con Fibra.htm](http://www.CINIT-ArtículoWDM_Una_Tecnología_con_Fibra.htm) , Agosto 2001.
- [5] - <http://www.comsoc.org/pubs/commag/commag.html>
- [6] - <http://www.conectronica.com>
- [7] - <http://www.eurescom.de/public/projects/P1000-series/p1014/default.asp>
- [8] - <http://www.idg.es/comunicaciones>
- [9] - <http://www.itu.int>
- [10]- <http://www.itu.int/itu-t/index.html>
- [11]- <http://www.opencontent.org/openpub/>
- [12]- <http://www.Optical-networks.com/editor.htm>
- [13]- <http://www.radioptica.com>
- [14]- <http://www.telefonica.es> área proyectos

## 7.0 ANEXO.

### A

**Address:** (dirección). Designación única para la identidad de un dispositivo.

**ADM:** (Multiplexer add/drop). Multiplexor de adición y extracción.

**ANSI:**(American National Standards Institute) Instituto Americano Nacional de Estándares

**ARP:** (address resolution protocol). Protocolo de resolución de dirección.

**ARPA:** (Advanced Research Projects Agency). Red Avanzada de Agencias para Proyectos de Investigación desarrollada por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos.

**ARPANet:** (Advanced Research Projects Agency Network). Red Avanzada de Agencias para Proyectos de Investigación, Red precursora de la actual Internet.

**ASICs:** (Aplication Specific Integrated Circuits). Circuitos integrados de aplicaciones específicas.

**ATM:** (asynchronous transfer mode). Modo de transferencia asíncrono.

### B

**Backbone:** ( espina dorsal). Canal principal para transmisión en una red.

**BER:** (bit error rate). Grado de error.

**Best-efford:** (mejor esfuerzo). Protocolo de internet que hace lo mejor posible pero garantiza poco.

**Bit Rate:** Proporción o tasa de bits.

**Bridge:** (puente). Equipo que provee interconexión entre dos redes utilizando la misma estructura de direccionamiento.

**Browser:** navegador

**Buffer.-**Dispositivo de almacenamiento secundario.

### C

**Checksums:** Sumas de comprobación de sus cabeceras de datos.

**Cell-tax:** Proporción de información inútil para el usuario final.

**CCITT:** (Comité Consultatif International Télègraphique et Télèphonique). Comité Consultivo de Telegrafía y Telefonía, reemplazado ahora por UIT.

**Cross-connect:** conexión cruzada.

**CSMA/CD:** (carrier sense multiple access/ collision detect). Acceso múltiple por detección de portadora y detección de colisiones.

**CWDM:** (Coarse Wavelength Division Multiplexing). Multiplexación de división por longitud de onda basta.

## D

**Datagrama.** Paquete de internet.

**Data link layer:** capa de enlace de datos.

**Demultiplexores:** (demulticanalización). Proceso de dividir una señal compuesta en sus canales componentes, lo inverso de multicanalización.

**Diffserf:** (Differentiated Service). Diferenciar entre sí los flujos que atraviesan la red.

**DLC:** (data link control). Control de enlace de datos.

**DNS:** (Domain Name Server). Servidor de nombre de dominio.

**DTE:** (data terminal equipment). Equipo terminal de datos.

**DWDM:** (Dense Wavelength Division Multiplexing). Multiplexión por división de longitud de onda densa.

## E

**E1:** Equivalencia europea del T1, excepto que su capacidad es 2.048 Mbps.

**Echo:** (eco). Retorno de datos transmitidos.

**EDFA:** (Erbium Doped Fiber Amplifier). Amplificador de fibra dopado de erbio.

**ETSI:** (European Telecommunications Standards Institute). Instituto de Estándares de Telecomunicaciones Europeas.

## F

**FDM:** (frequency division multiplexing). Multiplexión por división de frecuencia.

**Flash memory:** Memoria rápida.

**Full-duplex:** Comunicación bidireccional.

## G

**Gateway:** (pasarela). Equipo que provee interconexión entre dos redes con protocolos de comunicación diferentes.

**GPS:** (Global Positioning System). Sistema de posicionamiento global.

**GSRs:** Giga Switch Routers.

## H

**Half-duplex.** Transmisión en solo una dirección.

**HTML:** (HyperText Markup Language). Lenguaje de Marcación de hipertexto.

**Http:** (HyperText Transfer Protocol). Protocolo de Transferencia de Hipertexto.

**Hub:** Concentrador

## I

**ICMP:** (internet control message protocol). Protocolo de control de mensajes de internet.

**IEEE:** (Institute of Electrical and Electronic Engineers). Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos.

**IETF:** (Internet Engineering Task Force). Fuerza de trabajo de Ingeniería en Internet, Organismo encargado de proponer y establecer los estándares en Internet.

**Internet:** La llamada "red de redes" creada de la unión de muchas redes.

**Intranet:** Red de uso privado que emplea los mismos estándares y herramientas de Internet.

**Intserf:** (Integrated Service). Servicios integrados.

**IMPs:** Procesadores de mensajes de interfaz.

**IP:** (Internet Protocol). Protocolo Internet.

**IP address:** (dirección IP). Dirección única de un dispositivo en una red TCP/IP.

**ISDN:** (integrated services digital network). Red digital de servicios integrados, estándar digital para las compañías telefónicas.

**ISO:** (International Standards Organization). Organización Internacional de Estándares.

**ISP:** (Internet service provider). Proveedor de servicios de Internet.

**ITU:** (International Telecommunications Union). Unión Internacional de Telecomunicaciones.

## J

**Jitter:** Retardo y variación del retardo.

## L

**LAN:** (local area network). Red de área local.

**LASER:** (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation). Amplificación de luz por estimulación de emisión de radiación.

**LED:** (light-emmiting diode). Diodo emisor de luz.

**LERs:** (Label Edge Routers). Router de etiqueta al borde de la red.

**LSP:** (Label Switching Path). Se domina al camino específico que sigue un paquete a través de la red.

**LSRs:** (Label Switching Routers). Routers capaces de hacer encaminamiento en función de la etiqueta MPLS.

**M**

**MAN:** (metropolitan area network). Red de área metropolitana.

**MPLS:** (Multiprotocol Label Switching). Multiprotocolo de cambios de etiqueta.

**Multiplexing:** (multicanalizar). Proceso de dividir una señal compuesta en varios canales.

**N**

**Network:** red.

**Network address:** Dirección de red.

**NSP:** (Network Service Provider). Redes proveedoras de servicios.

**O**

**OADM:** (Optical Multiplexer add/drop). Multiplexor de adición/ extracción óptico.

**OSI modelo:** Estructura de referencia jerárquica de 7 capas desarrollada por la Organización Internacional de Estándares (OSI) para definir y especificar los protocolos de comunicación.

**Overhead:** (encabezado). Bytes utilizados con fines de mantenimiento de la red.

**OXC:** (Optical Crossconnects). Conmutadores ópticos.

**P**

**Payload:** Carga útil en un contenedor.

**PDH:** Herarquia Digital Presiocrona (casi sincrona).

**PHBs:** (Per Hop Behaviours). Distintos niveles de prioridad.

**PING:** (Packet InterNet Groper). Método para probar la accesibilidad de un destino mediante el envío de un requerimiento de ICMP y esperar la respuesta.

**PPP:** (point-to-point protocol). Protocolo punto a punto.

**PVC:** (permanent virtual circuit). Circuito virtual permanente.

**Q**

**QoS:** Calidad de servicio.

**R**

**RDSI:** Red Digital de Servicios Integrados.

**RIP:** (routing information protocol). Protocolo de información de enrutamiento.

**Router:** (enrutador). Dispositivo utilizado para enrutar paquetes.

**Routing:** (enrutamiento). Selección del mejor camino a tomarse por los paquetes mientras transitan la red.

**Routing IP:** Control y envío de paquetes IP.

**RWA:** (Routing and Wavelength Assignment). Conducción y asignación de longitudes de onda.

**Rx:** Abreviación que significa recibir, receptor o recepción.

### S

**SDH:** (Synchronous Digital Hierarchy). Jerarquía digital síncrona, es la equivalente internacional de SONET.

**SMTP:** (simple mail transfer protocol). Protocolo de transferencia de correo simple.

**SONET:** (Synchronous Optical Network). Estándar estadounidense (ANSI).

**STM:** (Synchronous Transport Module). Módulo de transporte síncrono.

**Switch:** conmutador, dispositivo ocupado en redes.

### T

**TCP/IP:** (transmission control protocol/internet protocol). Protocolo de control de transmisión/ protocolo de internet.

**TDM:** (time-division multiplexing). Multicanalización por división de tiempo.

**Throughput:** (caudal eficaz). Indicador de la capacidad de manejo de datos.

**ToS:** (Type of service). Tipo de servicio.

**TSRs:** Tera switch Routers.

**Tx:** Abreviación que significa transmitir, transmisor o transmisión.

### U

**UIT:** Union internacional de telecomunicaciones.

**UTP:** (Unshielded Twisted Pair). Par trenzado sin apantallar.

### V

**VC:** Contenedor virtual.

**VoIP:** (Voice over IP). Voz sobre IP.

**VoQ:** (Virtual Output Queuing). Haciendo cola virtual de salida, optimiza el caudal de salida de los enlaces y la latencia de los paquetes en el equipo.

**VPN:** (Virtual Private Network). Red privada virtual.

### W

**WAN:** (wide area network). Red de área amplia.

**WAP:** (Wireless Application Protocol). Protocolo de aplicaciones inalámbricas.

**WDM:** (Wavelength Division Multiplexing). Multiplexión por división de longitud de onda.

**WXC:** (Wavelength Cross-Connect). Conmutadores de longitud de onda.