

APLICACIONES DE LA TECNOLOGÍA DWDM

MARLON ENRIQUE MONROY MARTÍNEZ

ERICK SARMIENTO HERNANDEZ

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y ELÉCTRICA**

CARTAGENA D.T. Y C.

2006

APLICACIONES DE LA TECNOLOGÍA DWDM

**MARLON ENRIQUE MONROY MARTÍNEZ
ERICK SARMIENTO HERNANDEZ**

**Monografía presentada como requisito para optar al título de Ingeniero
Electrónico**

**Director
GONZALO LÓPEZ VERGARA**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRONICA Y ELECTRICA
CARTAGENA D.T. Y C.**

2006

Cartagena, 22 de Junio de 2006

Señores:

Comité curricular de Ingeniería Eléctrica y Electrónica.

Universidad Tecnológica de Bolívar

Ciudad

Respetados señores:

Por medio de la presente me permito informarles que la monografía titulada **“APLICACIONES DE LA TECNOLOGÍA DWDM”** ha sido desarrollada de acuerdo a los objetivos establecidos.

Como autores de la monografía consideramos que el trabajo es satisfactorio y amerita ser presentado para su evaluación.

Atentamente,

MARLON E. MONROY MARTINEZ

C.C 73.192.201 C/gena

ERICK SARMIENTO HERNANDEZ

C.C 73.192.015 C/gena

Cartagena, 22 de Junio de 2006

Señores:

Comité curricular de Ingeniería Eléctrica y Electrónica.

Universidad Tecnológica de Bolívar

Ciudad

Respetados señores:

Cordialmente me permito informarles, que he llevado a cabo la dirección del trabajo de grado de los estudiantes Marlon Enrique Monroy Martínez y Erick Sarmiento Hernández, titulado **“APLICACIONES DE LA TECNOLOGÍA DWDM”**.

Atentamente,

GONZALO LÓPEZ VERGARA

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Cartagena de Indias D. T. y C. Junio 22 de 2006

DEDICATORIA

Hoy he culminado otro de mis sueños, de los cuales aún quedan muchos más por cumplir, es por eso que le doy gracias a Dios por iluminarme y darme sabiduría, llenarme de fe y positivismo para seguir adelante cumpliendo cada una de mis metas, llenándome de confianza sin importar lo que se presentara en el camino.

A mis padres, **Fermín** y **Doris** por hacer de mí una persona integra, humilde y ser el motivo de mi inspiración, a mis hermanos **Margelys** y **Mauricio**, a mi linda sobrina **Valentina**. A quienes le agradezco por tenerme tanta confianza y siempre brindarme su apoyo en las buenas y en las malas, los amo y siempre estarán en mi corazón.

A mis amigos de la universidad **Erick**, **José F** y **Luis Emilio** por compartir momentos de alegría, felicidad y adversidad, por su valiosa ayuda en cada uno de los obstáculos que se presentaron en este largo camino.

Como olvidar a mis compañeros de la secundaria **J.J. Reyes**, **Yeidys** por creer en mí y darme su amistad, a todo mis profesores, familiares y demás personas que con sus conocimientos, confianza y apoyo han ayudado para este gran logro.

Muchas gracias a todos,

Marlon Enrique Monroy Martínez

DEDICATORIA

Hoy he dado otro paso en el largo camino de la vida. Este gran logro que consigo en mis metas personales y profesionales se lo dedico a DIOS, creador de la vida, por iluminarme, darme sabiduría y guiar mis ideas, gracias a él tengo la oportunidad de vivir este presente.

A mis padres Wilfrido y Andrea por sus valores enseñados y a mis hermanos Zulima y Eder, por su confianza y apoyo incondicional día tras día, sin ellos, hoy no sería útil a la sociedad y hubiese sido más difícil este largo caminar.

A mis familiares por su confianza y ayuda en los momentos difíciles.

A Jessica por su amor, comprensión y apoyo, a mi hijo por ser el motivo de mi inspiración y motor de mi fuerza para superar cualquier obstáculo y lograr mis metas.

A mis amigos y compañeros, Marlon, Jose, Larry y demás por compartir momentos de alegría, adversidad, estrés, desespero y triunfos durante todo este tiempo.

A los profesores por sus enseñanzas, consejos oportunos y a todos los que de una u otra manera tuvieron que ver en este logro.

A todos gracias.

Erick Sarmiento Hernández

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

Gonzalo López, Ingeniero Electrónico, Magíster en Telemática, coordinador del minor de Telecomunicaciones y director de la investigación, por sus valiosos aportes.

CONTENIDO

	pág.
GLOSARIO.....	15
RESUMEN.....	20
INTRODUCCIÓN.....	21
1. FUNDAMENTOS DE LA TECNOLOGÍA DWDM	23
1.1. EVOLUCIÓN DE LA TRANSMISIÓN CON FIBRA ÓPTICA.....	24
1.1.1. Desarrollo de la Tecnología DWDM.....	25
1.2. COMPONENTES.....	27
1.3. SISTEMAS DWDM OPACOS Y TRANSPARENTES.....	29
1.4. FIBRA OPTICA.....	30
1.4.1. Modos en la Fibra.....	31
1.4.2. Inconvenientes en la Transmisión.....	33
1.4.3. Atenuación.....	34
1.4.4. Dispersión.....	35
1.5. LA INTERCONEXION OPTICA.....	36
1.5.1. Método de Aproximación Híbrida.....	37
1.5.2. Método de Conmutación Óptica Total.....	37
1.6. MODELOS DE INTERCONEXIÓN ÓPTICA.....	38
1.7. LOS MULTIPLEXORES ÓPTICOS.....	38
1.7.1. Técnicas de Multiplexación/Desmultiplexación.....	40
1.7.2. Amplificador óptico EDFA	42
1.7.3. OXC	43
1.8. SISTEMAS DWDM.....	43
1.8.1. El Transponder.....	44
2. APLICACIONES DE DWDM.....	47
2.1. TOPOLOGIA DE REDES DWDM.....	48
2.1.1. Redes Punto a Punto.....	48
2.1.2. Redes de Malla.....	49
2.1.3. Redes en Anillo y Estrella.....	50

2.2. CONCENTRADOR DWDM.....	51
2.3. DISTINTAS TECNOLOGÍAS SOBRE DWDM.....	52
2.3.1. Nueva generación SONET/SDH.....	53
2.3.2. ATM.....	54
2.3.3. Gigabit Ethernet.....	55
2.3.4. IP.....	55
2.4. IP SOBRE DWDM.....	57
3. CONDICIONES TECNICAS PARA UNA RED DWDM EN COLOMBIA.	59
3.1. GENERALIDADES.....	59
3.2. DESCRIPCIÓN DE LA RED TRONCAL NACIONAL DE FIBRA ÓPTICA EXISTENTE.....	62
3.2.1. Trayectos terrestres.....	62
3.2.2. Trayectos Marítimos.....	62
3.3. DESCRIPCIÓN DE LA RED DE SINCRONISMO EXISTENTE	63
3.4. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	64
3.4.1. Anillos nacionales.....	64
3.4.2. Anillos Metropolitanos.....	65
3.4.3. Trayectos lineales.....	66
3.5. TOPOLOGIA DE RED REQUERIDA POR COLOMBIA TELECOMUNICACIONES S.A. ESP.....	69
3.6. MATRIZ DE TRAFICO A SOPORTAR.....	71
3.7. CARACTERISTICAS TECNICAS DE LA RED DWDM.....	73
3.7.1. Características.....	73
3.7.2. OTM.....	75
3.7.3. OADM.....	76
3.7.4. Amplificador de línea óptica.....	76
3.7.5. Modulo transponder.....	77
3.7.6. 3.7.6 modulo DCM.....	77
3.8. PERPESTIVA DE FUTURO.....	78
3.8.1. Interconexiones ópticas.....	79
3.9. ESTÁNDARES.....	80
3.9.1. bus de longitud de onda.....	81

4. CONCLUSIONES.....	82
BIBLIOGRAFÍA.....	84

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1. Bandas en el espectro electromagnético.....	25
Figura 1.2. Evolución de DWDM.....	27
Figura 1.3 Componentes en la tecnología DWDM.....	28
Figura 1.4. Elementos de un cable de fibra óptica.....	31
Figura 1.5. Propagación de los rayos ópticos dentro de una fibra multimodal.....	32
Figura 1.6. Propagación de los rayos ópticos dentro de una fibra multimodal con índice graduado.....	32
Figura 1.7. Propagación de los rayos ópticos dentro de una fibra monomodo.....	33
Figura 1.8. Atenuación Vs. Longitud de onda.....	34
Figura 1.9. Principio de dispersión.....	34
Figura 1.10. Atenuación por desvió.....	35
Figura 1.11. Atenuación por Absorción.....	35
Figura 1.12. Dispersión cromática.....	36
Figura 1.13. Esquema de conmutación óptica total.....	37
Figura 1.14 Multiplexor óptico Add/Drop.....	38
Figura 1.15 Representación esquemática del funcionamiento de un OADM.....	39
Figura 1.16. OADM de longitud de onda fija.....	40
Figura 1.17. OADM de selección dinámica de longitud de onda.....	40
Figura 1.18. Mux/Demux por refracción en un prisma.....	41
Figura 1.19. Mux/Demux con filtros cromáticos.....	41
Figura 1.20. Diseño de un amplificador óptico EDFA.....	42
Figura 1.21. El conmutador cruzado óptico.....	43
Figura 1.22. Operación del transponder en un sistema DWDM.....	45
Figura 1.23. Esquema de la descripción de un sistema DWDM.....	45
Figura 2.1. Modelo de red DWDM punto a punto.....	48
Figura 2.2. Modelo red Malla.....	49

Figura 2.3. Modelo de red DWDM en anillo.....	50
Figura 2.4. Topología en estrella con OXC.....	51
Figura 2.5 Funcionamiento de un concentrador en transmisión.....	52
Figura 2.6. Posibilidades de integración entre distintas tecnologías.....	52
Figura 2.7. Arquitectura de red de banda ancha multiservicio.....	56
Figura 2.8. tendencias en redes de alta velocidad.....	58
Figura 3.1. Topología de red general.....	60
Figura 3.2. Anillo Norte.....	64
Figura 3.3. Anillo Sur.....	65
Figura 3.4. Anillo Sur occidente.....	65

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla1. Característica de la fibra del cable terrestre “Alcatel”.....	66
Tabla 2. Característica de la fibra del cable terrestre “Alcoa Fujikura”.....”	66
Tabla 3. Característica de la fibra del cable submarino “Siemens”.....	67
Tabla 4. Característica del cable de fibra de otros operadores “Pirelli”.....	67
Tabla 5. Trayectos pertenecientes a los anillos metropolitanos.....	70
Tabla 6. Trayectos pertenecientes al anillo Norte, sur y sur occidente.....	71
Tabla 7. Matriz de Tráfico en STM-4 Anillo Norte, MAN de Cartagena, Trayectos lineales Bosconia – Valledupar y Bucaramanga – Cúcuta.....	72
Tabla 8. Matriz de Tráfico en E3 –Anillo Norte, MAN de Cartagena y Trayecto lineal Bucaramanga – Cúcuta.....	72

GLOSARIO

Atenuación: Disminución del valor eléctrico u óptico recibido de una señal, con respecto a su valor original de emisión. Se expresa en decibelios "dB".

ATM: *Asynchronous Transfer Mode*. Modo de Transferencia Asíncrona. Sistema de transferencia de información de conmutación de paquetes de tamaño fijo con alta carga, utilizados en banda ancha para aprovechar completamente una línea y soporta velocidades de hasta 1,2 GB. También es conocido como Paquete rápido.

Backbone: (Columna vertebral) Es la infraestructura de la transmisión de datos en una red o un conjunto de ellas en Internet.

BER: Tasa de Errores de Bits.

Bit: *Binary Digit*. Dígito binario, Es la unidad digital más pequeña que puede manejar una computadora.

Bps: Abreviatura de Bits por Segundos. Son la cantidad de bits que se transfieren (entrada, salida) por segundo.

Byte: Es la unidad de información formada por ocho bits.

Conmutación: Conjunto de operaciones necesarias para unir entre sí los circuitos, con el fin de establecer una comunicación temporal entre dos o más estaciones o puestos.

CWDM: *Coarse Wave Division Multiplexing*. Multiplexación por División en Longitud de Onda Gruesa.

DCM: *dispersion compensation module*. Dispositivo que compensa el efecto de dispersión cromática, logrando mejoras en la transmisión.

Decibelio o decibel (dB): Unidad de medida que expresa la relación entre dos magnitudes. Se emplea para definir una relación de potencias o una relación de tensiones. Se emplea la notación dB para expresar las ganancias y atenuaciones de los circuitos puesto que, en definitiva, se trata de relaciones entre señales de entrada y salida.

Demodulador: Dispositivo que acepta una onda portadora modulada y extrae la información usada para modularla. Véase Modem.

Demultiplexión: Concepto general que se refiere a la separación en sus componentes originales de información recibida por un canal común de comunicación. Véase multiplexación.

Demultiplexor: Cumplen la operación inversa del multiplexor. Ver multiplexor.

Diodo: Componente electrónico muy utilizado en dispositivos de computación. Permite el paso de electricidad en un solo sentido.

Dispersión: Fenómeno por el cual un rayo de luz que incide en un prisma u otro objeto óptico adecuado, forma un espectro a la salida.

Distorsión: Aberración óptica, por la cual el aumento lateral no es constante sino que varía con la distancia del eje.

DWDM: *Dense Wave Division Multiplexing*. Multiplexación por división en longitud de onda densa. Permite optimizar el ancho de banda de la fibra introduciendo más ondas de luz y aumentando la capacidad de transmisión de datos.

EDFA: *Erbium Doped Fiber Amplifier*. Es un amplificador óptico que permite reforzar la señal, este dispositivo amplifica todas las señales simultáneamente sin necesidad de utilizar un repetidor.

ESCON: *Enterprise System Connectivity*. Conectividad de los Sistemas de la Empresa.

Ethernet: Es una tecnología para redes de área local LAN.

ETS: Norma Europea de Telecomunicación.

ETSI: Instituto Europeo de Normas de Telecomunicación.

FC/PC: *Fiber Connector/Phisic Connector*. Tipo de conector para fibras ópticas según norma NTT. Es un conector metálico a rosca de amplia difusión.

FEC: Corrige las limitaciones de la fibra. Es posible soportar distancias sensiblemente mayores para la misma calidad.

Frame Relay: Protocolo para intercambio de datos.

Giga: Es un elemento prefijar que forma palabras de mil millones.

Gigabyte (GB): Es una unidad de almacenamiento. Un gigabyte, equivale a 1.000.000.000 bytes.

IEC: Internacional Electrotechnical Commission. Comisión Electrotécnica Internacional.

Interfase: Interfaz. Elemento que facilita la interacción. // Hay periféricos considerados como interfase usuario/computadora.

IP: *Internet Protocol*. Protocolo de Internet. Protocolo que define tanto el formato de los paquetes usados en una Internet TCP/IP como el mecanismo de enrutamiento de un paquete a su destino.

ITU: *International Telecommunications Union*. Unión internacional de telecomunicaciones.

Kbps: Kilobytes por segundos.

Lambda (λ): Símbolo de la longitud de onda.

LAN: *Local Area Network*. Red de Área Local. Es una red de comunicaciones, normalmente privada, que abarca una extensión de pocos kilómetros y a la que se pueden conectar diferentes dispositivos; ordenadores, impresoras, teléfonos, etc.

Latencia: En inglés latency. Es el tiempo o lapso necesario para que un paquete de información se transfiera de un lugar a otro. Ésta junto con el ancho de banda, son determinantes para la velocidad de una red.

MAN: *Metropolitan Area Network*. Red de Área Metropolitana.

Megabyte: Unidad para medir cantidad de datos basado en el byte. Un megabyte equivale a 1024 KB (kilobytes) o a 1.048.576 bytes.

Megahertz (MHz): Un MHz equivale a un millón de hertz (hercios).

Módem: Modulador-Demodulador Periférico interno o externo destinado a conectar una línea telefónica con la computadora.

Modulación: Modificación de alguno de los parámetros que definen una onda portadora (amplitud, frecuencia, fase), por una señal moduladora que se quiere transmitir (voz, música, datos).

MPLS: Multi Protocol Label Switching. Tecnología base orientada a paquete.

MS-SPRING: Protección de la Sección de Multiplexación.

Multiplexación: Transmisión simultánea de múltiples mensajes en un sólo canal.

Multiplexor: Equipo que efectúa la transmisión de varias señales, permitiendo que sean transmitidas por el mismo canal o la misma vía de comunicación de forma simultánea e independiente.

Nodo: Máquina única en Internet // Punto donde confluye una red.

OADM: *Optical Add - Drop Multiplexer*. Son básicamente acopladores de DWDM con la capacidad de añadir o entregar lambdas en un punto intermedio de la red.

OC: *Optical Carrier*. Portador Óptico.

OC-3: Portador óptico 3. Es una línea óptica de la fibra que lleva 155,52 Mbps de la anchura de banda.

OC-12: Portador óptico 12. Es una línea óptica de la fibra que lleva 622.08 megabits por el segundo de la anchura de banda.

OC-48: Portador óptico 48. Es una línea óptica de la fibra que lleva 2.49 gigabits por el segundo de la anchura de banda.

ODF: *Optical Distribution Frame*. Repartidor óptico. Es el distribuidor de fibras ópticas ideal para la distribución en piso de redes datos, por su pequeño tamaño, y por lo accesible tanto en instalación como en la reintervención.

Onda: Oscilación periódica que se define por su amplitud, fase y frecuencia.

OTM: *Optical Terminal Multiplexer*. Multiplexa (en transmisión) y demultiplexa (en recepción) la totalidad de canales ópticos del enlace instalados hasta el momento.

OXC: El conmutador cruzado óptico es un elemento básico de conmutación óptica.

Protocolo: Conjunto de reglas que gobiernan las comunicaciones entre sistemas de telecomunicación.

Redes: Es el conjunto de recursos, tales como las líneas de transmisión, enlaces y nodos de conmutación, que permiten la comunicación entre usuarios de los terminales (teléfonos, estaciones de datos, etc.) conectados a ellas.

Router: Es el elemento responsable de discernir cuál es el camino más adecuado para la transmisión de mensajes en una red compleja que está soportando un tráfico intenso de datos.

SDH: *Synchronous Digital Hierarchy*. Jerarquía Digital Sincronía. Es una tecnología mas avanzada de sistemas de alta capacidad para el transporte de señales digitales.

SONET: *Synchronous Optical Network*.

STM: *Synchronous Transport Module*. Modulo de Transporte Síncrono

STM-n: Modulo de Transporte Síncrono de Nivel n (1, 4, 16, 64).

TCP/IP: *Transmisión Control Protocol/Internet Protocol*. Conjunto de protocolos para redes y conexiones entre redes que ocupa los niveles 3 y 4 del modelo OSI.

TDM: *Time division multiplexing*. Multiplexación por división de tiempo.

Transponder: Son Interfaces que en el lado del cliente permite recibir la señal de entrada y en el lado DWDM son las interfaces a la fibra óptica que enlazan a los sistemas DWDM.

UMTS: *Universal Mobile Telecommunications System*. El Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles.

WAN: *Wide Area Network*. Red área Extensa. Es una red de comunicaciones, de concepto análogo a LAN, pero en distancias mayores y por lo general con recurso a las redes públicas de telecomunicaciones para los enlaces entre distintas sedes.

WDM: *Wavelength Division Multiplexing*. Multiplexación por división en longitud de onda. Técnica óptica que permite acoplar muchas longitudes de onda distintas en la misma fibra, incrementando el ancho de banda.

RESUMEN

En esta investigación se muestra una descripción sencilla del funcionamiento de la tecnología DWDM, sus componentes, su evolución, sus aplicaciones y sus ventajas sobre otras tecnologías, así como la importancia de esta en el desarrollo de las comunicaciones y la situación en la que se encuentra.

Así mismo se analizan las condiciones técnicas del proyecto de COLOMBIA TELECOMUNICACIONES S.A. ESP cuyo principal objetivo es instalar, configurar y operar una red DWDM con equipos de la nueva generación SDH que interconectará las principales ciudades de Colombia donde opera esta empresa.

Esta es una investigación de tipo descriptivo cuyo principal objetivo es el de reconocer las principales ventajas de la tecnología DWDM en comparación con las tecnologías tradicionales utilizadas y la importancia de migrar a un nivel superior en las telecomunicaciones.

INTRODUCCIÓN

El mundo actual de la comunicación de datos consta de tres ramas de la electrónica. La primera es donde se originan y se reciben los datos, y se basa en los microcircuitos digitales de silicio. La segunda es la fotónica, con grandes tendidos de fibra óptica por donde fluye la información. La tercera es la del almacenamiento de datos. Ello supone la existencia de interfaces y de módulos de compatibilidad.

Todo sería más sencillo y eficaz si además de la transmisión, el resto de la tecnología de la telecomunicación, basada en el silicio, se realizase con fotones, es decir, que usase la luz. Entraríamos en una nueva era de la tecnología de las comunicaciones. Precisamente esto es lo que parece que empieza a ocurrir.

Actualmente el tráfico medio en las grandes arterias troncales usadas por Internet es del orden de un billón de bits (un terabit) por segundo. Pero las redes más avanzadas existentes están llegando a una capacidad de transmisión de diez mil terabits (10 petabits) por segundo.

La solución para esta transmisión es posible: se puede realizar mediante la fibra óptica. Los datos electrónicos son convertidos en fotones de longitud de onda entre 1.200 y 1.600 nanómetros por un emisor de luz (un diodo foto emisor o un láser). Es recomendable que la fibra óptica trabaje en: En las ventanas de 850 y 1300 nm para multimodo y en una sola ventana para monomodo. Las ventanas de trabajo más corrientes son: Primera ventana a 850 nm, segunda ventana a 1300 nm y tercera ventana a 1550 nm. La atenuación es mayor si trabajamos en primera ventana y menor si lo hacemos en tercera. El hecho de que se suele utilizar la primera ventana en la transmisión de una señal es debido al menor coste de las fuentes luminosas utilizadas, al ser tecnológicamente más simple su fabricación.

A principios de los 90 se descubrió que este tipo de transmisión podía realizarse sin amplificadores electrónicos, introduciendo en cada determinado trayecto un segmento de fibra dopado con el elemento químico llamado erbio.

Una misma fibra puede conducir multitud de longitudes de onda luminosas diferentes y cada longitud de onda se puede convertir en portadora de un gran volumen de datos. En ello consiste la técnica conocida como DWDM (multiplexación densa por división de longitudes de onda), que es aplicable a tendidos previamente existentes. Actualmente se pueden enviar más de 160 longitudes de onda simultáneas, lo que se traduce en una gran anchura de banda por fibra, unos 0,4 terabits que es muy superior a la de las transmisiones por microondas o a la de los enlaces vía satélite, sus competidores en las comunicaciones a larga distancia. Esta forma de transmisión de datos, hace que las redes ópticas sean aptas para cubrir la imparable demanda de mayores prestaciones de ancho de banda y velocidad de transmisión.

1. FUNDAMENTO DE LA TECNOLOGÍA DWDM

La introducción de nuevos servicios de valor añadido tales como vídeo bajo demanda o aplicaciones multimedia requiere de una gran cantidad de ancho de banda para satisfacer las necesidades de los usuarios. Las soluciones que tienen los proveedores de servicio para satisfacer este aumento de la demanda de tráfico son diversas. La primera solución sería instalar más fibra, aunque ésta es una solución cara y en algunos casos inviable. La segunda solución consiste en utilizar técnicas de multiplexación por división en el tiempo (**TDM**), donde el aumento de capacidad se consigue por medio de ranuras de tiempo más pequeñas que permiten transmitir mayor cantidad de bits (datos) por segundo. Esta tecnología ha sido utilizada en las redes de transporte basadas en los estándares **SDH/SONET**¹. No obstante, el principal problema al que se enfrentan los proveedores de servicio es el relacionado con el salto a una capacidad mayor. Basándose en la jerarquía **SDH**, la capacidad inmediatamente superior a los 10 Gbit/s son los 40 Gbit/s, por lo que se obtiene más capacidad de la que pudiera necesitarse en un principio, con el correspondiente desembolso económico pues hay que actualizar todos los transmisores y receptores del sistema.

Finalmente, la tercera alternativa consiste en DWDM, que permite aumentar de una forma económica la capacidad de transporte de las redes existentes. Por medio de multiplexores, DWDM combina multitud de canales ópticos sobre una misma fibra, de tal modo que pueden ser amplificados y transmitidos simultáneamente. Cada uno de estos canales, a distinta longitud de onda, puede transmitir señales de diferentes velocidades y formatos: SDH/SONET, IP, ATM, etc. Es decir, DWDM puede multiplexar varias señales TDM sobre la misma fibra. Las redes DWDM futuras se espera que transporten 80 canales

¹ SDH y el equivalente norteamericano SONET son las tecnologías dominantes en la capa física de transporte de las actuales redes de fibra óptica de banda ancha. Su misión es transportar y gestionar gran cantidad de tipos de tráfico diferentes sobre la infraestructura física.

OC-48/STM-16 de 2,5 Gbit/s (un total de 200 Gbit/s), ó 40 canales OC-192/STM-64 de 10 Gbit/s (un total de 400 Gbit/s), la capacidad equivalente a unos 90.000 volúmenes de enciclopedia por segundo. A diferencia del sistema WDM² convencional, en este caso todas las portadoras ópticas viajan por la fibra con separaciones inferiores a 1 nm, en la primera ventana donde operaban Los primeros sistemas desarrollados.

1.1. EVOLUCIÓN DE LA TRANSMISIÓN CON FIBRA ÓPTICA.

La realidad de la transmisión de la fibra óptica ha sido experimentalmente mejorada desde el siglo XIX, pero la tecnología empezó a avanzar rápidamente en la segunda mitad del siglo XX con el invento del fiberscopio, quien encontró aplicaciones en la industria y la medicina, por ejemplo en la cirugía laparoscópica.

Después de que fuese posible la viabilidad de la transmisión de la luz sobre fibra, el paso siguiente en el desarrollo de la fibra óptica fue encontrar una fuente de luz que fuera suficientemente potente y de espectro estrecho. Los LED (**Light-Emitting Diode**) y los diodos láser fueron capaces de cumplir estos requisitos. Los láseres empezaron en la década de los 1960, culminando con los láseres semiconductores que son los que se usan mayoritariamente en la actualidad.

A mediados de los 60`s los investigadores propusieron a la fibra óptica como un medio susceptible para transportar información, sin embargo existía un obstáculo, este era la perdida en la intensidad de la señal o atenuación.

Finalmente, en 1970, Corning produjo la primera fibra para comunicación de datos, con una atenuación menor a los 20 dB/Km.

² Es una técnica óptica que permite acoplar muchas longitudes de onda distintas en la misma fibra incrementando el ancho de banda. Es una solución para aplicaciones con un alcance limitado, sus capacidades de mantenimiento son limitadas ya que usualmente el sistema consta sólo de un acoplador óptico y un filtro.

Desarrollos posteriores en fibra óptica están ligados al uso de regiones específicas del espectro óptico llamadas bandas, donde la atenuación es mínima. Estas regiones, llamadas ventanas, están entre áreas de alta absorción. Los primeros sistemas desarrollados operan alrededor de los 850 nm, la primera ventana en la fibra óptica basada en silicio. Una segunda ventana (S band), a 1310 nm, era mejor en cuanto tenía menor atenuación, seguida por una tercera ventana (C band) a 1550 nm con una pérdida óptica aún menor. Hoy una cuarta ventana (L band) cercana a 1625 nm está en fase de desarrollo. Estas ventanas se pueden apreciar en la siguiente representación (Figura 1.1).

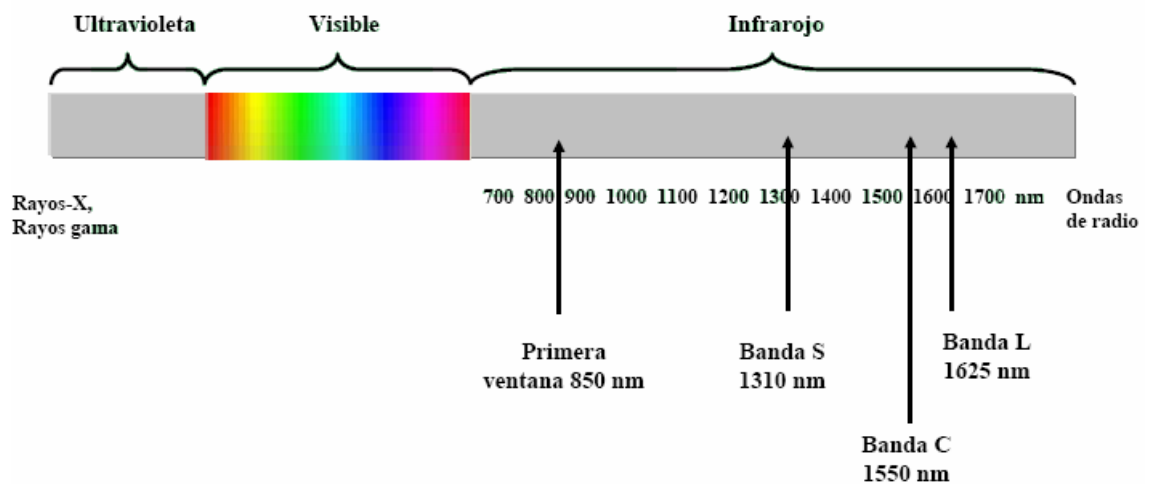


Figura 1.1. Bandas en el espectro electromagnético.

1.1.1. Desarrollo de la Tecnología DWDM. La primera generación de redes WDM empezó a finales de la década de 1980. Surgió para aliviar el problema del agotamiento de capacidad de las redes SDH/SONET, el cual, consistía simplemente en combinar múltiples longitudes de onda en una misma fibra usando longitudes de onda muy espaciadas, 1310 nm (segunda ventana) y 1550 nm (tercera ventana).

A principios de la década de 1990 aparece la segunda generación de WDM, a veces llamada WDM de banda estrecha en que se usaban de 2 a 8 canales. Ahora estos canales están espaciados en un intervalo de unos 400 Ghz en la

ventana de 1550 nm (tercera ventana). Esta segunda generación de DWDM dobla el número de canales e introduce protección de anillo y OADM's estáticos³, 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, ESCON⁴ y SDH/SONET. Si bien estas mejoras son enormes en comparación con las redes SDH/SONET 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. Adicionalmente, la mayoría de OXCs⁵ existentes 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.

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

³ Los OADM son dispositivos que añaden o entregan lambdas en un punto intermedio de la red. Los OADM estáticos permiten compartir los recursos de longitud de onda en una red en este caso de anillo.

⁴ Es una interfaz que utiliza para la conexión de los sistemas de la empresa, o la conectividad de los sistemas de la empresa, una tecnología óptica de la conexión de la fibra de la IBM que interconecta los ordenadores centrales S/390, los sitios de trabajo y los dispositivos de almacenaje red-unidos a través de transferencias de datos por un solo canal.

⁵ OXC es un Elemento que puede conmutar un flujo óptico de datos desde un puerto de entrada a un puerto de salida. De esta forma un conmutador puede utilizar la conversión óptica-eléctrica en el puerto de entrada y conversión eléctrica-óptica en el puerto de salida, o puede ser todo óptico.

clave para ganar clientes consiste en su habilidad para proporcionar nuevos servicios o cambiar la capacidad de los existentes de forma rápida.

A continuación la figura 1.2 nos muestra como ha evolucionado esta tecnología.

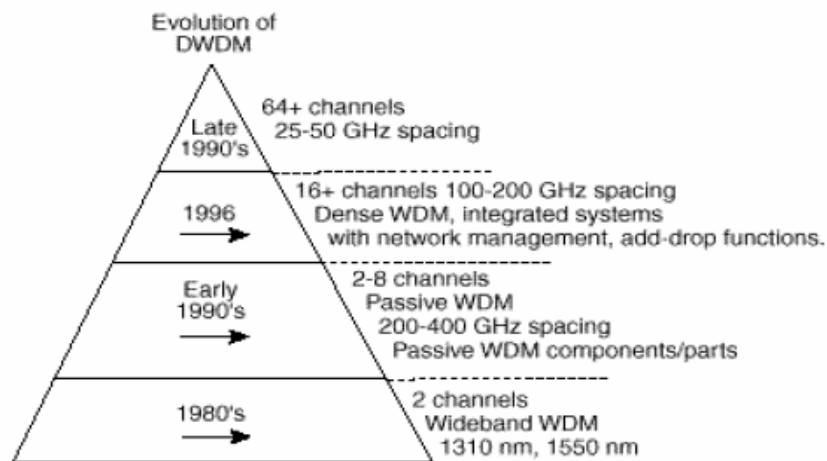


Figura 1.2. Evolución de DWDM.

El progreso de la tecnología DWDM puede verse como un incremento en el número de longitudes de onda acompañado de un decremento en el espaciado de dichas longitudes de onda. Adicionalmente al incremento en la densidad de longitudes de onda, los sistemas también avanzaron en su flexibilidad de configuración, funciones como add-drop y capacidad de administración.

El incremento en la densidad de canales ha tenido un dramático impacto en la capacidad de transporte de información de la fibra.

1.2 COMPONENTES

La tecnología DWDM fue posible debido a la fabricación y comercialización de componentes que en la época de CWDM⁶ eran únicamente ideas o experimentos.

⁶CDWM (Coarse Wave Division Multiplexing). Es una tecnología multi-protocolo de transporte que demuestra su crecimiento significativo en el mercado debido a sus cualidades de bajo costo y simplicidad de diseño.

Componentes

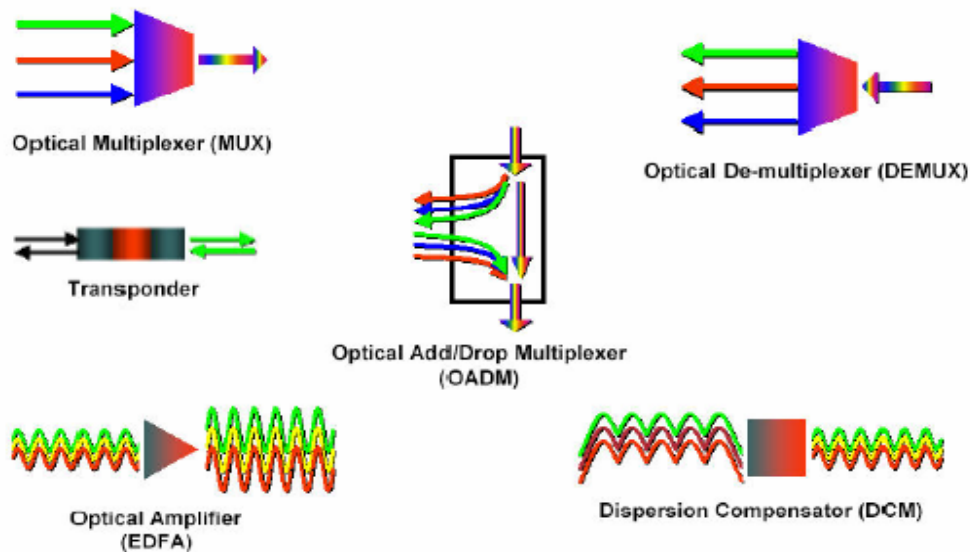


Figura 1.3 Componentes en la tecnología DWDM.

La fabricación a gran escala de fibra óptica ha posibilitado una disminución de los costes y una mejora en las características de transmisión de la fibra.

Estos son los principales elementos utilizados en la tecnología DWDM que se aprecian en la figura 1.3.

- **Los multiplexores ópticos Add – Drop (OADM)** han permitido que la tecnología DWDM pueda implantarse en redes de diversos tipos. Retira o inserta lambdas en forma selectiva en el trayecto del sistema DWDM.
- **Filtros integrados** de estado sólido de menor tamaño y con posibilidad de ser integrados en el mismo sustrato junto con otros componentes ópticos.
- **Amplificadores ópticos (EDFA)** Amplificador óptico que inyecta energía a las diferentes lambdas para incrementar su potencia y así tener mayor alcance en distancia. Actúan como repetidores eliminando la necesidad de regeneradores⁷.

⁷ En las redes ópticas anteriores a DWDM, cada fibra transportando una señal óptica, típicamente a 2.5 Gbps, requería un regenerador eléctrico cada 60 a 100 Km.

- **Los componentes ópticos de conexión (OXC)**, que pueden implementarse con diferentes tecnologías de fabricación, han hecho posible la conmutación puramente óptica.
- **Transponder**. Mapea la señal del cliente a una señal particular requerida por el sistema DWDM, se conectan directamente a dispositivos MUX/DEMUX.
- **DCM**. Dispositivo que compensa el efecto de dispersión cromática, logrando mejoras en la transmisión.
- **Filtros de longitud de onda** seleccionable, que pueden ser empleados como multiplexores ópticos.
- **Fotodetectores y fuentes láser** que permiten integración produciendo diseños más compactos.

1.3. SISTEMAS DWDM OPACOS Y TRANSPARENTES.

Existen dos tipos de sistemas DWDM. Los sistemas opacos reciben la información fotónica de la fibra, demultiplexan fotónicamente cada longitud de onda del canal y convierte la información fotónica en electrónica. Una vez realizada esta conversión, el sistema electrónico se encarga de realizar funciones como multiplexación, control de errores, encaminamiento etc. A la salida del sistema, la información es convertida de nuevo de electrónica a fotónica. Desde el punto de vista de un observador externo, los fotones no atraviesan el sistema, de ahí su nombre de opaco. Un ejemplo de esta manipulación sería el transponder que puede implicar operaciones 3R (restitución de la forma de la señal, resincronización, regeneración, y quizás amplificación).

Por otro lado, en los sistemas transparentes los fotones recibidos desde la fibra óptica nunca son convertidos a electrones, realizándose con ellos funciones de multiplexación, demultiplexación, etc. Desde el punto de vista de un observador externo, los fotones atraviesan el sistema, de ahí su nombre de transparente. De forma más general, todos los nodos intermedios en una red óptica

transparente transferirá las señales ópticas sin la necesidad de realizar la resincronización ni restituir la forma de la señal y así estos nodos son ignorantes de las características de los datos transportados por las señales ópticas. Aquí que se permite la amplificación de las señales en los nodos de tránsito en las redes ópticas transparentes por ejemplo usando EDFAs.

1.4. FIBRA OPTICA

A continuación se hace una breve descripción de la fibra óptica haciendo énfasis en cuanto a sus aplicaciones en DWDM.

La fibra se ha convertido en el medio de transporte elegido para la aplicaciones de comunicación de alta velocidad (voz, dato, video...). La fibra presenta características que los cables de cobre (par trenzado y coaxial) no proporcionan. Por ejemplo, la fibra es inmune a las interferencias electromagnéticas, no se oxida y presenta un ancho de banda prácticamente ilimitado. Está compuesta de un filamento de silicio puro mezclado con ciertos elementos químicos (los dopantes⁸).

El cable de fibra óptica se compone de una única fibra, que puede tener muchos kilómetros de largo. El cable presenta varias capas (ver figura 1.4), la capa mas interna es el núcleo de silicio. El núcleo esta cubierto por otra capa de silicio dopada (Conocida como revestimientos) que esta cubierto a su vez por otra capa de protección diseñada para absorber el estrés mecánico que pueda sufrir el cable durante su manipulación, como refuerzo a esta capa de protección, el cable se recubre con una nueva capa de un material fuerte y resistente como el *Kevlar*. Finalmente todo el conjunto se recubre con una capa de material plástico.

El cable final de fibra óptica, que se emplea en comunicaciones esta formado por un conjunto variable de fibras ópticas (hasta 432 fibras) agrupadas en paquetes, normalmente de 8 fibras cada uno, con único recubrimiento global.

⁸ La fibra se dopa para ajustar el índice de refracción del silicio y, con ello, sus características de propagación de la luz.

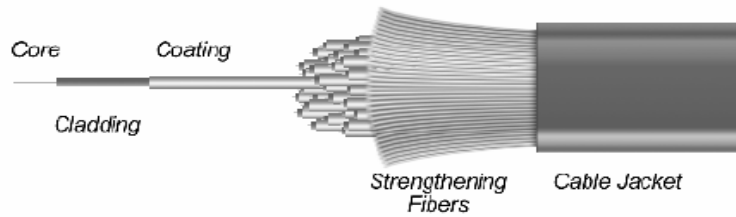


Figura 1.4. Elementos de un cable de fibra óptica.

Las características de propagación de la luz en la fibra óptica, depende de su consistencia química (Silicio + dopantes) y de las dimensiones de su sección. Normalmente, el núcleo y el revestimiento tienen un diámetro aproximado de 125 μm , pero el núcleo en si puede ver variado su diámetro considerablemente según la aplicación para la que se diseña la fibra. Una fibra con un diámetro de 50 μm se conoce como *fibra multimodo* mientras que una fibra con un diámetro de 8.6 a 9.5 μm se denomina *monomodo*⁹.

1.4.1 Modos en la Fibra. Se disponen de los tipos siguientes básicos de fibras ópticas:

1. Multimodales.
2. Multimodales con índice graduado.
3. Monomodales.

- **Fibra multimodal.** Recibe este nombre del hecho de que puede transportar múltiples rayos (o nodos) simultáneamente a través del núcleo. Cuando el índice de refracción es uniforme en todo el núcleo, la fibra se denomina fibra de índice de refracción discreta. El problema con este tipo de fibra es algunos rayos recorren mayor distancia que otros debido a los rebotes, y como viajan a la misma velocidad, se produce un fenómeno de dispersión llamada dispersión modal¹⁰. Esto es la razón por la que la fibra Multimodal no se usa en aplicaciones de área amplia.

⁹ Según la ITU – T G.652.

¹⁰ Este fenómeno es la causa de una señal de calidad pobre en la recepción y que limita la distancia de transmisión.

Este efecto se reduce con la fibra óptica de índice de refracción gradual donde el índice en núcleo va cambiando gradualmente del centro hacia la cubierta produciendo que la velocidad en la orilla del núcleo es mayor por los rayos que ocurren mayor distancia lo hacen mas rápido produciéndose el efecto de que los rayos llegan casi al mismo tiempo y con una reducida dispersión modal.

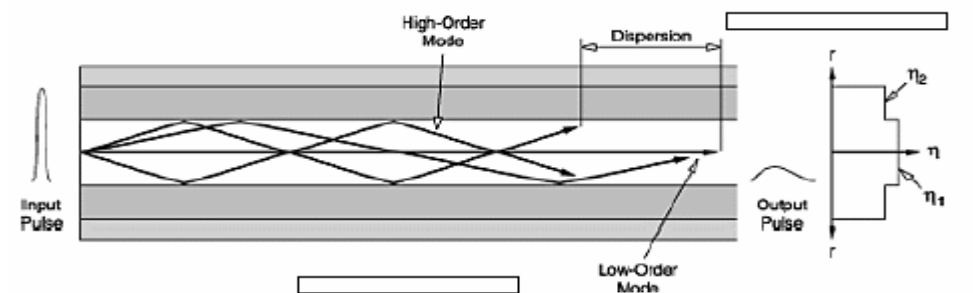


Figura 1.5. Propagación de los rayos ópticos dentro de una fibra multimodal.

En la Figura 1.5 se muestra como este tipo de fibra viajan varios rayos ópticos reflejándose a diferentes ángulos. Los diferentes rayos ópticos recorren diferentes distancia a la que se puede transmitir es limitada.

- **Fibra Multimodal con Índice Graduado.** En este tipo de fibra óptica el núcleo esta formado por varias capas concéntricas de material óptico con diferentes índices de refracción. La propagación de los rayos se realiza según el patrón mostrado en la figura 1.6.

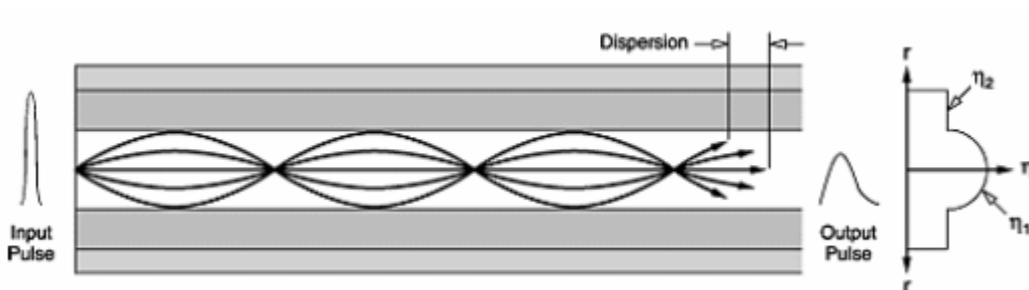


Figura 1.6. Propagación de los rayos ópticos dentro de una fibra multimodal con índice graduado.

En estas fibras el número de rayos ópticos diferentes que viajan es menor y, por tanto, sufren menos el problema de las multimodales.

- **Fibra Monomodal.** Este tipo de fibra es la de menor diámetro y únicamente permite viajar al rayo óptico central. Lo que ocasiona que se recorran mayores distancias con grandes velocidades de transmisión. Como resultado de ello, la señal se atenúa menos y por lo tanto se alcanza mayores distancias. Estos factores contribuyen a una capacidad de ancho de banda mayor que el caso de las fibras multimodo. Para gran capacidad de transmisión y bajas pérdidas, la fibra monomodo se prefiere en aplicaciones de larga y mayor ancho de banda, de uso idóneo para DWDM. En este tipo de fibra tiene como máximo ancho de banda 10-20 Ghz por km. tiene como característica máximo rendimiento (Velocidad y longitud) y mínimo retardo.

En la figura 1.7 se aprecia que es de único modo (trayectoria) de distancia mínima, sin apenas reflexiones ni dispersión modal. El índice de refracción en escalón.

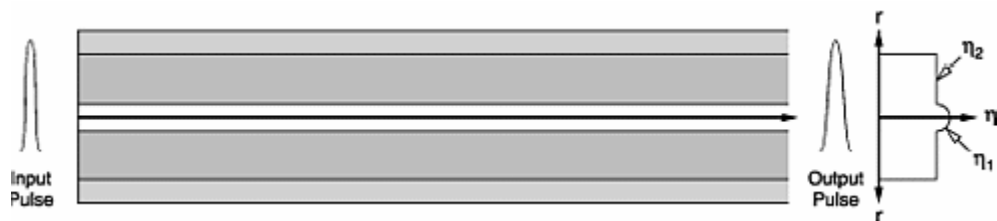


Figura 1.7. Propagación de los rayos ópticos dentro de una fibra monomodo.

1.4.2. Inconvenientes en la Transmisión. La transmisión de luz en fibras ópticas presenta dos inconvenientes. Cada uno de estos efectos tiene varias causas. A continuación se explican las más revelantes.

- **Atenuación.** Es la disminución en la potencia de la señal conforme el rayo se propaga en la fibra óptica. En la siguiente figura se aprecia como afecta este fenómeno en las distintas ventanas (bandas).

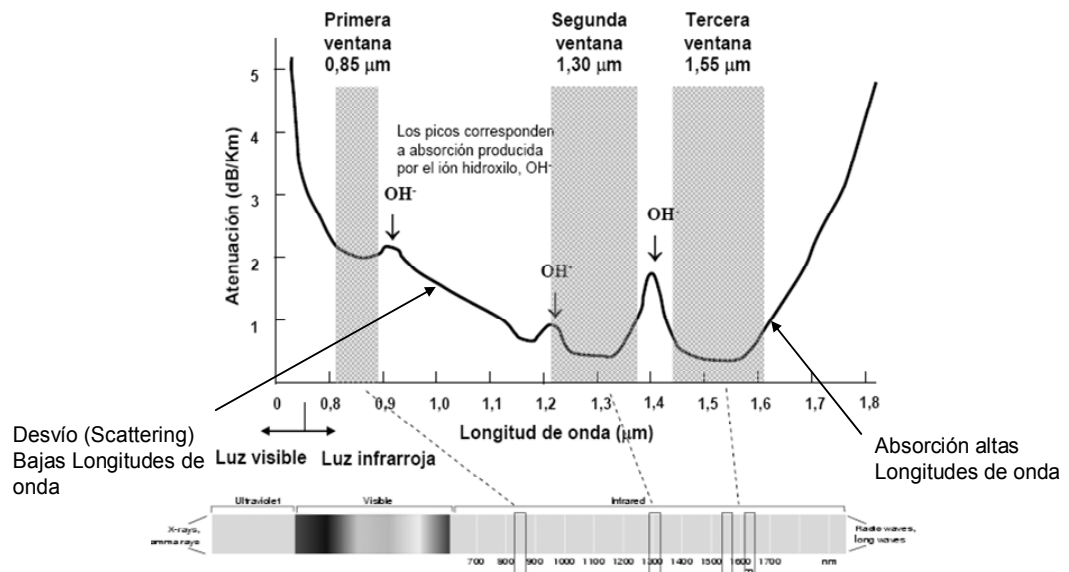


Figura1.8. Atenuación Vs. Longitud de onda.

- **Dispersión.** Es el esparcimiento de pulsos de luz mientras viaja a través de la fibra. El resultado es una distorsión de la señal que limita el ancho de banda de la fibra. A continuación (Figura 1.9) en forma esquematizada este otro inconveniente en la transmisión de la fibra.



Figura1.9. Principio de dispersión.

1.4.3. Atenuación. Es la caída de la fuerza de la señal, o pérdida de la potencia de luz, a medida que la señal se propaga por la fibra. La atenuación se debe a factores intrínsecos como el desvío y la absorción, y a factores extrínsecos como la tensión por defectos de fabricación, el ambiente y dobles físicos.

- La atenuación por Desvío (**scattering**). Es producido por pequeñas variaciones en la densidad del vidrio por problemas en el proceso de enfriamiento. Este efecto se acentúa para longitudes de onda pequeños,

por lo que es grave para longitudes menores de los 800nm. En la figura 1.10 se aprecia como es este fenómeno.

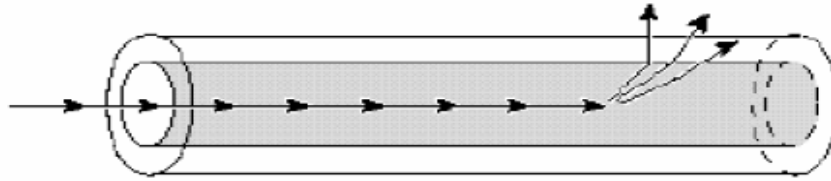


Figura 1.10. Atenuación por desvío.

- La atenuación por Absorción. Es debido a impurezas del material o defectos atómicos, las impurezas absorben la energía óptica. Este efecto es más pronunciado para longitudes mayores a los 1700 nm. Sin embargo, la absorción debido al agua introducida en el proceso de fabricación de la fibra esta siendo eliminada en algunos nuevos tipos de fibra. En la siguiente figura se nota como se efectúa este inconveniente.

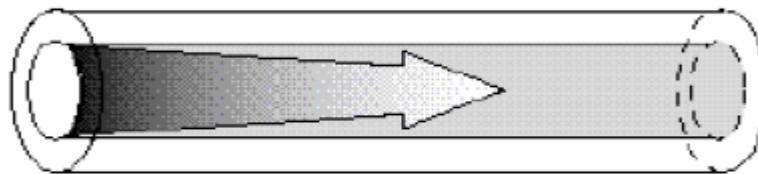


Figura 1.11. Atenuación por Absorción.

Cabe indicar que la atenuación en la fibra se compensa mediante el uso de amplificadores ópticos.

1.4.4. Dispersión. Existen dos tipos generales de la dispersión el que mas afecta a los sistemas DWDM es la dispersión cromática, y la otra que no tiene tanto efecto es la dispersión por polarización.

- Dispersión cromática. Es el ensanchamiento del pulso de luz debido a que las diferentes longitudes de onda viajan a diferente velocidad. El efecto de la dispersión cromática se incrementa con el cuadrado de la velocidad de transmisión.

- Dispersión por polarización. Este efecto se debe a la polarización de la fibra, es decir, a la falta de simetría en el medio, esto ocasiona que las componentes X y Y del pulso viajen a diferentes velocidades.

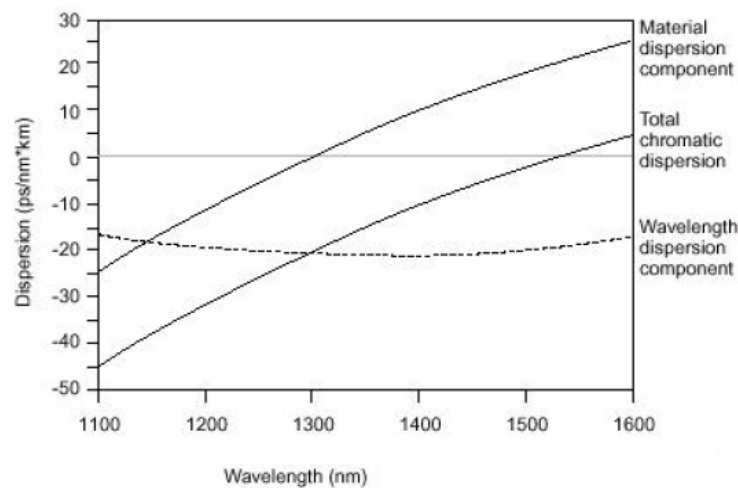


Figura 1.12. Dispersión cromática.

En la figura 1.12 anterior se muestra la dispersión cromática total junto con sus componentes. Se logra apreciar que el resultado de la dispersión de la guía de onda es un retardo de propagación en unas o más de las longitudes de onda relativas a la demás.

1.5. LA INTERCONEXION OPTICA

La conectividad es uno de los factores más importantes en la mayoría de los sistemas de comunicación. La funcionalidad de estos equipos es establecer conexiones lógicas entre sus enlaces de entrada y salida sobre las conexiones físicas existentes. La misma capacidad de interconexión empleada en los sistemas electrónicos (cientos de entrada y salidas) se hace ahora necesaria en los sistemas ópticos de comunicación. La interconexión de canales ópticos se consigue mediante dos técnicas diferentes:

1. Método de Aproximación Híbrida.
2. Método de Conmutación Óptica Total.

1.5.1. Método de Aproximación Híbrida. Se realiza mediante una conversión de la señal óptica a una señal electrónica, interconexión Entrada/Salida y posterior retorno al dominio óptico.

El método de aproximación híbrida es el más empleado en la actualidad, debido a la gran experiencia existente en el diseño y fabricación de sistemas de interconexión multicanal ($N \times N$) con gran ancho de banda. Este caso, N es del orden de varios cientos.

1.5.2. Método de Conmutación Óptica Total. Se realiza mediante una interconexión directa entre los canales ópticos. No hay pasos intermedios, se trabaja únicamente en el dominio óptico. Como se muestra en la figura 1.13.

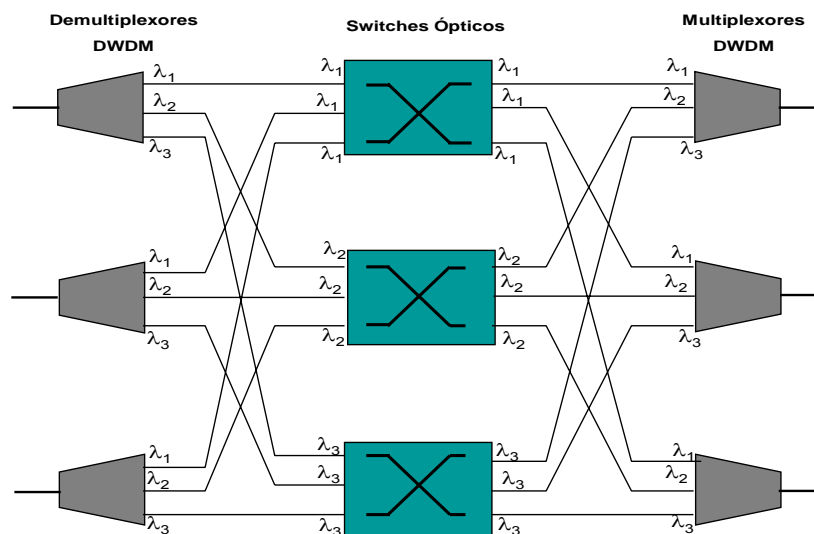


Figura 1.13. Esquema de conmutación óptica total.

Los sistemas con conmutación óptica total, se emplea en aplicaciones con gran ancho de banda y un número reducido de canales. En este caso, N puede variar desde 2 a 32 aproximadamente. Actualmente ya se prueban prototipos de 1000×1000 .

1.6. MODELOS DE INTERCONEXIÓN ÓPTICA

Los dispositivos de interconexión óptica se diseñan a partir de un modelo de entradas y salidas. Los sistemas de interconexión por conmutación óptica total están basados en uno de los siguientes sistemas:

- Conmutación óptica de espacio libre. Uno de los dispositivos más habituales empleados es el mach-Zehnder WGR¹¹. En este dispositivo, una longitud de onda específica colocada a la entrada aparece en la salida deseada.
- Sistema de interconexión de estado sólido. Basados en semiconductores y en el cambio de sus propiedades ópticas al ser aplicada una señal aplicada una señal de control. Según el material empleado, las propiedades ópticas podrán cambiar aplicar calor, luz corriente eléctrica o un campo eléctrico (voltaje).

1.7. LOS MULTIPLEXORES ÓPTICOS

Los multiplexores ópticos son componentes especialmente diseñados para sistemas de multiplexación en longitud de onda (WDM). Los demultiplexores realizan la función inversa a la llevada a cabo por el multiplexor, es decir, separa una multitud de longitudes de onda que viene por una misma fibra, redirigiendo cada una de ellas por una fibra óptica.

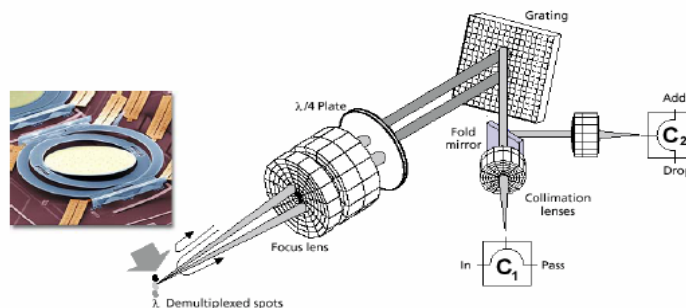


Figura 1.14. Multiplexor óptico Add/Drop.

¹¹ Es un filtro que se utiliza para el cambio de longitud o del índice de refracción, el mach-Zehnder es formado por dos coplas interconectadas a través de 2 canales de diferentes longitudes (modifica la fase de las ondas). Es utilizado como mux y demux de 2 entradas y 2 salidas.

Un multiplexor óptico tiene como función principal el acoplamiento de dos o más longitudes de onda de la misma fibra. Resulta evidente que se sitúa un demultiplexor correctamente a continuación del multiplexor a la salida se volverán a obtener las dos longitudes de onda por separado y en el espacio intermedio entre el multiplexor y demultiplexor las dos longitudes de ondas coexistirán. De esta manera, se observa que es posible extraer e insertar una longitud de onda determinada de un haz compuesto. El dispositivo que realiza esta función se denomina Multiplexor y Demultiplexor óptico add/drop (incrementador/decrementador) de longitudes de onda, que de manera abreviada se conoce como **OADM (Multiplexor Add/Drop Óptico)**. Ver figura 1.14

El OADM extrae en su entrada una longitud de onda de una multitud que viene por una fibra óptica, pudiendo agregar de nuevo esa longitud de onda a la salida, con un contenido de datos diferentes.

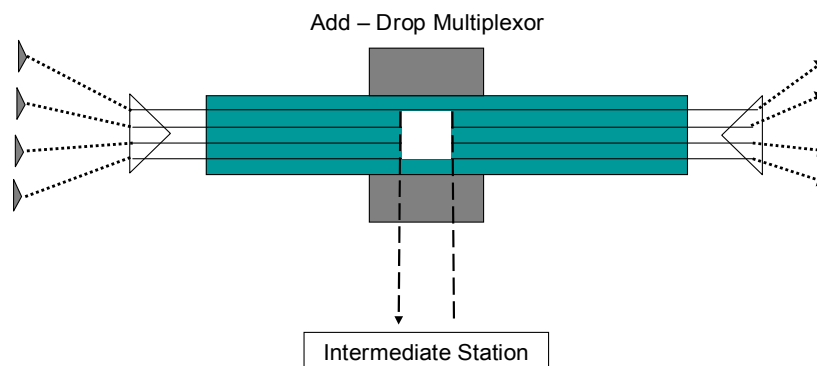


Figura 1.15 Representación esquemática del funcionamiento de un OADM.

El modelo de un OADM se muestra en la figura 1.15 (en donde se encuentra un filtro que extrae una longitud de onda, que llega a la estación dejando pasar el resto de la longitud de onda y un multiplexor que multiplexa todas las longitudes de onda). Los OADM se clasifican en:

- OADM de longitud de onda fija.
- OADM de selección dinámica de longitud de onda.

Las cuales se ilustran en la figuras 1.16 y 1.17 respectivamente.

- OADM de longitud de onda fija. Esta generación es fija y no podrá variar durante el funcionamiento del dispositivo. Estos dispositivos están configurados para retirar o insertar longitudes de onda específicas.

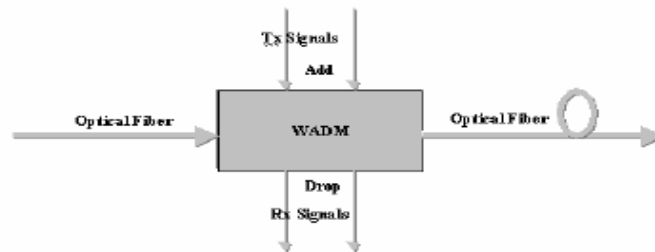


Figura 1.16. OADM de longitud de onda fija.

- OADM de selección dinámica de longitud de onda. Esta podrá variar directamente durante el funcionamiento del dispositivo, normalmente por medio de un *array de microespejos*.

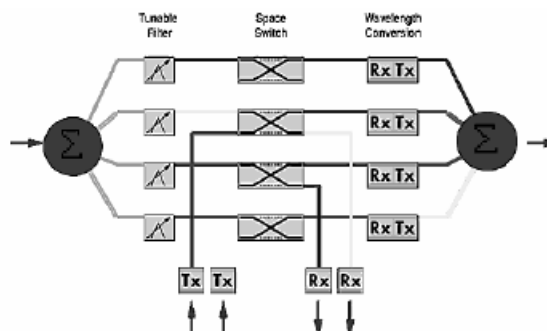


Figura 1.17. OADM de selección dinámica de longitud de onda.

1.7.1. Técnicas de Multiplexación/Desmultiplexación. Existen varias formas para multiplexación/Desmultiplexación, pero una forma simple es a través de un prisma (Figura 1.18) el cual separa las longitudes de onda produciendo el efecto de arco iris, donde cada rayo se refracta con diferente ángulo, finalmente, mediante, un sistema de lentes, dichos rayos son dirigidos al punto de entrada de cada fibra. Para lograr el multiplexaje, el proceso se realiza en dirección inversa.

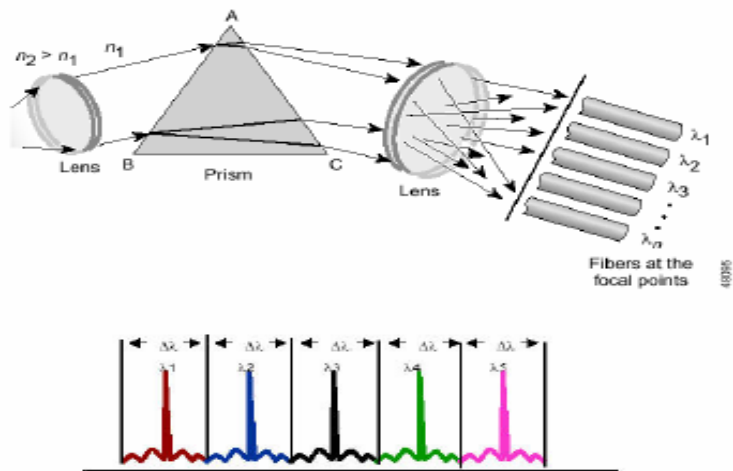


Figura 1.18. Mux/Demux por refracción en un prisma.

Otra tecnología alternativa para crear multiplexores y demultiplexores es a través de filtros de interferencia conformado de esa forma dispositivos llamados ***thin film filters o multilayer interferente filters***¹² (Figura 1.19).

Mediante la colocación de filtros, consistente en filmas delgadas, las longitudes de onda pueden ser sorteadas a diferentes direcciones. La propiedad de cada filtro es tal que algunas longitudes de onda son transmitidas mientras que otras son reflejadas. Poniendo en cascada estos dispositivos, varias longitudes de onda pueden ser demultiplexadas.

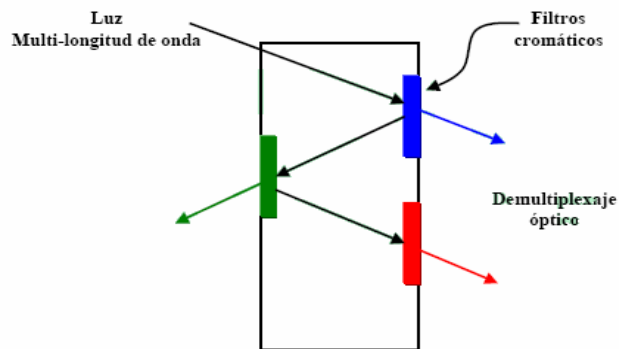


Figura 1.19. Mux/Demux con filtros cromáticos.

¹² Filtros de Película delgada o Filtros de interferencia multicapa.

1.7.2. Amplificador óptico EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier). Un amplificador óptico permite reforzar la señal (compensar la atenuación) sin tener que poner un repetidor (óptico-eléctrico-óptico) para cada señal sino que puede amplificar todas las señales simultáneamente.

El amplificador óptico empleado esta basado en un elemento químico llamado Erblio el cual cuando es excitado emite luz alrededor a los 1.54 micrómetros (μm), longitud de onda empleada en DWDM.

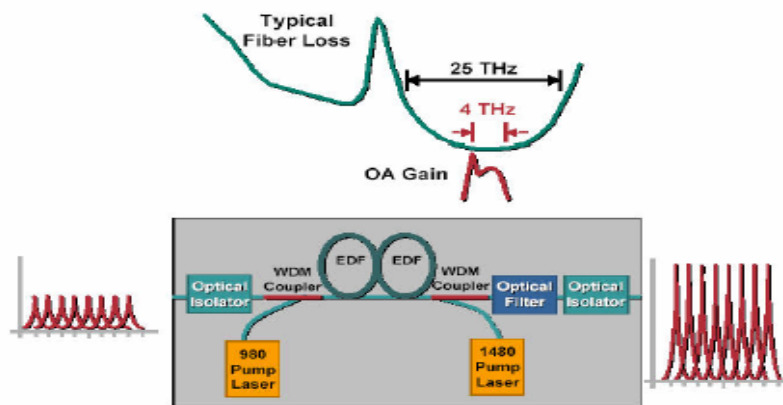


Figura 1.20. Diseño de un amplificador óptico EDFA.

Como se puede observar en la figura 1.20 la señal débil entra en una fibra óptica dopada con erbio, a la cual se le inyecta luz a 980 nm mediante una bomba láser para excitar el erbio y este a su vez amplifique las señales. En forma practica, las señales pueden viajar hasta 120 Km. sin amplificador, para mayores distancias hasta 1000 Km. la señal requiere ser regenerada¹³.

Estos amplificadores EDFA están disponibles para las bandas C y L. (alrededor de 1.550nm) los parámetros clave de los amplificadores ópticos son la ganancia, la igualdad de ganancia el nivel de ruido y la potencia de salida. Típicamente los EFDA son capaces de ganancias de hasta 30 dB o más y potencias de salida +17 dB o más. Sin embargo el bajo ruido y la igualdad de la ganancia.

¹³ Un solo amplificador óptico con un regenerador puede amplificar todos los canales de una fibra DWDM sin demultiplexación y ni procesamiento individualizado.

1.7.3 OXC. El conmutador cruzado óptico es un elemento básico de conmutación óptica, porque proporciona conectividad entre N puertos de entrada y N puertos de salida. Como se observa en la figura 1.21.

Cada puerto gestiona un conjunto de señales multiplexadas:

- Conmutación por fibra. Se conmutan conjuntamente todas las longitudes de ondas que transporta la fibra.
- Conmutación por longitud de onda. se conmuta individualmente cada longitud de onda.

El OXC soporta las reconfiguraciones de la red, permitiendo la gestión eficiente de los canales.

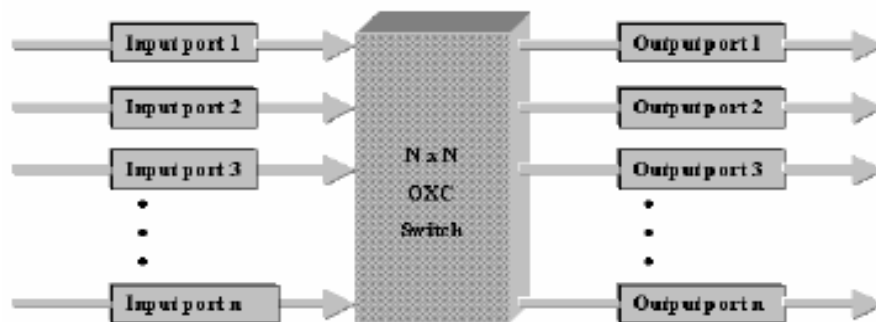


Figura 1.21. El conmutador cruzado óptico.

1.8. SISTEMAS DWDM

Los sistemas actuales de división de longitud de onda (DWDM) emplean cada longitud transmitida como un canal independiente. Cada canal puede transmitir tráfico homogéneo o heterogéneo. Por ejemplo, sobre una longitud de onda puede transmitirse tráfico **SONET/SDH** mientras que sobre otra puede encontrarse **ATM** e, incluso, aplicarse multiplexación en el tiempo (**TDM**¹⁴). WDM hace posible la transferencia de tráfico a distintas velocidades. Así, dependiendo de la aplicación, es posible que una longitud de onda (un canal) soporte tráfico OC-3 (155,52 Mbps), OC-12 (622,08 Mbps), OC-48 (2.488,32

¹⁴ TDM y WDM trabajan en conjunto para optimizar la capacidad de la fibra. TDM genera los flujos de bits de la forma más rápida.

Mbps) o superior, mientras que otra longitud de onda trabaje con velocidades inferiores o incluso indefinidas (definidas por el equipo del usuario final).

A medida que la tecnología optoelectrónica avanza, es posible disponer de una mayor densidad de longitudes de ondas en la misma fibra, empleándose cada vez mas el termino *DWDM*. En los sistemas donde no existe esa alta densidad, continua empleándose el termino *WDM* y en los términos sistemas de baja densidad se emplea *CWDM*¹⁵ (WDM simple).

Las fibras monomodo convencionales pueden transmitir en el rango de 1.340 a 1.440 nm (segunda ventana). Los sistemas WDM emplean longitudes de ondas en los dos rangos posibles (de 1.300 a 1.340 nm y de 1.440 a 1.550 nm). Los sistemas DWDM emplean en los últimos avances en la tecnología óptica para generar un gran número de longitudes de onda en el rango cercano a 1.550 nm¹⁶ (tercera ventana).

Actualmente, los sistemas comerciales DWDM presentan 16, 40 y 80 canales, y se prevé la próxima salida al mercado de sistema de 128 canales. Los sistemas con 40 canales presentan un espaciado de 50 GHz. Este espaciado en frecuencia indica la proximidad de los canales entre si.

1.8.1 El Transponder. En un sistema DWDM, un transponder convierte la señal eléctrica realizando las funciones de 3R (**Reshape, Remite, Retransmit**). Entonces, la señal eléctrica es usada para manejar el láser del DWDM. Cada transponder dentro del sistema convierte la señal del cliente a una longitud de onda determinada.

¹⁵ CWDM es un método de combinar múltiples señales en un rayo láser de varias longitudes de onda para transmitir a lo largo de cables de fibra óptica, tal que el número de canales es menor que en DWDM.

¹⁶ La ITU-T en su recomendación G.692 define 43 canales en el rango de 1.530 a 1.562 nm con un espaciamiento de 100 GHz.

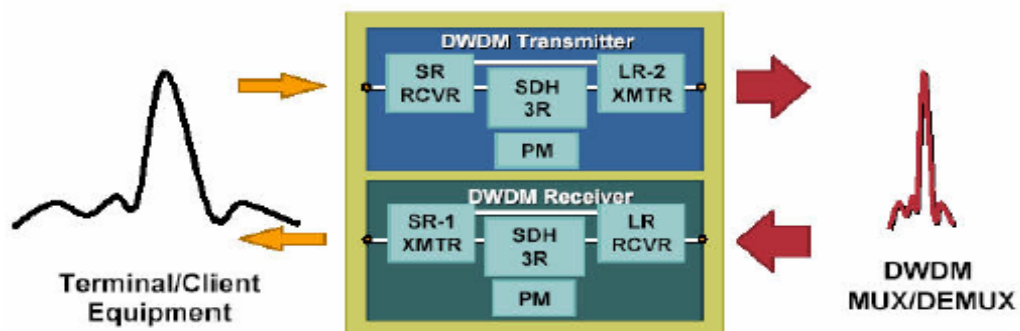


Figura 1.22. Operación del transponder en un sistema DWDM.

Las longitudes de onda de todos los transponders son ópticamente multiplexados. En el receptor, el proceso contrario se lleva a cabo, se demultiplexan las longitudes de onda y cada una es pasada a un transponder, el cual convierte la señal a eléctrico y finalmente lo envía a la interfase del cliente. La figura 1.22 muestra como es la operación de un transponder.

A continuación mostramos un esquema general donde están todos los elementos ya mencionados.

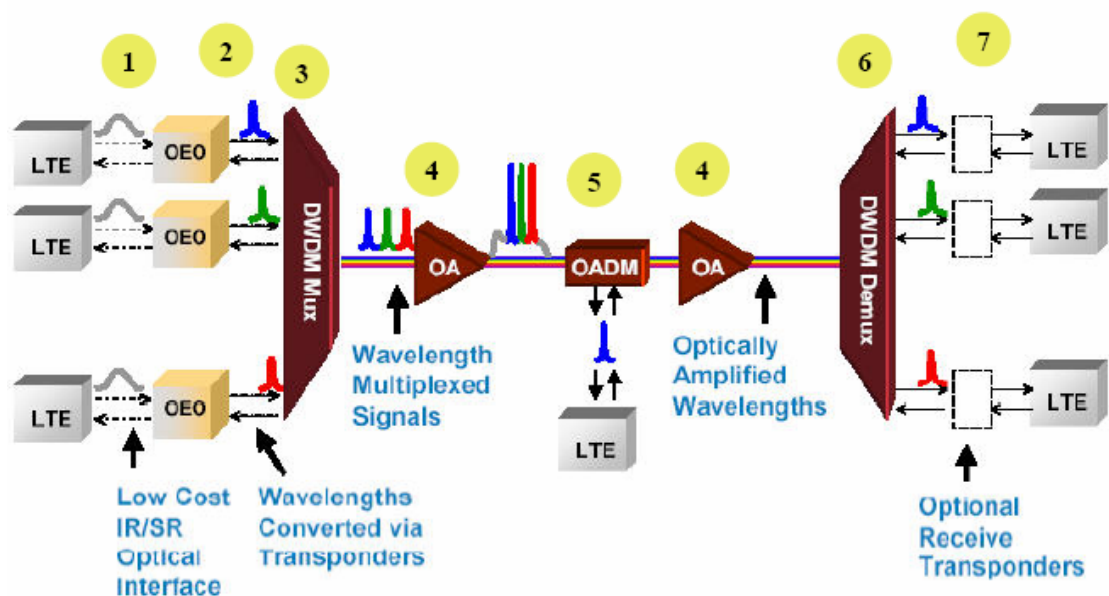


Figura 1.23. Esquema de la descripción de un sistema DWDM.

La figura 1.23 muestra una operación extremo a extremo de un sistema DWDM unidireccional. A continuación se describirán los pasos de dicho sistema DWDM.

1. El transponder acepta la entrada normalmente de una fibra multimodo. La entrada puede venir de diferentes tipos de medios y diferentes protocolos.
2. La longitud de onda de cada señal de entrada es mapeada a una longitud de onda DWDM.
3. Las longitudes de onda DWDM del transponder son multiplexadas en una sola señal óptica y enviada por a la fibra. El sistema también puede incluir la posibilidad de aceptar señales ópticas directas al multiplexador; tales señales pueden venir, por ejemplo, de un satélite.
4. Un post-amplificador refuerza la señal óptica a la salida del sistema (opcional).
5. Durante la trayectoria, longitudes de onda específicas pueden ser retiradas o insertadas mediante dispositivos OADM.
6. La señal de entrada es demultiplexada en lambdas DWDM individuales (o longitudes de onda).
7. Cada lambda individual DWDM son mapeadas según el tipo de salida requerido (por ejemplo, fibra monomodo OC-48) y enviada a través del transponder.

2. APLICACIONES DE DWDM

Los sistemas DWDM pueden emplearse en numerosos tipos de redes así como en todos los niveles de conmutación.

Como por ejemplo, los sistemas DWDM pueden emplearse en redes *backbone* (redes troncales que transportan una gran cantidad de datos con altísimas velocidades de transmisión) que cubren grandes áreas geográficas (continentales) o que conectan continentes entre si (transoceánicos). Los sistemas continentales suelen ser de topología punto a punto, anillo, estrella o malla, mientras que los sistemas transoceánicos presentan a manera predominante topología punto a punto. Los sistemas DWDM pueden aplicarse en zonas metropolitanas, interconectando múltiples edificios. También, es posible aplicar DWDM en redes de pequeño tamaño (unos pocos nodos) donde exista una gran variedad de tipos de tráfico (TDM, SONET/SDH, ATM, IP, etc.) y se presenta la posterior conexión a una red de mayor nivel. La topología en anillo o malla permite facilitar estas últimas aplicaciones. Unos de los nodos actuarán como concentrador proporcionando conectividad con el resto de redes.

2.1 TOPOLOGIA DE REDES DWDM

Las redes DWDM pueden clasificarse según cuatro topologías principales:

- Redes DWDM punto a punto con o sin OADM.
- Redes de malla con conexión total.
- Redes en estrella con OADM y concentrador.
- Redes de anillo con OADM y concentrador.

Cada topología presenta unos requerimientos y, basándose en la aplicación, se necesitarán diferentes componentes ópticos en su diseño. Además, existen redes DWDM híbridas que consisten en redes en estrella o anillo interconectadas entre si por un enlace punto a punto.

2.1.1 Redes Punto a Punto. Esta topología se emplea habitualmente para el transporte a largas distancias, donde se desea una alta velocidad de transmisión (de 10 a 40 Gbps), un gran ancho de banda agregado (del orden de varios Tbps), alta integridad de señal, etc. La distancia entre el transmisor y el receptor puede ser de varios cientos kilómetros, el número de amplificadores suele ser inferior de 10^{17} . Una topología punto a punto junto con multiplexores Add/Drop (OADM's), permite extraer o añadir canales a lo largo del proyecto.

El número de canales, el espaciado en frecuencia entre ellos, el tipo de fibra, la distancia entre el emisor y receptor, el tipo de modulación y los componentes empleados son factores cruciales a la hora de calcular las necesidades de potencia de transmisión.



Figura 2.1. Modelo de red DWDM punto a punto.

La protección en las topologías punto a punto se puede hacer de dos maneras: Con equipos de primera generación. La redundancia es a nivel de sistema. Los enlaces paralelos conectan sistemas redundantes en cada extremo. La conmutación en caso de fallo es de responsabilidad del equipo del cliente (un conmutador o enrutador, por ejemplo), mientras que los sistemas DWDM suministran capacidad por ellos mismos.

Con equipo de segunda generación, la redundancia es a nivel de tarjeta. Los enlaces paralelos conectan sistemas individuales en el extremo que contiene

¹⁷ Determinado por las pérdidas y distorsiones de señal que se producen.

transponders (se definió en el capítulo anterior), multiplexadores y CPUs redundantes.

2.1.2 Redes de Malla. Las redes malladas DWDM, constan de nodos ópticos interconectados, Desde un punto de vista de diseño, es una posible elegante evolución pasar de topologías punto a punto a topologías malladas. Empezando con los enlaces punto a punto, equipados los nodos iniciales con OADM para tener flexibilidad, y a continuación interconectándolos, la red puede evolucionar en una malla sin un rediseño completo. Adicionalmente las topologías malladas y en anillo se pueden unir con enlaces punto a punto (Figura 2.2).

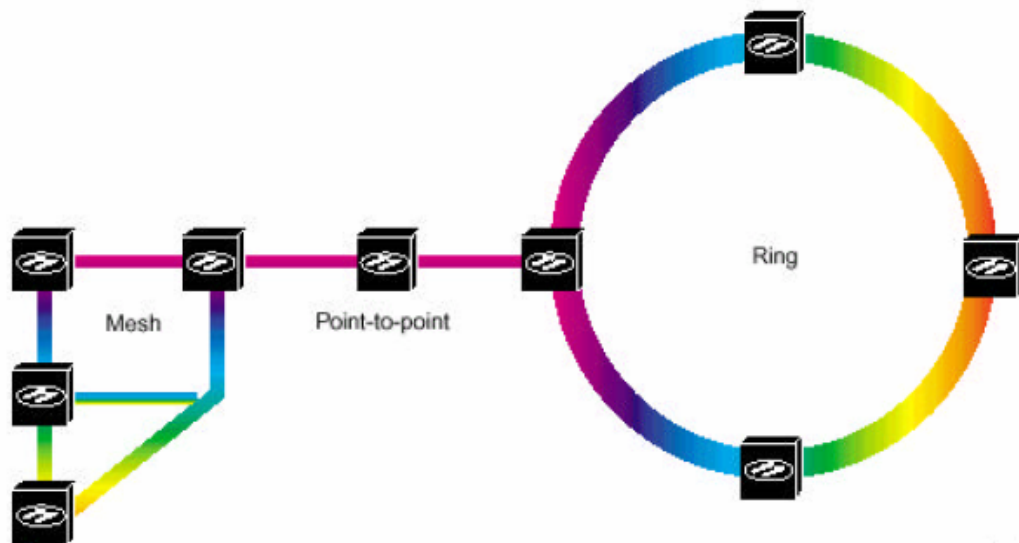


Figura 2.2. Modelo red Malla.

Para muchos las arquitecturas malladas son el futuro de las redes ópticas. Porque a medida que las redes evolucionan, las arquitecturas punto a punto y en anillo aún tendrán cabida, pero la malla suministra una topología más robusta. Este desarrollo se podrá hacer mediante la introducción de cross-connects y conmutadores ópticos configurables que en algunos casos sustituirán y en otros complementarán los dispositivos fijos DWDM.

2.1.3. Redes en Anillo y Estrella. En general, una red DWDM en anillo esta formada por una fibra configurada como un anillo que interconecta todos los nodos (Ver figura 2.3). Algunos sistemas pueden tener dos anillos de fibra para la protección de la red (también, se puede lograr una topología de estrella en la que cada nodo esta conectado con el servidor. Esta arquitectura tiene el inconveniente de la gran cantidad de fibra que hay que utilizar por lo que es aconsejable para redes locales).

Una red de anillo suele emplearse en redes locales o metropolitanas cubriendo distancias de varias decenas de kilómetros. El numero de longitudes de onda (canales) y de nodos en el anillo es muy variable. Uno de los nodos actuará como concentrador proporcionando conectividad con otras redes. Cada nodo, incluido el concentrador dispone de OADM's para extraer y posteriormente añadir una longitud de onda determinada (canal).

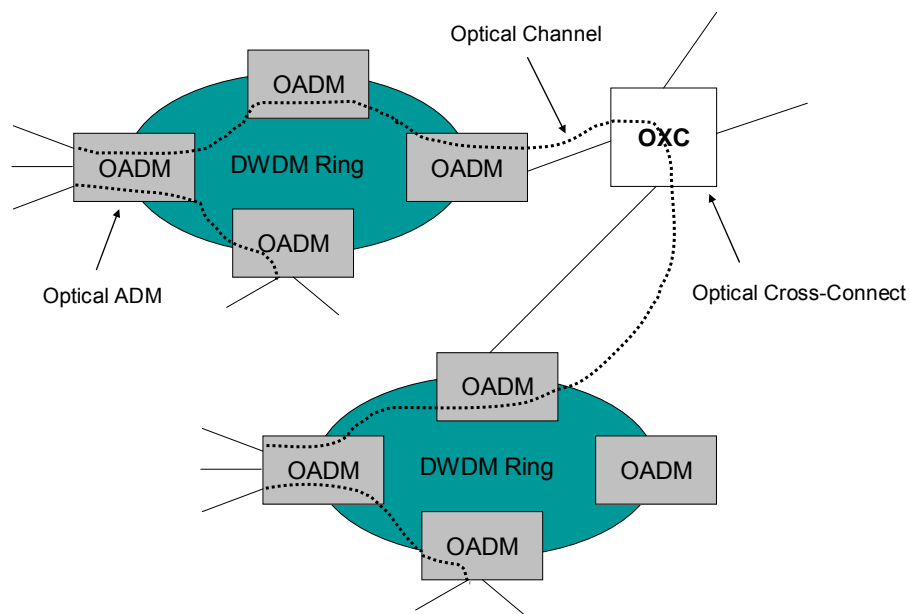


Figura 2.3. Modelo de red DWDM en anillo.

En las redes DWDM en anillo, el concentrador actúa como comienzo y fin de todas las longitudes de onda. El concentrador administra todos los canales, así como el tipo de tráfico que transporta. En cada OADM se extrae y se añade una frecuencia óptica determinada, mientras que el resto de las frecuencias lo

atraviesa sin alterarse. Sin embargo, a medidas que el número de OADM crece, la señal está sujeta a mayores pérdidas y es posible que se requiera amplificación óptica. El número de nodos suele ser inferior al número de canales de la fibra.

En la figura 2.4 se muestra un ejemplo de una red DWDM tipo estrella.

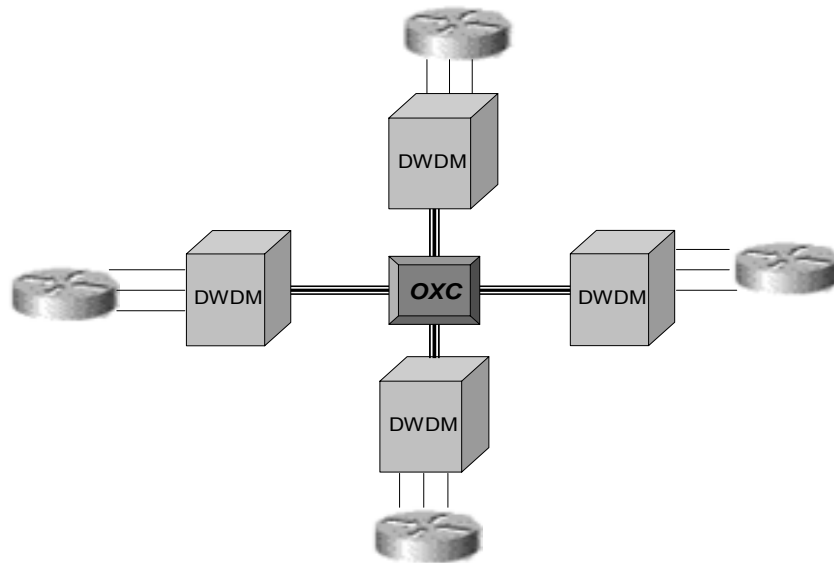


Figura 2.4. Topología en estrella con OXC.

2.2. Concentrador DWDM

Un concentrador DWDM debe actuar de las dos maneras siguientes:

Transmisión. Debe permitir la transmisión de comunicaciones de distinta naturaleza TCP/IP, ATM, STM, Giga Ethernet, etc. (Figura 2.5). Cada tipo de tráfico¹⁸ (cada canal) se envía por su correspondiente interfaz física donde cada longitud de onda es modulada convenientemente en un convertidor eléctrico-óptico. Las señales moduladas óptimamente son multiplexadas y enviadas por la fibra.

Recepción. Cuando un concentrador recibe la señal DWDM, esta es demultiplexada óptimamente extrayendo sus componentes en longitud de onda (canales) y convirtiendo la señal óptica modulada en una señal eléctrica digital. Cada señal digital es encaminada hacia su interfaz correspondiente TCP/IP,

¹⁸ El tráfico puede ser de diversos tipos (STM, IP, Video, etc.)

ATM, STM, Etc. Cada canal requiere un reloj de sincronización diferente debido a que las velocidades de transferencia de cada uno de ellos serán distintas.

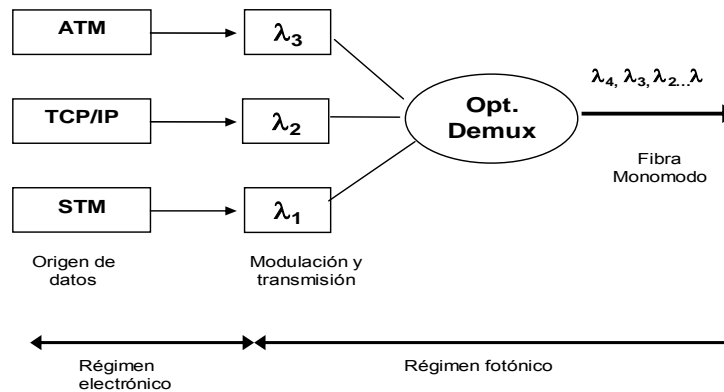


Figura 2.5. Funcionamiento de un concentrador en transmisión.

2.3 TECNOLOGÍAS SOBRE DWDM

En las redes modernas actuales se plantea la duda de cómo integrar las diferentes tecnologías de red existentes: de manera convencional, IP se encuentra en la capa más alta. Por debajo, ATM que a su vez se encuentra sobre SDH y, por último, esta situado DWDM, en el caso de trabajar con fibra óptica. Pero gracias a los avances en las distintas tecnologías, es posible encontrar diferentes configuraciones, tal como se muestra en la figura siguiente.

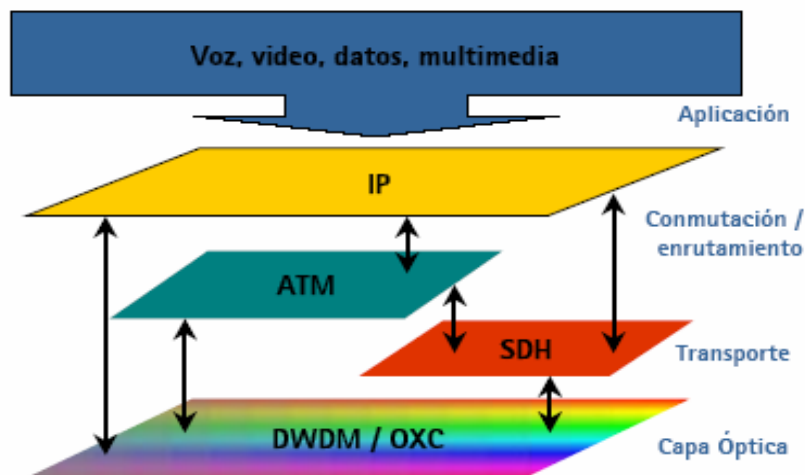


Figura 2.6. Posibilidades de integración entre distintas tecnologías.

Realmente, no existe ninguna configuración definitiva. Dependiendo del tipo de red y el tráfico a transportar se puede elegir una u otra. Reasignándose las funciones de la capa que desaparece entre el resto de las capas.

El comienzo del siglo XXI es una encrucijada para las redes de computadores. Nos encontramos con varias familias de propuestas tecnológicas para las redes del futuro, cada una de ellas con sus pros y contras, que en algunos casos tienen evidentes dificultades para coexistir o cohabitar. Es un hecho cierto que el protocolo IP es el protocolo dominante, por el enorme empuje de *Internet* y de las redes IP. Por ello es un referente obligado (el cual vamos hacer más énfasis en la sección 2.4). Otras tecnologías, como ATM, SDH/SONET y DWDM deben coexistir, necesariamente con IP, y, en algunos casos, entre ellas. En la figura anterior 2.6 se representa diferentes posibilidades de operación en las diferentes capas de una red.

Hasta hace mucho tiempo ATM y SDH eran compañeros naturales. Sin embargo, conceptualmente es posible la operación de IP directamente sobre anillos SDH, así como también sobre DWDM y, naturalmente, sobre ATM. También es posible la operación de ATM directamente con DWDM.

A continuación veremos en forma breve como ha sido algunas tecnologías en DWDM.

2.3.1. Nueva generación SONET/SDH. La nueva generación SONET/SDH es un término sombrilla que describe un rango de desarrollos basados en estándares y propietarios que están construidos en la infraestructura disponible SONET/SDH. Desplegado en primer lugar por operadores de larga distancia como una forma para soportar nuevos servicios tales como Ethernet, Fiber Channel, ESCON, la nueva generación SONET/SDH permite la entrega de datos con alta velocidad, y muy alto ancho de banda aún con presupuestos muy limitados.

Es la solución más económica y tecnológicamente flexible para transmitir Voz y Datos en redes de transporte. Para muchos Mientras la demanda de ancho de banda se incrementa, o el equipo se torna obsoleto en redes metropolitanas, los proveedores de servicios comprarán equipo de Nueva Generación SONET/SDH para ahorrar costos iniciales, gastos a largo plazo, energía y espacio.

Esta nueva generación fue diseñada para optimizar el tráfico basado en TDM, la tecnología SONET/SDH es muy robusta y segura, conteniendo mecanismos integrados para proveer 99.99% de disponibilidad de la red. Sin embargo los anillos de SONET/SDH, que son la conexión primaria con la Red de Área Metropolitana (MAN), no están diseñados para manejar eficientemente muchos paquetes de datos.

Sin mejoras a las redes MAN, los operadores no contarán con la flexibilidad para manejar el ancho de banda o la habilidad para aprovisionar servicios rápidamente y asegurar tanto la escalabilidad de la red como la eficiencia operacional. Sin embargo, los operadores saben que su supervivencia económica depende en tener la capacidad de optimizar la red existente de transporte SONET/SDH sin gastar grandes cantidades de dinero o sacar de servicio la infraestructura actual.

2.3.2 ATM. Era considerada hace pocos años como la solución universal para todo tipo de redes y servicios. En la actualidad tiene numerosos detractores, que se basan en argumentos como por ejemplo:

“Requerir una multiplexación estadísticas ATM”, si DWDM proporciona una multiplexación de longitud de onda.

A pesar de ello, ATM es un sistema que dispone unos procedimientos probados de señalización y encaminamiento, que garantiza la CdS de una conexión, por lo que actualmente, es el corazón de numerosas redes para el tráfico de datos y multimedia.

2.3.3. Gigabit Ethernet. Es una probada tecnología que permite la migración desde Ethernet y la integración con la misma. Es relativamente cara comparada con otras tecnologías que ofrecen la misma velocidad de transmisión, pero no soporta calidad de servicio ni tolerancia a fallos.

Los últimos avances en tecnología Ethernet, 10 Gigabit Ethernet, se dirigen a la necesidad de interconectar las LAN Ethernet que operan a 10, 100 y 1000 Mbps. 10 Gigabit Ethernet se puede usar para agregar enlaces de acceso más lentos, en las “backbone” de las redes, y para accesos WAN. Usando láseres de 1550 nm, se alcanzan distancias de 40 a 80 Km. con 10 gigabit Ethernet sobre la fibra monomodo estándar. Con esta tecnología, los proveedores de servicio pueden construir simples redes Ethernet sobre fibra sin SONET ni ATM y con servicios de alta velocidad 10/100/1000 Mbps a un coste muy bajo.

Ethernet ofrece las ventajas técnicas de una tecnología comprobada, fiable y sencilla. Las implementaciones son estándar e interoperables, y a un coste muy inferior que el SONET o ATM. Arquitecturalmente la ventaja de Ethernet es su potencial emergente para servir una solución escalable y extremo a extremo. La gestión de red también se puede mejorar con el uso de Ethernet en MAN y WAN.

2.3.4. IP. Es claro de que hay la tendencia a que servicios tradicionales de conmutación de circuitos migren a redes IP y que las redes cada vez transporten más datos que voz. Por ello es necesario que las redes evolucionen para acomodar el tráfico. Sin embargo IP puede necesitar llegar a ser tan complejo como ATM para sustituir sus funcionalidades. Así ATM e IP son los candidatos para transportar directamente sobre DWDM. En cualquier caso el resultado es simplificar la infraestructura de red con un menor coste como consecuencia de menos elementos y menos fibra, interfaces abiertos, más flexibilidad y estabilidad.

DWDM ofrece grandes expectativas, y es probable que a medio y largo plazo se extienda a todas las áreas de la red, de forma que se desplegaran las redes ópticas transparentes con OXC y amplificadores de más de 100 canales.

Las redes de banda ancha responderán a la heterogeneidad de requerimientos presentados por los usuarios, con lo que, en los niveles de red coexistirán diferentes interfaces y protocolos: encaminadores conectados a conmutadores ATM, encaminadores con interfaz directa sobre DWDM... lo que parece indudable es que los sistemas DWDM cada vez tendrá una mayor penetración y transportaran un mayor porcentaje del trafico. Como final de estas sucintas consideraciones, en la figura 2.7 se representa una arquitectura de red de banda ancha multiservicio con transporte SDH y DWDM, y con servicio IP sobre ATM, *Frame Relay* y otras redes de datos, así como servicios directo a usuarios con redes ATM y *Frame Relay*.

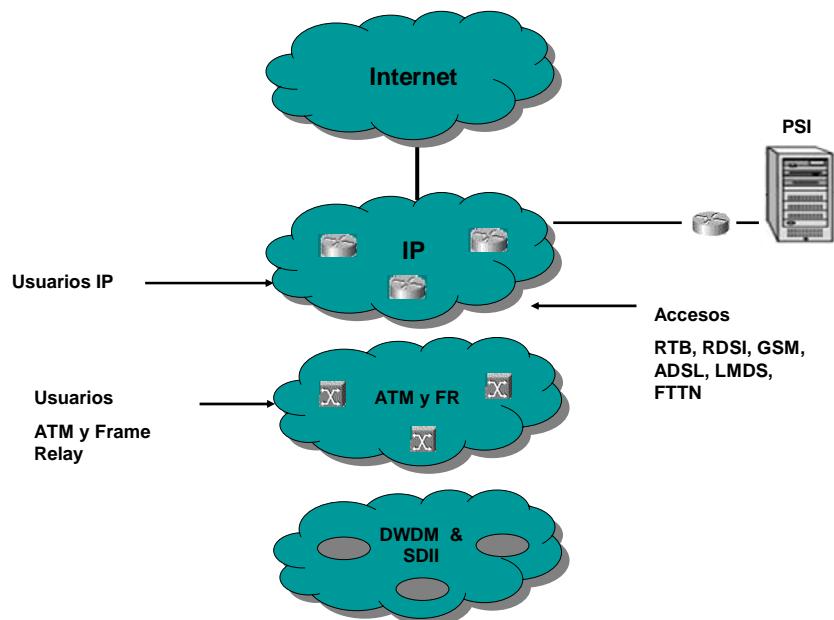


Figura 2.7. Arquitectura de Red de Banda Ancha Multiservicio.

2.4. IP SOBRE DWDM.

Internet se está convirtiendo en el nuevo medio universal de comunicación. La posibilidad de trabajar con IP sobre DWDM, se muestra como una de las opciones de futuro más atractivas de la nueva Internet. Las redes ópticas permiten cubrir las necesidades crecientes de ancho de banda que existe en el mercado ya que presentan un ancho de banda potencial limitado.

IP sobre DWDM aparece como el medio para proporcionar toda la gama de servicios de voz y datos sobre la infraestructura de red unificada. Como se ha comentado, una primera aproximación al envío de tráfico IP sobre redes DWDM emplearía una arquitectura multicapa, compuesta por IP sobre ATM sobre SDH y, por último, sobre DWDM.

A medida que la tecnología IP y DWDM evoluciona, estas capas se van acercando, tendiéndose a una arquitectura bicapa que ofrece una serie de ventajas importantes respecto a la multicapa, tales como, mayor flexibilidad, mayor escalabilidad de la red y mayor eficiencia en la transmisión de tráfico. Es lógico pensar que se irá produciendo una lenta eliminación de las actuales capas electrónicas heredadas y una incorporación de su funcionalidad en el recorrido DWDM sobre la fibra y en el recorrido de los paquetes IP al final de la DWDM.

En la actualidad, se observa una tendencia hacia arquitecturas IP sobre SONET/SDH, arquitecturas que son las que, de momento, surge como el elemento que define la transición hacia una red completa óptica. Es el caso, por ejemplo, de las redes móviles UMTS. En una primera fase, IP se arquitectura sobre ATM, mientras que, en una segunda fase, las capas serán IP sobre SDH y SDH sobre DWDM.

La existencia de distintos protocolos para la capa óptica incrementa los costes de gestión de red para los proveedores de servicio. Uno de los principales objetivos de la integración de IP y DWDM consiste en que los canales ópticos puedan ser gestionados directamente por IP. El núcleo de transporte de esta red será totalmente óptico con una capa IP mejorada por la adicional calidad de servicio y los atributos de fiabilidad. Esto requerirá una estrecha cooperación entre los protocolos de encaminamiento y gestión de recursos de ambas capas.

Actualmente se ha desarrollado **MPLS (Multi-Protocol Label Switching)** para los paquetes IP, MPLS constituye la mejor estructura de integración entre IP y DWDM, proporcionando tres ventajas principales:

- MPLS puede operar sobre distintas redes: ATM, SDH, DWDM, facilitando, por ello, la migración.
- Puede ser un potente instrumento de gestión de tráfico.
- Se adapta totalmente a DWDM cuando se emplea las longitudes de onda como etiquetas para el control de tráfico. esta extensión de MPLS se conoce como **Multi-Protocol Lambda Switching**.

En la Figura 2.8 se representa un esquema de las tendencias en redes de alta velocidad.

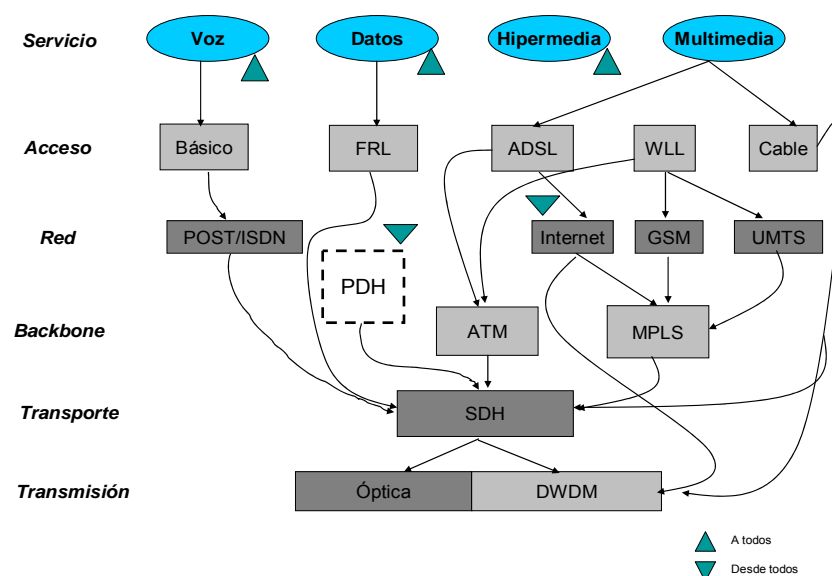


Figura 2.8. Tendencias en redes de alta velocidad.

3. CONDICIONES TECNICAS PARA UNA RED DWDM EN COLOMBIA

En Colombia se han ejecutado varios proyectos en los cuales se ha utilizado esta tecnología, es el caso de internexa entre otras empresas, como también hay un sin numero de proyectos en los cuales se piensa implementar esta tecnología como principal solución, para poder soportar en su red todas las aplicaciones requeridas, aprovechando su infraestructura y sin desmejorar el rendimiento de la red.

A continuación se analizan las condiciones técnicas del proyecto de COLOMBIA TELECOMUNICACIONES S.A. ESP cuyo principal objetivo es instalar, configurar y operar una red DWDM que interconectará las principales ciudades de Colombia donde opera esta empresa.

3.1. GENERALIDADES

EI OFERENTE seleccionado debe garantizar la completa operación de la red ofrecida, la cual usará hilos de fibras pertenecientes a la Red de Fibra Óptica que opera **COLOMBIA TELECOMUNICACIONES S.A. ESP** y que está instalada en gran parte del territorio nacional e hilos pertenecientes a cables de otros operadores, con los cuales **COLOMBIA TELECOMUNICACIONES S.A. ESP** tiene acuerdos de intercambio en Infraestructura.

La red interconectará las ciudades de: Bogotá, Neiva, Ibagué, Cali, Popayán, Pasto, Armenia, Pereira, Manizales, Medellín, Montería, Sincelejo, Tolú, Cartagena (vamos hacer énfasis), Barranquilla, Santa Marta, Bosconia, Valledupar, Bucaramanga, Cúcuta, Tunja, Barrancabermeja, Tulúa y Girardot, tal como se indica en la Figura 3.1. Topología de red general.

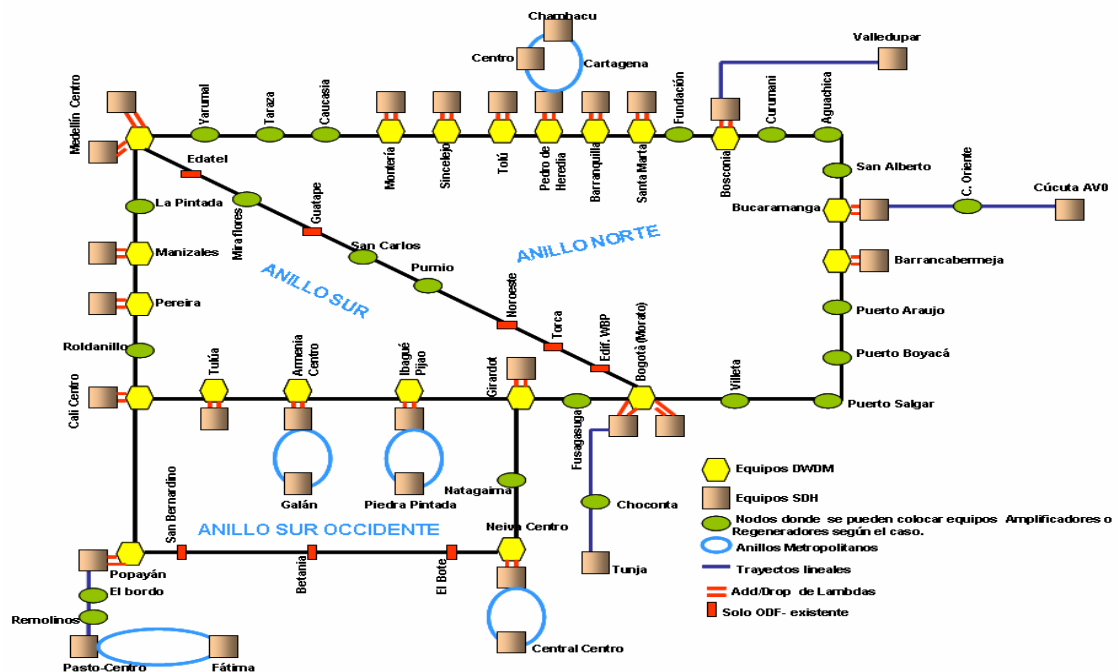


Figura 3.1. Topología de red general.

La red a presentar por parte del **OFERENTE**:

- Debe ser una red integral conformada por equipos DWDM y por equipos pertenecientes a la nueva generación de SDH (**NG SDH**)¹⁹, los cuales serán los encargados de realizar la desagregación del tráfico y manejar la inteligencia para cumplir tanto con la topología de red y las protecciones de red requeridas por **COLOMBIA TELECOMUNICACIONES S.A. ESP**. Los equipos DWDM y SDH deben ser gestionados por el mismo Sistema de Gestión de Red (**NMS**), el cual debe ser incluido en la oferta. Este sistema se ubicará en el Data Center operado por **COLOMBIA TELECOMUNICACIONES S.A. ESP** y en el nodo Delicias en la ciudad de Barranquilla, el de Delicias funcionará como un espejo del de Bogotá pero con el mismo nivel de funciones.

¹⁹ La enorme ventaja de la SONET/SDH de nueva generación como se menciona en el capítulo anterior permite a los operadores introducir nuevas tecnologías a sus redes tradicionales SONET/SDH reemplazando sus elementos de red perimetrales.

- Se debe dimensionar la red DWDM usando lambdas o longitud de ondas con capacidad de 10 Gigabit/s por ende la interconexión entre la red DWDM y los equipos NG-SDH debe ser a nivel de interfaces STM-64 (10 Gigabit/s), de tal forma que se cumpla con las Matrices de tráfico del numeral 3.6 y se soporte la topología de red indicada en el numeral 3.5 de la presente invitación, de todas formas la red debe tener la capacidad de ser ampliada por lo mínimo a 32 lambdas de 10 Gigabit/s en cada uno de los trayectos DWDM, solamente con la adición de tarjetas en los subrack de los equipos ofertados.
- Deberá contener la totalidad de los elementos y accesorios necesarios para su puesta en operación y dimensionados para cumplir con las matrices de tráfico indicadas en el numeral 3.6 y los requerimientos técnicos detallados en la presente invitación. De igual forma se debe garantizar la ingeniería, por lo tanto, cualquier faltante para que la red opere satisfactoriamente deberá ser suministrado por éste sin costo adicional para **COLOMBIA TELECOMUNICACIONES S.A. ESP.**
- se compromete indicar en forma detallada la escalabilidad de los equipos (DWDM y NG-SDH) tanto a nivel de lambdas de 10 Gigabit/s, 2.5 Gigabit/s como de interfaces STM-64 y STM-16; a partir de lo requerido para cumplir con las matrices de tráfico indicadas en el numeral 3.6 y los requerimientos técnicos detallados en el presente documento de tal forma que **COLOMBIA TELECOMUNICACIONES S.A. ESP** pueda conocer con exactitud la capacidad de ampliación de la red a contratar y por ende de los equipos ofrecidos.

3.2. DESCRIPCIÓN DE LA RED TRONCAL NACIONAL DE FIBRA ÓPTICA EXISTENTE.

La Red Troncal Nacional de Fibra Óptica operada por **COLOMBIA TELECOMUNICACIONES S.A. ESP** tiene trayectos terrestres, aéreos y submarinos. Para los trayectos terrestres se usa un cable de fibra con especificación G-652²⁰ con capacidad para 36 hilos de los cuales 2 se usarán para este proyecto, para los trayectos submarinos también se usa un cable de fibra con especificación G-652 con capacidad de 24 hilos de los cuales 2 se usarán para este proyecto.

3.2.1. Trayectos terrestres. La fibra instalada en los trayectos: Cali – Medellín - Sincelejo, Cali – Popayán – Pasto, es marca **ALCATEL**. Ver tabla 1.

La fibra instalada en los trayectos: Santa Marta – Bucaramanga - Bogotá, Bogotá – Armenia - Cali, Bosconia – Valledupar, Bucaramanga – Cúcuta y Girardot – Neiva es marca **ALCOA FUJIKURA**. Ver tabla 2.

La fibra instalada en el trayecto Sincelejo – Tolú es marca **SIEMENS**. Ver tabla 3.

3.2.2. Trayectos Marítimos. La fibra instalada en los trayectos: Tolú – Cartagena (Pedro de Heredia) – Barranquilla – Santa Marta es marca **SIEMENS**. Ver tabla 3

Tanto los datos de características de la fibra óptica existente como los de las distancias ópticas y atenuación de los trayectos entre nodos se indican en los numerales 3.4 y 3.5 del presente documento. Estos son los datos con los cuales se deben hacer los cálculos de Ingeniería para efectos de presentación de oferta. A si mismo deberá definir y adecuar los hilos de fibras en cada uno

²⁰ ITU-T G. 6.52. Especifica que la longitud de onda debe ser superior a 1100 nm e inferior a 1280 nm.

de los trayectos, dejándolos listos para implementar la red contratada, sin costo para **COLOMBIA TELECOMUNICACIONES S.A. ESP**. Del mismo modo corresponderá verificar los hilos de fibra en cada uno de los trayectos de la red operada por **COLOMBIA TELECOMUNICACIONES S.A. ESP**, para lo cual debe disponer de los equipos de pruebas necesarios para este fin; basado en dicha verificación debe ajustar el diseño de la red, sin costo adicional para **COLOMBIA TELECOMUNICACIONES S.A. ESP**. De todas formas el encargado del proyecto debe garantizar el correcto funcionamiento de la red contratada.

Se debe tener en cuenta que los ODF's²¹ existentes, donde se terminan las fibras del cable de la red troncal, usan conectores FC/PC.

3.3. DESCRIPCIÓN DE LA RED DE SINCRONISMO EXISTENTE.

COLOMBIA TELECOMUNICACIONES S.A. ESP opera una red de sincronismo con la cual sincroniza toda la red de Fibra Óptica existente. Esta red consiste de dos (2) Relojes de Referencia Primara (**PRC**) y de varias Unidades de Fuente de Sincronismo (**SSU**). Los relojes primarios están localizados en la Ciudad de Bogotá nodo red troncal y en Barranquilla nodo Delicias, de los cuales se tomará la señal de reloj para sincronizar la red SDH requerida en la presente invitación. Las SSU están localizadas en las ciudades intermedias de tal forma que la señal de reloj se recupera completamente al pasarla por las SSU.

Los equipos de la red de sincronismo que opera **COLOMBIA TELECOMUNICACIONES S.A. ESP** soportan puertos para recibir señales externas de 2048 Kbps y 2048 Khz cumpliendo con la recomendación G-703.6 de la ITU-T y con las demás recomendaciones de la ITU-T que apliquen.

²¹ ODF. *Optical Distribution Frame*. Repartidor óptico. Es el distribuidor de fibras ópticas

3.4. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El proyecto está formado por:

3.4.1. Anillos nacionales. Esta formado por 3 anillos.

1. anillo norte.
 2. anillo sur.
 3. anillo sur occidente.
- *Anillo Norte:* este anillo está formado por los siguientes nodos: Bogotá (Morato), Barrancabermeja, Bucaramanga (El Lago), Bosconia, Santa Marta (Centro), Barranquilla (Delicias), Cartagena (Pedro de Heredia), Tolú, Sincelejo, Montería y Medellín (Centro).ver figura 3.2.

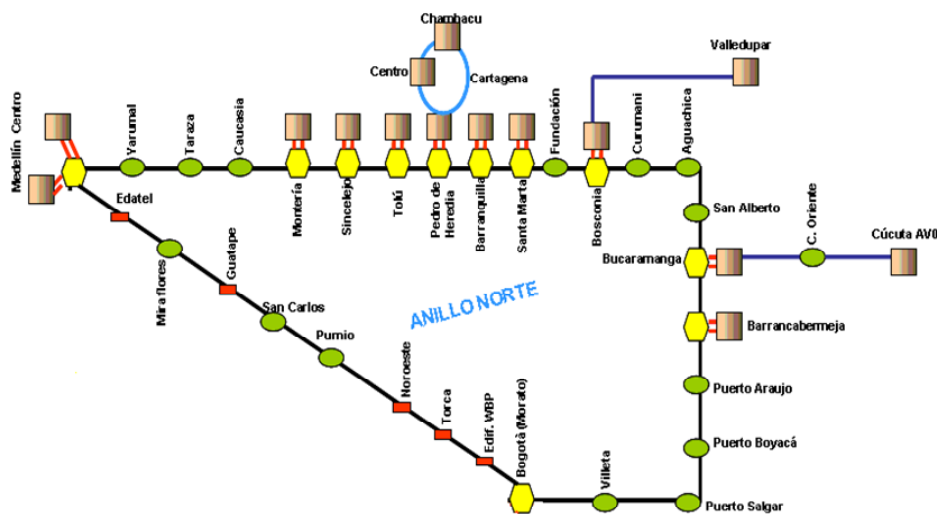


Figura 3.2. Anillo Norte.

- *Anillo Sur:* este anillo está formado por los siguientes nodos: Bogotá (Morato), Girardot, Ibagué (Centro), Armenia (Centro), Tulúa, Cali (Centro), Pereira (Centro), Manizales y Medellín (Centro). Como se logra apreciar en la figura 3.3.



Figura 3.3. Anillo Sur

- *Anillo Sur Occidente*: este anillo está formado por los siguientes nodos: Girardot, Neiva (Centro), Popayán, Cali (Centro), Tulúa, Armenia (Centro), Ibagué (Centro). A continuación se aprecia en la figura 3.4

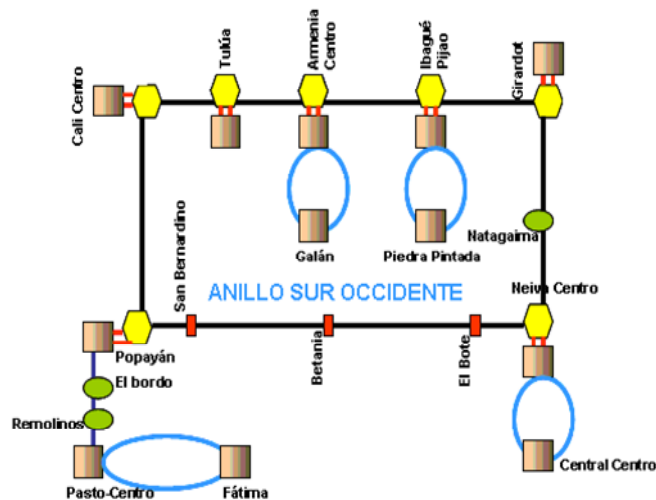


Figura 3.4. Anillo Sur Occidente

3.4.2. Anillos metropolitanos. Esta conformados por 5 anillos.

- *Anillo Neiva*: formado por los nodos Neiva centro y Central centro.
- *Anillo Ibagué*: formado por los nodos Ibagué Pijao y Piedra Pintada.
- *Anillo Armenia*: formado por los nodos Armenia Centro y Galán.
- *Anillo Cartagena*: formado por los nodos Pedro de Heredia, Centro y Chambacú.
- *Anillo Pasto*: formado por los nodos Pasto Centro y Fátima.

3.4.3. Trayectos lineales. Esta formado por 4 trayectos.

- Trayecto Popayán – Pasto (Centro).
- Trayecto Bogotá -Tunja: ver
- Bucaramanga - Cúcuta AV0:
- Bosconia – Valledupar:

Las características técnicas del cable de fibra óptica a usar se indican en las siguientes tablas (1, 2, 3 y 4), los datos de distancias ópticas y atenuaciones se indican en el numeral 3.5 de este documento.

Fibra SM G-652

Característica	Unidad	Valor
Número de fibras en el cable	#	36
Tipo de fibra		SM G652
Atenuación 1310 nm	dB/Km	0.32
Atenuación 1550 nm	dB/Km	0.22
Dispersión Cromática 1287 -1330 nm	ps/nm*km	2,8
Dispersión Cromática 1550 nm	ps/nm*km	18.00
Dependencia de la atenuación con la temperatura	dB/Km	<0.05
Diámetro de revestimiento	Um	125 +/- 2
No Circularidad de Revestimiento	%	≤ 2.0
Diámetro del Recubrimiento	Um	245 +/- 10
Error de concentricidad revestimiento/recubrimiento.	%	≤ 15

Tabla 1. Característica de la fibra del cable terrestre “Alcatel

Característica	Unidad	Valor
Número de fibras en el cable	#	36
Tipo de fibra		SM G652
Atenuación 1310 nm	dB/Km	0.40
Atenuación 1550 nm	dB/Km	0.22
Dispersión Cromática 1330 nm	ps/nm*km	3
Dispersión Cromática 1550 nm	ps/nm*km	18.00
Temperatura de Operación	°C	-40 °C a 70 °C
Temperatura de Instalación	°C	-30 °C a 70 °C
Diámetro Nominal del Cable	Mm	13.6
Peso del Cable	Kg/Km	154

Tabla 2. Característica de la fibra del cable terrestre “Alcoa Fujikura”

Característica Fibra	Unidad	Valor
Número de fibras en el cable	#	24
Tipo de fibra		SM G652
Máxima atenuación de la fibra 1550	Db/Km	0,2
Máxima dispersión cromática en 1550	ps/nm*km	18
Diámetro de la superficie exterior no circularidad	Um	125 +/- 1
Diámetro de núcleo y no circularidad	Um	8,3
Error de concentricidad	Um	≤ 1
Rango de longitud de onda de corte	Nm	1270
Dispersión	ps/nm*km	18
Prueba de resistencia	KPSS	100
Identificación de Fibras	Colores	12
Características de Empalmes		
Máximo pérdida de cada empalme de fibra	dB	0,05
Distancia mínima entre empalmes de fábrica en cable submarino.	Km	20
Tipo de Caja de empalme	Tipo flexible	
Resistencia a la tracción	kN	50
Resistencia al aplastamiento	Bar	> 200
Tendido		
Tipo de barco cablero	Barco auxiliar	
Velocidad de tendido	Nudos	0,5 – 1,5
Forma de tendido	Arado/superficial	

Tabla 3. Característica de la fibra del cable submarino “Siemens”.

Característica	Unidad	Valor
Número de fibras en el cable	#	48
Tipo de fibra		SM G652
Atenuación 1310 nm	dB/Km	0.35
Atenuación 1550 nm	dB/Km	0.22
Dispersión Cromática 1285-1330 nm	Ps/nm*km	3.60
Dispersión Cromática 1550 nm	Ps/nm*km	19.00
Dependencia de la atenuación con la temperatura: -60 °C a + 85 °C	dB/Km	<0.05
Diámetro de revestimiento	Um	245 +/- 2
Error de concentricidad Núcleo / Revestimiento	Um	< 0.7
No Circularidad de Revestimiento	%	< 2.0
Diámetro del Recubrimiento	Um	245 +/- 10
No Circularidad de Recubrimiento	%	< 6.0
Concentricidad de recubrimiento primario	%	< 1.0

Tabla 4. Característica del cable de fibra de otros operadores “Pirelli

En cada uno de los nodos que hacen parte de la red y donde se instalarán equipos, **COLOMBIA TELECOMUNICACIONES S.A. ESP** suministrará la energía (-48VDC), espacio físico para la instalación de equipos, aire acondicionado, los ODF's (conectores FC/PC) donde se terminan las fibras de la red troncal.

El seleccionado para ejecutar el proyecto deberá cumplir los procedimientos definidos por **COLOMBIA TELECOMUNICACIONES S.A. ESP** para el ingreso a los nodos, instalación y operación de equipos, manejo de desechos e infraestructura existente.

Se debe incluir y explicar en forma detallada los siguientes puntos dentro de su oferta:

- Cantidad y modularidad de los equipos ofrecidos en cada uno de los nodos involucrados en el Proyecto.
- Diagrama de bastidores por nodo. Este diagrama debe incluir bastidores, sub-bastidores y unidades (tarjetas principales y de protección) que se oferten, indicando claramente los slots libres y qué tipo de tarjetas podrían instalarse en esos slots. Adicionalmente se debe indicar la ubicación de los DDF's necesarios para la terminación de las señales eléctricas y ODF's para la interconexión óptica entre los equipos DWDM y NG SDH. Incluir diagrama de tendido de cableado por nodo a nivel óptico y eléctrico.
- Trayectos y cálculos de potencia transmitida y recibida; pérdidas en el cable, pérdidas por conectores y empalmes, tolerancia para garantizar el funcionamiento de la red ante variaciones de temperatura; atenuación total, degradación de los componentes o por envejecimiento de la fibra o reparaciones de la misma, de tal manera que el presupuesto óptico no solamente permita su operación, sino que además debe tener un margen de mínimo 4 dB en cada tramo. Debe explicarse la metodología de cálculo empleada.

- Cálculo del OSNR (Optical Signal To Noise Ratio) para cada uno de los trayectos, de tal forma que se cumpla con los requerimientos técnicos indicados en este documento.
- Consumo de energía por nodo de acuerdo con el equipo ofrecido: Indicando el consumo según el dimensionamiento ofrecido y a una configuración máxima. Esto debe hacerse por equipo.

3.5. TOPOLOGÍA DE RED REQUERIDA POR COLOMBIA TELECOMUNICACIONES S.A. ESP

Para cada uno de los anillos nacionales (anillo norte, anillo sur y anillo sur occidente) se debe ofertar una red DWDM complementada con una red NG-SDH para la desagregación de tráfico de tal forma que se cumpla con las matrices de tráfico indicados en el numeral 3.6 y se realice la protección de anillo **MS-SPRING**²² usando las ventajas de la tecnología SDH en este tipo de configuración. Cada lambda debe manejar una capacidad de 10 Gigabit/s y a su vez los equipos NG-SDH deben manejar interfaces con capacidad de 10Gigabit/s (STM-64) para interconectarse con la red DWDM.

Cabe indicar que esta sección la proponemos solamente para la ciudad de Cartagena.

Para los anillos Metropolitanos solamente se debe ofertar red NG-SDH.

- **Anillo Cartagena:** este anillo debe ser STM-16 inicialmente en configuración MS-SPRING a dos (2) fibras. Estará conformado por el nodo Pedro de Heredia en el cual se hace la interconexión con el anillo Norte, nodo Centro y el nodo Chambacú. El equipo NG-SDH a ofertar en el nodo Pedro de Heredia debe tener la flexibilidad para manejar tanto el anillo

²² MS-SPRING. Una protección de trayecto que protege todo el tráfico de la sección, este puede aparecer en cualquier nodo del anillo y tiene un tiempo típico de conmutación de 50 ms.

Norte como el anillo Metropolitano. Ver Figura 3.1. Topología de red general.

Fuera de los nodos mencionados anteriormente e indicados en la Figura 3.1. no requiere insertar ni extraer tráfico en ningún otro nodo de la red por lo que la instalación o no de equipos en los demás nodos indicados en la Topología de red dependerá de las características propias de los equipos y la configuración propuesta.

Para efecto de cálculos del **OFERENTE**, en las Tablas 5 y 6 se presentan las distancias ópticas, atenuación y tipo de fibra entre los diferentes trayectos de la red objeto de la presente invitación. Las características de la fibra a usar se indican en las Tablas 1, 2, 3 y 4 (numeral 3.4).

ITEM	Nodo 1	Nodo 2	Distancia Óptica en Kms	Atenuación en dB	Tipo de Fibra	Tendido Terrestre o Marítimo
1	Cartagena					
1.1	Pedro de Heredia	Chambacu (Segundo Piso)	8,303	3,95	G 652	Terrestre
1.2	Chambacu (Segundo Piso)	Pedro de Heredia	1,500	0,33	G 652	Terrestre
2	Neiva					
2.1	Neiva Centro	Central-centro	1,500	0,38	G 652	Terrestre
2.2	Central-centro	Neiva Centro	1,575	0,39	G 652	Terrestre
3	Ibague					
3.1	Pijao	Piedra Pintada	0,700	0,15	G 652	Terrestre
3.2	Piedra Pintada	Pijao	0,900	0,20	G 652	Terrestre
4	Armenia					
4.1	Armenia Centro	Galan	1,260	0,28	G 652	Terrestre
4.2	Galan	Armenia Centro	1,323	0,29	G 652	Terrestre
5	Pasto					
5.1	Pasto Centro	Fátima	1,425	0,24	G 652	Terrestre
5.2	Fátima	Pasto Centro	1,496	0,00	G 652	Terrestre

Tabla 5. Trayectos pertenecientes a los anillos metropolitanos.

Trayecto Red DWDM						
ITEM	Nodo 1	Nodo 2	Distancia Óptica en Kms	Atenuación en dB	Tipo de Fibra	Tendido Terrestre o Marítimo
1	Bogotá - Red Troncal	Fusagasuga	100,870	24,17	G 652	Terrestre
2	Fusagasuga	Girardot	72,730	20,70	G 652	Terrestre
3	Girardot	Natagaima	90,810	20,16	G 652	Terrestre
4	Natagaima	Neiva	102,390	22,48	G 652	Terrestre
5	Neiva Centro	El Bote	7,320	1,61	G 652	Terrestre
6	El Bote	Betania	31,120	7,40	G 652	Terrestre
7	Betania	San Bernardino	146,260	30,40	G 652	Terrestre
8	San Bernardino	Popayán Centro	14,100	2,82	G 652	Terrestre
9	Girardot	Ibague	83,200	20,59	G 652	Terrestre
10	Ibague	Armenia	69,870	15,97	G 652	Terrestre
11	Armenia	Tulua	104,282	22,55	G 652	Terrestre
12	Tulua	Cali	115,280	25,00	G 652	Terrestre
13	Cali Centro	Popayán	153,068	29,91	G 652	Terrestre
14	Cali Centro	Roldanillo	154,600	34,92	G 652	Terrestre
15	Roldanillo	Pereira	98,143	20,74	G 652	Terrestre
16	Pereira	Manizales	57,180	15,53	G 652	Terrestre
17	Manizales	La Pintada	131,940	30,32	G 652	Terrestre
18	La Pintada	Medellín	69,930	15,99	G 652	Terrestre
19	Medellín	Yarumal	131,710	30,34	G 652	Terrestre
20	Yarumal	Taraza	97,710	21,54	G 652	Terrestre
21	Taraza	Caucasia	65,610	15,12	G 652	Terrestre
22	Caucasia	Monteria	129,210	29,84	G 652	Terrestre
23	Monteria	Sincelejo	123,890	28,78	G 652	Terrestre
24	Sincelejo	Tolú	43,000	10,32	G 652	Terrestre
25	Tolú	Cartagena - Pedro de H.	168,000	30,88	G 652	Terrestre
26	Cartagena - Pedro de H.	Barranquilla	124,120	26,82	G 652	Marítimo
27	Barranquilla	Santa Marta	103,140	22,48	G 652	Marítimo
28	Santa Marta	Fundación	98,790	21,76	G 652	Terrestre
29	Fundación	Bosconia	75,710	15,14	G 652	Terrestre
30	Bosconia	Curumani	103,830	22,77	G 652	Terrestre
31	Curumani	Aguachica	120,660	28,13	G 652	Terrestre
32	Aguachica	San Alberto	75,290	17,06	G 652	Terrestre
33	San Alberto	Bucaramanga - Pijao	111,160	24,18	G 652	Terrestre
34	Bucaramanga - Pijao	Barrancabermeja	132,113	30,23	G 652	Terrestre
35	Barrancabermeja	Puerto Araujo	94,970	20,99	G 652	Terrestre
36	Puerto Araujo	Puerto Boyaca	109,440	23,89	G 652	Terrestre
37	Puerto Boyaca	Puerto Salgar	69,210	15,84	G 652	Terrestre
38	Puerto Salgar	Villeta	96,640	21,33	G 652	Terrestre
39	Villeta	Bogotá - Red Troncal	100,870	24,17	G 652	Terrestre
40	Bogotá -Red Troncal	Edif. WBP	15,217	4,52	G 652	Terrestre
41	Edif. WBP	Torca	25,380	12,36	G 652	Terrestre
42	Torca	Noroeste	19,300	5,00	G 652	Terrestre
43	Noroeste	Pumio	108,500	23,83	G 652	Terrestre
44	Pumio	San Carlos	96,400	20,76	G 652	Terrestre
45	San Carlos	Guatapé	37,500	9,25	G 652	Terrestre
46	Guatapé	Miraflores	61,620	12,98	G 652	Terrestre
47	Miraflores	EdateL	6,330	3,1	G 652	Terrestre
48	EdateL	Medellín Centro	2,167	0,55	G 652	Terrestre

Tabla 6. Trayectos pertenecientes al anillo Norte, sur y sur occidente.

3.6 MATRIZ DE TRÁFICO A SOPORTAR

El **OFERENTE** en su oferta debe incluir el equipamiento necesario para satisfacer las necesidades de capacidad indicadas en las siguientes matrices de tráfico. Todo el tráfico debe estar totalmente protegido de acuerdo con las condiciones indicadas en la presente invitación.

2.6.1.2 MATRIZ DE TRÁFICO EN STM-4: ANILLO NORTE, MAN DE CARTAGENA, TRAYECTOS LINEALES BOSCONIA - VALLEDUPAR Y BUCARAMANGA - CÚCUTA

CIUDAD Y NODO		Montería	Sincelejo	Cartagena		Barranquilla	Santa Marta	Bosconia	Valledupar	Bucaramanga	Cucuta	Total
		Centro	Centro	Pedro de Heredia	Centro	Delicias	Centro	Centro	Simon Bolivar	El Lago	AV0	STM-4
Montería	Centro					1						1
Sincelejo	Centro					1						1
Cartagena	Pedro Heredia											
Cartagena	Centro					1						1
Barranquilla	Delicias	1	1		1		1		1			5
Santa Marta	Centro					1						1
Bosconia	Centro											
Valledupar	Simon Bolivar					1						1
Bucaramanga	Lago										1	1
Cucuta	AV 0								1			1
Totales		1	1		1	5	1		1	1	1	12

Tabla 7. Matriz de Tráfico en STM-4 Anillo Norte, MAN de Cartagena, Trayectos lineales Bosconia – Valledupar y Bucaramanga – Cúcuta.

2.6.1.4 MATRIZ DE TRÁFICO EN E3: ANILLO NORTE, MAN DE CARTAGENA Y TRAYECTO LINEAL BUCARAMANGA - CÚCUTA

CIUDAD Y NODO		Montería	Sincelejo	Cartagena		Barranquilla	Santa Marta	Bucaramanga	Cucuta	Bogotá	Total
		Centro	Centro	Pedro de Heredia	Centro	Delicias	Centro	El Lago	AV0	Red Troncal	E3
Montería	Centro					1					1
Sincelejo	Centro					1					1
Cartagena	Pedro Heredia										
Cartagena	Centro					2					2
Barranquilla	Delicias	1	1		2		1				5
Santa Marta	Centro					1					1
Bucaramanga	Lago										
Cucuta	AV 0									1	1
Bogotá	Red Troncal								1		1
Totales		1	1		2	5	1		1	1	12

Tabla 8. Matriz de Tráfico en E3 –Anillo Norte, MAN de Cartagena y Trayecto lineal Bucaramanga – Cúcuta.

El tráfico indicado por **COLOMBIA TELECOMUNICACIONES S.A. ESP** en cada una de las matrices anteriores (tablas 9 y 10) deberá entregarse en cada nodo de acuerdo al siguiente tipo de Interfaz²³:

- STM-16: I-16
- STM-4: I-4
- STM-1 óptico: I-1
- E3: 75 ohmios G-703 desbalanceado

²³ Interfaces:
STM-1: 155Mbps, STM-4: 622 Mbps.
STM-16: 2.5 Gbps, STM-64:10 Gbps.

3.7. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA RED DWDM

Los equipos y la red DWDM a ofertar deben cumplir con todas las características técnicas que se indican a continuación.

El **OFERENTE** deberá responder para cada característica técnica en el campo de respuesta como: enterado, aceptado o no aceptado, cumple o no cumple de acuerdo con lo indicado en cada característica, indicando en qué parte de la información técnica que se entrega en la oferta se soporta su respuesta (número de página(s), numeral(es) y párrafo(s)).

En caso que se oferten diferentes modelos de equipos se deberán diligenciar los siguientes pasos. Características técnicas de la red DWDM, para cada uno de los modelos ofertados.

3.7.1. Características. La red debe estar compuesta por los equipos ópticos necesarios, de tal forma que opere correctamente, cumpla con lo indicado en la presente invitación y con los estándares de la ITU-T que apliquen.

Deberá operar sobre un cable de fibra con especificación de norma G-652 según ITU-T.

Debe cumplir con las recomendaciones de la ITU-T G-692²⁴, G-661, G-662, G-663, G-671, G-681; G-692 y otras recomendaciones ITU-T aplicables.

El dimensionamiento inicial de los equipos debe estar de acuerdo con lo indicado en las matrices de tráfico del numeral 3.6, usando lambdas de 10 Gbits, con excepción de los equipos de Bogotá y Medellín los cuales deben ser dimensionados con lambdas de 10 Gbits y 2.5 Gbits (para interconexión de equipos existentes).

²⁴ ITU-T G.6.92 Interfaces ópticas para sistemas multicanales con amplificadores ópticos.

El **OFERENTE** deberá indicar y explicar en forma detallada el dimensionamiento.

- La red deberá tener la capacidad de ser ampliada por lo mínimo a 32 lambdas de 10 Gigabit/s en cada uno de los trayectos DWDM, solamente con la adición de tarjetas en los subrack de los equipos ofertados.
- En un mismo bastidor se deben soportar mínimo 16 lambdas de 10 Gbits o de 2.5Gbit y el equipo debe tener posibilidad de ampliación hasta de 32 lambdas de 10 Gbits o de 2.5 Gbits. También deben manejar en el mismo subrack y al mismo tiempo lambdas de 10 Gbits y 2.5 Gbits. Se deberá indicar y describir exactamente la modularidad para soportar dichas capacidades, para cada uno de los equipos ofrecidos.
- Se deberá suministrar la lambda que se usará como canal de supervisión óptico.
- El **OFERENTE** deberá indicar las recomendaciones que cumple la interfaz física y la estructura de la trama del canal de supervisión.
- Debe operar en banda C (1550nm) y/o L (cerca de 1625nm) con un espaciado máximo de 100 GHz entre lambdas, cumpliendo con la recomendación G-692 de la ITU -T.
- Se deberá que suministrar el diagrama de bastidores de acuerdo con lo indicado en el numeral 3.4.
- Se deberá suministrar el cálculo de potencia óptica para cada uno de los trayectos de acuerdo con lo indicado en el numeral 3.4.
- Así mismo deberá suministrar el cálculo del OSNR (Optical Signal To Noise Ratio) para cada uno de los trayectos y debe cumplir con la recomendación G-692 de la ITU-T.
- La red DWDM debe soportar en todos los nodos el Control Automático de Ganancia para la optimización de potencia, de tal forma que se haga un control o ajuste automático de la potencia compuesta debido a los permanentes cambios en el número y tipo de lambdas o longitudes de ondas, en la atenuación de la fibra por su envejecimiento e inserción de nuevos equipos en la red.

- El nivel de rendimiento de cada lambda no debe depender del número de lambdas activas en la red.
- El BER²⁵ para cada lambda o longitud de onda debe ser menor o igual a 1×10^{-12} .
- Se deberá suministrar el consumo de energía de acuerdo con lo indicado en el numeral 3.4.
- Se debe poder extraer/insertar señal de reloj en los nodos o simplemente dejarse pasar.

3.7.2. OTM. Optical Terminal Multiplex. Debe cumplir con la recomendación G.681 de la ITU-T.

- Debe poder realizar la función de Transponder óptico.
- Debe poder multiplexar y demultiplexar longitudes de ondas o lambdas.
- Debe poder amplificar longitudes de ondas o lambdas.
- Debe tener la posibilidad de acceder o terminar el canal de supervisión óptico.
- Debe poder realizar la función de compensador de dispersión.
- Debe tener fuentes de alimentación duplicadas. La alimentación debe ser a -48 VDC.

El **OFERENTE** deberá indicar el tipo de protección que posee el equipo a nivel de:

- Protección de canal óptico o longitud de onda.
- Protección de línea en la capa óptica.
- Protección para transponder.
- Protección a nivel de unidad de equipo.
- Protección del canal óptico o lambda duplicando transponder de tal forma que se transmita en ambos sentidos del anillo.

²⁵ BER: tasa de error de bit, es función de la energía por bit de información.

Se debe poder acceder al espectro de los canales ópticos o lambdas para monitorear su rendimiento.

Debe tener la posibilidad de funcionar como OADM al momento de requerirse.

3.7.3. OADM. Optical add/drop Multiplex. Debe cumplir con la recomendación G.681 de la ITU-T.

Los OADM deberán realizar las siguientes funciones:

1. Poder insertar y extraer longitudes de ondas o lambdas.
2. Función de Transponder óptico.
3. Amplificar longitudes de ondas o lambdas.
4. Tener la posibilidad acceder o terminar el canal de supervisión óptico.
5. Realizar la función de compensador de dispersión.
6. Tener fuentes de alimentación duplicadas. La alimentación debe ser a – 48 VDC.

Indicar el tipo de protección que posee el equipo a nivel de:

- Protección de canal óptico o longitud de onda.
- Protección de línea en la capa óptica.
- Protección para transponders.
- Protección a nivel de unidad de equipo.
- protección del canal óptico o lambda duplicando transponders de tal forma que se transmita en ambos sentidos del anillo.

Se debe poder acceder al espectro de los canales ópticos o lambdas para monitorear su rendimiento.

Debe tener la posibilidad de funcionar como OTM (Mux/Demux) al momento de requerirse.

3.7.4. Amplificador de Línea Óptica. Debe cumplir con la recomendación G.663 de la ITU-T.

- Debe tener la posibilidad acceder o terminar el canal de supervisión óptico.
- Debe poder realizar la función de compensador de dispersión.

- Debe tener la función de control Automático de Ganancia para la Optimización de potencia. Se debe indicar su funcionamiento.
- Debe poder amplificar todas las longitudes de ondas o lambdas a la vez y sin conversión de OEO (Optical-Electric-Optical).

3.7.5. Modulo Transponder. Debe tener la función 3R (Regeneration, Reshaping & Retiming de las señales).

- El FEC (FORWARD ERROR CORRECTION) empleado, debe ser garantía para la reducción del BER. Se debe explicar en detalle.
- Debe cumplir con las recomendaciones G-694.1²⁶; G-975; G-692; G-957; G-709²⁷ de la ITU-T.
- Deben ser sintonizables en toda la banda (C o L). Esta función debe ser configurable desde el sistema de gestión.
- Deben tener acceso a los bytes B1, B2 y J0 de la trama SDH.

3.7.6. Modulo DCM: Dispersion Compensation Module.

Debe cumplir con las recomendaciones G-671, G-692 de la ITU-T.

Características Mecánicas.

El diseño mecánico de los equipos debe estar basado en los siguientes tres (3) niveles jerárquicos:

- Bastidor.
- Sub-bastidor.
- Tarjeta.

Los bastidores y Sub-bastidores deben ser del tipo ETSI. Indicar dimensiones, alto, ancho, profundidad. Deben cumplir con la recomendación ETSI 300 119.²⁸

²⁶ ITU-T G.694.1 cita que los canales deben estar espaciados por valores fijos en el rango desde 12.5 GHz hasta 100 GHz (0.8 nm), siendo la frecuencia central 193.1 THz (1552.52nm)

²⁷ ITU-T G.709 Se trata de una cabecera óptica de baja sobrecarga -alrededor del 3 por ciento, que permite transportar de forma transparente cualquier tipo de protocolo. Los transponder se encargan de añadir bytes de sobrecarga que soportan la gestión y el control del canal óptico, con una funcionalidad y fiabilidad semejante a la trama SONET/SDH

Los bastidores de los equipos deben tener puerta con llave y sensores que indiquen la apertura de la misma. La apertura deberá observarse desde el sistema de gestión ofertado.

La red debe soportar escalabilidad en caliente, es decir, insertar o quitar lambdas sin interrumpir el servicio y sin necesidad de hacer ajustes en la red.

- Humedad relativa de hasta 90% (no condensación).
- La gama operativa de temperatura ambiente requerida es de - 0° C hasta + 40°C. Debe cumplir con ETS 300 019-1-3.
- Altura sobre el nivel del mar hasta 3000 metros.

Se debe cumplir con el estándar internacional IEC 1000-4 e IEC 1000-3 la cual se refiere a la compatibilidad electromagnética en inmunidad y emisiones de disturbios eléctricos.

Se debe cumplir con el estándar UIT Serie K para la protección contra las interferencias.

Se debe cumplir con el estándar Internacional IEC 60950 para la seguridad de equipos de Telecomunicaciones.

3.8. PERSPECTIVAS DE FUTURO

En muy pocas ocasiones una tecnología logra generar a su alrededor la unanimidad que está consiguiendo DWDM con sólo 10 años aproximadamente en escena, esta nueva técnica óptica se está consolidando como una de las opciones más ventajosas para lograr grandes anchos de banda. Algo que interesa muy especialmente a operadores, proveedores de servicio y grandes usuarios. Es de prever que a medio – largo plazo la tecnología WDM se convertirá casi totalmente en DWDM, extendiéndose a todas las áreas de la red. Se creara un nuevo nivel de red (nivel Fotónico) que procesara y encaminara canales en longitud de onda, a través de interconexión y

28 ETS 300 019 1-3 y 1-4 en lo referente a las condiciones y pruebas ambientales para equipos de telecomunicaciones.

multiplexación óptica. La red fotónica soportara nuevas aplicaciones de banda ancha y los clientes podrán alquilar o comprar longitudes de onda individuales.

Pero, además, esta nueva posibilidad, con implicaciones técnicas difícilmente resumibles aquí, no sólo pone en entredicho la utilidad de los productos actuales con capacidad de terabits. Todo el debate de la convergencia IP/ATM se vuelve irrelevante si la industria logra conseguir que DWDM sea tan barato y eficiente que se puedan multiplexar diferentes protocolos de red conjuntamente al nivel lambda: dejaría de tener sentido la convergencia en un solo protocolo si, con la misma eficacia, la red puede soportar cualquier tipo de ellos a nivel óptico. Es decir, DWDM podría convertir los conmutadores y routers de terabit actuales en verdaderos dinosaurios. No en vano, cada vez son más las firmas que, como Cisco, comienzan a invertir en esta tecnología para concentrarse en el verdadero problema: la frontera entre lo óptico y lo eléctrico.

DWDM es una tecnología que depende fundamentalmente de componentes ópticos, muchos de los cuales se fabrican en bajos volúmenes y, consecuentemente, con altos costes. Por tanto, es razonable que se continúe investigando para desarrollar nuevos componentes ópticos más compactos y con bajo coste. Por otro lado, son necesarios protocolos de transporte y estándares de administración de red para conseguir interoperabilidad y calidad de servicio uniforme entre redes.

3.8.1. Interconexiones ópticas. A medida que crezca el número de longitudes de onda por la fibra (se pronostica alcanzar los 1.000 canales), surge la necesidad de disponer de dispositivos de interconexión de alta capacidad, bajas pérdidas por atenuación y alta velocidad de conmutación. Hoy en día ya existen propuestas para producir estos dispositivos a gran escala, pero será necesario esperar bastante tiempo hasta que sus precios sean comerciales.

- **Multiplexores Ópticos add/drop.** Los OADM's de bajo coste constituyen uno de los puntos clave en las redes ópticas. Cada vez queda menos tiempo para que la fibra óptica se conecte directamente a los computadores personales y equipos multimedia. Las velocidades de transmisión tradicionales que hace años rondaban los 64 Kbps serán superiores a 2 Mbps (en algunos casos superiores a 50 Mbps). Estas aplicaciones deberán tener un coste relativamente bajo para el usuario final, teniendo en cuenta los dispositivos electros ópticos (transmisores, receptores, filtros, etc.).
- **Monitorización óptica no intrusiva.** La monitorización de la señal óptica sin ningún tipo de perturbación o intrusión en la misma, constituye una tarea difícil pero importante de realizar. La señal óptica se monitoriza para controlar la potencia, el ruido, la precisión de longitud de onda, etc. En algunos casos algún canal transporta también información de supervisión (incluida telemetría), siendo necesario extraer esa información permitiendo el paso de resto de manera transparente. En general, la monitorización óptica no intrusiva reduce la necesidad de componentes electros ópticos, reduce la latencia y aumenta la calidad.

3.9. ESTÁNDARES

Actualmente, existen diversos estándares ya adoptados y otros en periodo de elaboración. A medida que DWDM evolucione, se espera la aparición de nuevos estándares para cubrir todos los aspectos de los sistemas DWDM y las redes.

3.9.1. Bus de longitudes de onda. Los sistemas DWDM actuales transmiten numerosas longitudes de onda en una misma fibra pero cada una de ellas constituye un único canal independiente. De esta manera, el ancho de banda total de la fibra se define como la suma de los anchos de banda de cada canal.

Para maximizar la eficiencia del ancho de banda de la fibra, las longitudes de onda pueden organizarse en forma de bus paralelo, es decir, un mismo canal estaría formando ahora por varias longitudes de onda, transmitiendo los datos de forma paralela, no en serie. El ancho de banda por canal se multiplica teóricamente por el número de longitudes de onda en paralelo.

4. CONCLUSIONES

Hasta hace bien poco, la transmisión de datos por fibra óptica consistía en transmitir impulsos luminosos a alta velocidad a través de la fibra. Este concepto, que en su día parecía muy avanzado, ha quedado ya anticuado. Señales con diferentes fuentes de luz requerirían diferentes canales ópticos, es decir, diferentes fibras. Y, considerando que las fuentes ópticas tienen un espectro estrecho, se pudo deducir que únicamente se estaba aprovechando una pequeña porción de todo el ancho de banda disponible en la fibra óptica. Partiendo de este hecho, se pensó en introducir diferentes fuentes de luz a través de una única fibra con tan solo hacer que cada fuente emita a una longitud de onda diferente. Y fue cuando surgió DWDM. Permitiendo multiplicar la capacidad de transmisión del medio físico existente. Esta característica de las redes ópticas se hicieron idóneas para cubrir la imparable demanda de mayores prestaciones de ancho de banda y velocidad de transmisión.

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 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. La introducción de tecnología DWDM en las redes ópticas metropolitanas produce grandes beneficios en cuanto a coste, flexibilidad y eficiencia.

De este modo DWDM proporciona a los operadores cumplir con las necesidades del cliente con ajustado presupuesto. Claro esta con la inclusión de nueva generación SONET/SDH ya que esta nueva tecnología no solamente es rentable sino que aumenta las capacidades de las redes tradicionales (Para

el caso de COLOMBIA TELECOMUNICACIONES S.A ESP) Al integrar redes de nueva generación a redes tradicionales se tienen mayor latencia, calidad y disponibilidad de servicio pero algunas pruebas y monitoreo se utilizan para asegurar que la mezcla de tecnología puedan proveer la demanda creciente de ancho de banda

BIBLIOGRAFÍA

GARCIA TOMAS, Jesús, RAYA CABRERA, José L y Raya, Víctor R. Alta velocidad y calidad de servicios en redes IP. MADRID, España: Alfaomega Rama, 2002. 670 p.

TOMASI, Wayne. Sistemas de comunicaciones Electrónicas. México D. F: Prentice Hall, 1996. 858 p.

TUR TERRASA, Juan. Todo sobre las fibras ópticas. Barcelona: Marcombo, 1989. 208 p.

GALLO, Michael A. Comunicación entre computadoras y tecnologías de redes. México D. F: Thomson, 2002. 632 p.

CABALLERO ARTIGAS, J. Acceso y transporte en alta velocidad: tendencias y estrategias, ICT Electronics. Caba XX.

CISCO Company, manual DWDM Text Part Number: OL-0884-01.

ITU – T. Recommendation G.692, Characteristics of a single-mode Optical Fiber Cable, Junio 2005.

ITU – T. Recommendation G.661, Definition and test Methods for the Relevant generic Parameters of Optical Amplifier Devices and Subsystems, Octubre 1998.

ITU – T. Recommendation G. 662, Generic Characteristics of Optical Fiber Amplifier Devices and Subsystems, Julio 2005.

ITU – T. Recommendation G.663, Application Related Aspects of Optical Fiber Amplifier Devices and sub- Systems, Abril 2000.

ITU – T. Recommendation G.671, Transmission Characteristics of Passive Optical Components, Enero 2005.

ITU – T. Recommendation G.692, Optical interfaces for Multichannel Systems with Optical Amplifiers, Octubre 1998.

ITU – T. Recommendation G.709, Network node interface for the synchronous digital hierarchy (SDH), Marzo 1996.

[MA, 2000], Kartalopoulos, S. Introduction to DWDM Technology. Data in a rainbow. IEEE Press, 2000.

Términos de referencia invitación pública No. 43, Para contratar el Suministro con instalación, pruebas y puesta en funcionamiento de una red DWDM, complementada con una red NG-SDH Bogotá, D.C., Diciembre de 2005. Disponible en: <http://www.telecom.com.co>.

FIBERNET. Tecnología D/CWDM [on-line]. España. Mayo 2004. [Consulta: Abril 22, 2006]. Disponible en: <http://www.fibernet.es>

Dr. RAMOS PASCUAL, Francisco, Artículo publicado en la revista Electrónica & Comunicaciones nº 178, 2003. [Consulta: marzo 22, 2006]. Disponible en: <http://www.RadiOptica.com>.

----- . Artículo publicado en la revista Conectronica. 2003. [Consulta: Mayo 9, 2006]. Disponible en: <http://www.conectronica.com>.

REYES R., Débora y ACOSTA V., Jacqueline, revista digital de las tecnologías de la informática y las comunicaciones, 2000. [Consulta: Marzo 31, 2006]. Disponible en: <http://www.cujae.edu.cu/revistas/telematica/Articulos>.

[MA, 1999], ma, F. Wavelength Division Multiplexing (WDM). 1999. [Consulta: Marzo 22, 2006]. Disponible en: [http:// wdm1.virtualave .net/](http://wdm1.virtualave.net/),