

**FUNDAMENTOS PARA LA MIGRACIÓN A REDES DE
NUEVA GENERACIÓN**

**MARTHA LUCY ARCINIEGAS CÁCERES
OMAR RICARDO ACEVEDO LÓPEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES
ESPECIALIZACIÓN EN TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA**

2008

**FUNDAMENTOS PARA LA MIGRACIÓN A REDES DE
NUEVA GENERACIÓN**

**MARTHA LUCY ARCINIEGAS CÁCERES
OMAR RICARDO ACEVEDO LÓPEZ**

**Monografía para optar al título de
Especialista en Telecomunicaciones**

Director

**DANIEL FERNANDO CAMPUZANO VILLA
Ingeniero Electrónico – Especialista en Telecomunicaciones**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES
ESPECIALIZACIÓN EN TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA**

2008

DEDICATORIA

A nuestros hijos que con su amor y comprensión nos permitieron dedicar tiempo a la academia y nos motivan a asumir nuevos retos profesionales.

Martha Arciniegas

A mis padres y mis hermanas por el constante amor, comprensión y apoyo sin condiciones ni medida, sin su ayuda no hubiera podido lograrlo.

Omar Ricardo Acevedo

AGRADECIMIENTOS

A los docentes y responsables del programa de Especialización en telecomunicaciones por permitirnos ampliar nuestros conocimientos y hacer parte de un grupo selecto de profesionales.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	15
1. SDH	16
1.1 CARACTERISTICAS DEL SDH	17
1.2 ORIGEN DEL SDH	18
1.3 EL MODULO DE TRANSPORTE SINCRONO	19
1.4 LA ESTRUCTURA DE MULTIPLEXACION SDH	23
1.5 LA TRAMA STM-1	25
1.6. ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE TRANSMISION SINCRONA	32
1.6.1. Funcionalidades de un Elemento de Red.	32
1.6.2. Tipos de Elementos de Red.	35
1.6.3 Terminales de Línea.	35
1.6.4 Multiplexores Add-Drop (ADM).	35
1.6.5 Tipos de Multiplexores.	37
1.6.6 Regeneradores y Repetidores.	41
1.7 ESQUEMAS DE PROTECCION	41
1.7.1. Protección de Nodos.	42
1.7.2. Protección de Red.	45
1.7.4 Interconexión de Esquemas de Protección.	48
2. DWDM	50
2.1 EVOLUCIÓN DE LA TRANSMISIÓN SOBRE FIBRA ÓPTICA	50
2.2 DESARROLLO DE LA TECNOLOGÍA DWDM	52
2.3 FUNCIONES DE UN SISTEMA DWDM	53
2.4. COMPONENTES Y OPERACIÓN	55
2.4.1. Fibras ópticas	55
2.4.2. Retos de la transmisión.	61

2.4.3. Fuentes de luz y Detectores.	67
2.4.4 Emisores de luz LEDs y laser.	67
2.4.5. La grilla de frecuencias ITU.	69
2.4.6 Detectores de luz.	70
2.4.7 Amplificadores ópticos.	71
2.4.8. Amplificador para fibra dopado de Erbio.	71
2.4.9. Multiplexores y demultiplexores.	73
2.4.10 Técnicas de Multiplexación y Demultiplexación.	75
2.4.11. Multiplexores ópticos Add/Drop	78
2.4.12. Interfaces para DWDM.	79
3. NGN.- REDES DE PRÓXIMA GENERACIÓN	82
3.1 DEFINICIÓN SEGÚN LA ITU	82
3.2. COMPONENTES TECNOLOGICOS ESENCIALES	85
3.3 APLICACIONES	86
4. PROYECTO MODELO	88
4.1 DESCRIPCIÓN TÉCNICA	89
CONCLUSIONES	93
BIBLIOGRAFIA	95
ANEXOS	96

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Estructura de Multiplexación SDH	24
Figura 2. La trama STM-1	26
Figura 3. Estructura de trama STM-1	30
Figura 4. Cabecera de sección de STM-1	32
Figura 5. Jerarquía SDH	40
Figura 6. Distribución espectral ventanas de transmisión	51
Figura 7. WDM de dos canales	52
Figura 8. Evolución de DWDM	53
Figura 10. Refracción al interior de la fibra	57
Figura 11. Fenómeno de dispersión al interior de la fibra	58
Figura 12. Reflexión de la luz en fibras monomodo	59
Figura 13. Modo de propagación de la luz en fibra monomodo y multimodo	59
Figura 14. Efecto de dispersión	62
Figura 15. Pérdidas por Longitud de onda	62
Figura 16. Distorsión por efectos de dispersión	63
Figura 17. Dispersión vs Longitud de onda	64
Figura 18. Efectos por multiplicidad de señales	66
Figura 19. Principio de emisión de luz sobre fibra	68
Figura 20. Modulación de la luz por semiconductores	69
Figura 21. Sistema de fibra con dopado de Erbio	72
Figura 22. Sistemas unidireccionales	74
Figura 23. Sistema Bidireccional	74
Figura 24. Sistema de multiplexado por prisma	75
Figura 25. Sistema de multiplexación por superficie de difracción	76
Figura 26. Arreglo de guías de onda ópticas	77

Figura 27. Sistema con filtros de interferencia	77
Figura 28. Sistema OADM	79
Figura 29. Operación extremo a extremo del sistema DWDM	81
Figura 30. Comparación entre redes tradicionales y NGN	83
Figura 31. Estructura NGN	84
Figura 32. Vista exterior del Optix OSN7500 de Huawei	89

LISTA DE TABLA

	Pág.
Tabla 1. Comparación entre Esquemas de Protección.	47
Tabla 2. Grilla de frecuencias ITU	70
Tabla 3. Puertos de accesos por chasis	90

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. ATENUACIÓN POR SEGMENTOS	97
ANEXO B. AGREGACIÓN DE SWITCHES PARA MANEJO DEL TRAFICO IP	98
ANEXO C. DIAGRAMA DE CONFIGURACIÓN ÓPTICA -SEGMENTO QUITO- MILAGRO	98
ANEXO C. DIAGRAMA DE CONFIGURACIÓN ÓPTICA -SEGMENTO QUITO- MILAGRO	99
ANEXO D. DIAGRAMA DE CONFIGURACIÓN ÓPTICA -SEGMENTO MILAGRO- CUENCA	100
ANEXO E. DISTRIBUCIÓN MÓDULOS DWDM	100
ANEXO E. DISTRIBUCIÓN MÓDULOS DWDM	101
ANEXO F. CONFIGURACIÓN DWDM- QUITO	102
ANEXO G. CONFIGURACIÓN INTERFACES DE ACCESO -QUITO	103
ANEXO H. CONFIGURACIÓN DWDM- SANTO DOMINGO	104
ANEXO I. CONFIGURACIÓN INTERFACES DE ACCESO –SANTO DOMINGO	105
ANEXO J. CONFIGURACIÓN DWDM- QUEVEDO	106
ANEXO K. CONFIGURACIÓN INTERFACES DE ACCESO –QUEVEDO	107
ANEXO L. CONFIGURACIÓN DWDM- BABAHOYO	108
ANEXO M. CONFIGURACIÓN INTERFACES DE ACCESO –BABAHOYO	109
ANEXO N. CONFIGURACIÓN DWDM- GUAYAQUIL	110
ANEXO O. CONFIGURACIÓN INTERFACES DE ACCESO –GUAYAQUIL	111
ANEXO P. CONFIGURACIÓN DWDM- MILAGRO	112
ANEXO Q. CONFIGURACIÓN INTERFACES DE ACCESO –MILAGRO	113
ANEXO R. CONFIGURACIÓN DWDM- MÁCHALA	114
ANEXO S. CONFIGURACIÓN INTERFACES DE ACCESO –MÁCHALA	115

ANEXO T. CONFIGURACIÓN DWDM- HUAQUILLAS	116
ANEXO U. CONFIGURACIÓN INTERFACES DE ACCESO –HUAQUILLAS	117
ANEXO V. CONFIGURACIÓN DWDM- CUENCA	118
ANEXO X. CONFIGURACIÓN INTERFACES DE ACCESO –CUENCA	119
ANEXO Y. CONFIGURACIÓN DE LOS SWITCH ROUTER 6506-QUITO-STO DOMINGO-QUEVEDO-BABAHOYO	120
ANEXO Z. CONFIGURACIÓN DE LOS SWITCH ROUTER 6506-GUAYAQUIL- MILAGRO-MÁCHALA-HUAQUILLAS-CUENCA	121

RESUMEN

TITULO: FUNDAMENTOS PARA LA MIGRACIÓN A REDES DE NUEVA GENERACIÓN*

AUTORES: Martha Lucy Arciniegas Cáceres
Omar Ricardo Acevedo López**

Palabras Claves: SDH, DWDM y NGN

DESCRIPCIÓN

El objetivo de este trabajo es documentar amplia y suficientemente sobre los fundamentos de las tecnologías que en la actualidad son usadas en la redes de transporte de telecomunicaciones para que no solo sirva para entender las tendencias tecnológicas sino que además sea una herramienta para el diseño futuro de redes.

El texto es el resultado de una investigación realizada con base en documentos técnicos publicados, de manera impresa o por Internet, por grupos académicos o por fabricantes de aplicación en la operación y diseño de redes. Se documenta principalmente sobre SDH, DWDM y NGN, en cada capítulo se enseña los conceptos fundamentales de cada una de estas tecnologías.

El SDH es una estructura de señales digitales cuyos campos definidos permite el intercambio de mensajes entre terminales, en este documento se describen las estructuras de trama básica y de jerarquías superiores.

El DWDM se debe entender como un integrador de tecnologías, ya que se fundamenta en principios físicos, y se hace una descripción de como permite el compartir el medio físico de la fibra para que viajen múltiples señales de luz separados por longitudes de onda en bandas específicas.

NGN, las redes de próxima generación describen como los servicios digitales actualmente se han desarrollado bajo el universo del IP y la forma como se realiza la migración en las redes de transporte, como estas se desarrollaron de manera independiente para migrar a una única red capaz de soportar estos servicios.

Finalmente se presenta una red que es un backbone basado en DWDM, equipado con interfaces de STM-64 SDH y de 10 GbE para transporte de tráfico IP, solución que puede transportar hasta 40 longitudes de onda. Una solución en la que se puede apreciar la tendencia de las redes actuales y la forma de integrar las diferentes tecnologías expuestas.

* Monografía

** Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. Especialización en Telecomunicaciones, Director. Daniel Fernando Campuzano Ávila

ABSTRACT

TITLE: FUNDAMENTALS TO THE MIGRATION TO NEW GENERATION NETWORKS*

AUTORS: Martha Lucy Arciniegas Cáceres
Omar Ricardo Acevedo López**

Key words: SDH, DWDM and NGN

DESCRIPTION

The aim of this work is to document widely and sufficiently on the fundamentals of the technologies that at present are used in the transport networks of telecommunications in order that not only it serves to understand the technological trends but in addition it is a tool for the future design of networks.

The text is the result of an research realized with base in technical published documents, in a printed way or for Internet, for academic groups or for manufacturers to application to the operation and design of networks. It documents principally on SDH, DWDM and NGN, in every chapter the fundamental concepts are showed of each one of these technologies.

The SDH is a structure of digital signal which definite fields it allows the exchange of messages between terminals, in this document there are described the structures of basic frame and of top hierarchies.

The DWDM must be understood as an integrator of technologies, since it is based in physical principles, and a description is done of as like it allows to share the physical way of the fiber in order that multiple signs of light travel separated by wave lengths in specific bands.

NGN, the next generation networks describes as the digital services nowadays have developed under the universe of the IP and the form like it realizes the migration in the networks of transport, since these developed in an independent way to migrate to the unique network capable of supporting these services.

Finally one presents a network that is a backbone based on DWDM equipped with interfaces of STM-64 SDH and of 10 GbE for transport of traffic IP, solution that it can transport up to 40 wavelengths. A solution in the one that can appreciate the trend of the current networks and the way of integrating the different exposed technologies.

* Monograph

** Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. Especialización en Telecomunicaciones, Director. Daniel Fernando Campuzano Villa

INTRODUCCIÓN

El presente documento compila los conceptos fundamentales de las tecnologías asociadas al proceso de migración de las redes de telecomunicaciones en los últimos años.

Hace más de una década, el negocio de las telecomunicaciones estaba centrado en los servicios de telefonía, las redes de transporte para canales de voz tenían un formato único y los sistemas TDM eran completamente funcionales, sistemas cuyo desarrollo dieron origen a la PDH y SDH.

El uso masivo del computador, primero en las empresas y luego en los hogares, generaron una rápida evolución. Las redes corporativas pasaron de ser redes de área local para convertirse en redes de área amplia ó metropolitana, gracias al desarrollo de nuevas tecnologías, diferentes a los sistemas TDM, como ATM y frame relay. Nuevas TELCOS basaron su infraestructura en estas nuevas tecnologías y se dedicaron a prestar estos servicios de telecomunicaciones.

Otro aspecto preponderante fue el Internet, que pasó de ser una red gubernamental de uso restringido a convertirse en la red pública de mayor uso en el mundo. El Internet que introdujo como formato base para la transferencia de información Protocolo IP, tiene su éxito en la infinidad de servicios que se prestan a través de él.

Las empresas telefónicas que hasta ahora fueron las dueñas del mercado vieron la necesidad de introducir cambios en sus infraestructuras de transporte con tecnologías que permitieran de una manera flexible prestar esos nuevos servicios.

1. SDH¹

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.

Esencialmente, SDH es un protocolo de transporte (primera capa en el modelo OSI) basado en la existencia de una referencia temporal común (Reloj primario), que multiplexa diferentes señales dentro de una jerarquía común flexible, y gestiona su transmisión de forma eficiente a través de fibra óptica, con mecanismos internos de protección.

Usando como referencia el modelo **OSI**, **SDH** es comúnmente visto como un protocolo de nivel uno, es decir, un protocolo de la capa física de transporte. En este papel, actúa como el portador físico de aplicaciones de nivel 2 a 4, esto es, es el camino en el cual tráfico de superiores niveles tales como **IP** o **ATM** es transportado. En palabras simples, podemos considerar a las transmisiones **SDH** como tuberías las cuales portan tráfico en forma de paquetes de información. Estos paquetes son de aplicaciones tales como **PDH**, **ATM** o **IP**.

SDH permite el transporte de muchos tipos de tráfico tales como voz, video, multimedia, y paquetes de datos como los que genera **IP**. Para ello, su papel es, esencialmente, el mismo: gestionar la utilización de la infraestructura de fibra. Esto significa gestionar el ancho de banda eficientemente mientras porta varios tipos de tráfico, detectar fallos y recuperar de ellos la transmisión de forma transparente para las capas superiores.

¹ <http://www.mailxmail.com/curso/informatica/sdh/>

1.1 CARACTERÍSTICAS DEL SDH

Las principales características que encontramos en cualquier sistema de red de transporte **SDH** son las siguientes:

-**Multiplexación digital**: Éste término fue introducido hace 20 años y permitió que las señales de comunicaciones analógicas sean portadas en formato digital sobre la red. El tráfico digital puede ser portado mucho más eficientemente y permite monitorización de errores, para propósitos de calidad.

-**Fibra óptica**: Éste es el medio físico comúnmente desplegado en las redes de transporte actuales. Tiene una mayor capacidad de portar tráfico que los coaxiales o los pares de cobre lo que conduce a una disminución de los costes asociados al transporte de tráfico.

-**Esquemas de protección**: Éstos han sido estandarizados para asegurar la disponibilidad del tráfico. Si ocurriera una falla o una rotura de fibra, el tráfico podría ser conmutado a una ruta alternativa, de modo que el usuario final no sufriera disrupción alguna en el servicio.

-**Topologías en anillo**: Éstas están siendo desplegadas cada vez en mayor número. Esto es porque, si un enlace se perdiera, hay un camino de tráfico alternativo por el otro lado del anillo. Los operadores pueden minimizar el número de enlaces y fibra óptica desplegada en la red. Esto es muy importante ya que el coste de colocar nuevos cables de fibra óptica sobre el terreno es muy caro.

-**Gestión de red**: La gestión de estas redes desde un único lugar remoto es una prestación importante para los operadores. Se ha desarrollado software que permite gestionar todos los nodos y caminos de tráfico desde un único computador. Un operador puede ahora gestionar una variedad grande de

funciones tales como el aprovisionamiento de capacidad en respuesta a la demanda de clientes y la monitorización de la calidad de una red.

-Sincronización: Operadores de red deben proporcionar temporización sincronizada a todos los elementos de la red para asegurarse que la información que pasa de un nodo a otro no se pierda. La sincronización es de creciente concierto entre los operadores, con avances tecnológicos cada vez más sensibles al tiempo. La sincronización se está convirtiendo en un punto crítico, proveyendo a **SDH** un camino ideal de filosofía de red.

1.2 ORIGEN DEL SDH

Los sistemas de transmisión síncronos han sido desarrollados de modo que los operadores puedan desplegar redes flexibles y resistentes. La inserción y extracción de canales puede ser realizada en un simple multiplexor. La provisión de la capacidad de gestión de la red es definida en el estándar. De hecho, un gran esfuerzo de concordia ha tenido lugar en el desarrollo de **SDH**. La oportunidad de definir este conjunto de estándares ha sido usado para dirigir una buena cantidad de otros problemas. Por ejemplo, la necesidad de definir interfaces estándar entre nodos de diferentes fabricantes y la necesidad de facilitar interconexión de redes entre jerarquías de transmisión de Norte América y de Europa.

Este estándar culminó en 1989 en las recomendaciones de la ITU-T G.707, G.708, y G.709 que definen la Jerarquía Digital Síncrona. En Norte América, ANSI publicó su estándar **SONET**, el cual es conocido a lo largo del resto del mundo como estándar **SDH**.

Las recomendaciones de la **UIT-T** definen un número de tasas básicas de transmisión que se pueden emplear en **SDH**. La primera de estas tasas es 155.52 Mbps, normalmente referidas como un **STM-1** (donde STM significa Módulo de

Transporte Síncrono). Mayores tasas de transmisión como el **STM-4**, el **STM-16**, y el **STM-64** (622.08 Mbps, 2488.32 Mbps y 9953.28 Mbps respectivamente) están también definidas.

Las recomendaciones también definen una estructura de multiplexación donde una señal **STM-1** puede portar un número de señales de menor tasa de transmisión formando parte de su carga útil. Las señales existentes **PDH** pueden ser portadas sobre la red **SDH** como carga útil.

El nuevo estándar síncrono presentaba una serie de ventajas que lo hacían óptimo con respecto al anterior estándar plesiócrono:

- Operaciones de multiplexación y demultiplexación más sencillas y flexibles, permitiendo extraer e insertar circuitos sin tener que desmontar la señal.
- Fácil de migrar hacia órdenes superiores de multiplexación, ya que emplean la misma filosofía de trabajo.
- Las cabeceras permiten mejorar los procedimientos de operación, administración y mantenimiento de la red (**OAM**).
- Pueden transportar señales PDH G.702, ATM, etc.
- Cuenta con mecanismos integrados de protección.
- Define un interfaz óptico abierto para permitir la interconexión con otros equipos.

1.3 EL MODULO DE TRANSPORTE SINCRONO

La duda que ahora nos surge es, ¿cómo estas señales tributarias convergen en tráfico SDH? En este punto mostraremos cómo la información es empaquetada en un módulo de transporte síncrono de modo que este pueda ser transportado y gestionado a través de la red.

Un Contenedor es el elemento básico de una señal **SDH**. Éste está formado por los bits de información de una señal **PDH** la cual será empaquetada dentro del contenedor. Existen diferentes tipos de contenedores, cada uno de los cuales corresponde con una señal **PDH** de diferente tasa de transmisión.

La Cabecera de Ruta (**Path Overhead**): Cada contenedor tiene algún tipo de control sobre la información asociada a él. Esta información es generada en el nodo originario de la ruta y es terminada en el nodo final del camino. Esta información permite al operador etiquetar el tráfico así como trazar la señal a través de la red (envío de trazas) e identificarla para propósitos de protecciones y monitorización de cuentas de errores.

El Contenedor Virtual se refiere al conjunto de un contenedor y a su cabecera de ruta asociada. Volviendo a la analogía con una tubería, el contenedor virtual puede ser visto como el paquete de tráfico PDH el cual es portado a través de la tubería SDH.

Hay diferentes tipos de **contenedores virtuales** (VC). Un **VC-12** es construido de un contenedor **C-12**, el cual contiene una señal PDH de 2 Mbps. Un **VC-3** porta un contenedor **C-3** que contiene una señal PDH de 34 Mbps y un **VC-4** porta una señal PDH de 140 Mbps en un contenedor **C-4**. Un contenedor virtual puede contener otros contenedores virtuales, proceso que denotamos como anidamiento. Por ejemplo un **VC-4** puede ser conformado con 63 VC-12's. Esto simplifica el transporte y gestión de estas señales a través de la red.

El módulo de transporte síncrono: Una señal es introducida en un contenedor virtual, pero ¿cómo es transportada en un enlace óptico? El contenedor virtual es portado sobre la red junto a algunos otros contenedores ubicados en un módulo de transporte síncrono o **STM** (Synchronous Transport Module).

El contenedor virtual está ubicado en el área de carga útil del **STM** (Payload Area). Volviendo atrás en la analogía inicial, los STM's pueden ser vistos como tuberías con las cuales se confecciona la red y el contenedor virtual como los paquetes que son portados a través de las tuberías.

La unidad básica de **SDH** es la estructura **STM-1**. Cuatro marcos **STM-1** son concatenados o multiplexados para dar un STM-4 el cual tiene una mayor tasa de transmisión. **STM -16** y **STM-64** ofrecen mayores tasas de transmisión y soportan un mayor número de señales en su área de carga útil. Así, los **STM-4**, **STM-16** y **STM-64** pueden ser vistos como tuberías más gruesas.

La Cabecera de Sección (**Section Overhead**): Los bytes de información son añadidos a la estructura **STM** aprovisionando un canal de comunicación entre nodos adyacentes habilitando el control de la transmisión sobre el enlace. Esto permite a los dos nodos "hablar" con el otro cuando aparece un evento de fallo en la sección, como por ejemplo, cuando ocurre una conmutación de protección.

Un camino o ruta es el término usado para referirnos a un circuito punto a punto para el tráfico, es decir, ésta es la trayectoria seguida por un contenedor virtual a través de la red. Una sección es definida como el enlace de transporte entre dos nodos adyacentes. Un camino está compuesto por un número concreto de secciones.

Volviendo a la analogía inicial de una tubería, la sección puede ser vista como la longitud de una tubería entre dos nodos de red y el camino como la ruta que toma los contenedores virtuales sobre esas secciones de tuberías.

El tráfico de los usuarios finales será transportado en contenedores virtuales por un determinado camino, sobre varias secciones. (Esto es una definición simplista e introductoria. De hecho, caminos y secciones son diferentes capas de la red de transporte como más adelante describiremos).

Un **STM** está dedicado a una única sección, de ahí que la cabecera de sección sea procesada en cada nodo y un nuevo **STM** con nuevas cabeceras es construido para la siguiente sección. El contenedor virtual, por el contrario, sigue un camino sobre diversas secciones, de modo que la cabecera de camino permanece con el contenedor de extremo a extremo del camino.

Resumiendo lo expuesto hasta ahora, la información entrará en la red **SDH** como un flujo digital de información. La información de estas señales es mapeada en un contenedor, y cada contenedor, por lo tanto, tiene algo de información de control añadida, conocida como cabecera de camino. La combinación de estas señales y la cabecera es conocida como contenedor virtual. Los contenedores virtuales forman el área de carga útil del módulo de transporte síncrono (STM) el cual también tiene información de control llamada cabecera de sección.

La información entra en la red como flujos digitales de 2 Mbps que serán acomodados en contenedores virtuales VC-12. Un elemento de red SDH multiplexará esta señal junto con otras señales de tributario en una señal agregada de mayor tasa de transmisión. En el ejemplo, esto es una señal **STM -1** de 155 Mbps. Esto es en la red local SDH. Esta señal puede entonces ser de nuevo multiplexada para dar una señal **STM-4** a 622 Mbps en el siguiente nivel, llegando a alcanzar el **STM-64** cuando son portadas a 10 Gbps. En este flujo de mayor tasa de transmisión son transportadas muchas señales en una única fibra, en lo que es conocido como red troncal o backbone de la red y transportará la información a un determinado punto geográfico.

La señal de 2 Mbps puede ser extraída y entregada en su destino o si su destino es un equipo terminal, la señal agregada es demultiplexada descendiendo hasta la señal de 2 Mbps. La estructura de multiplexación SDH define el camino estándar para mapear las señales contenidas en un STM, cuya unidad básica es una estructura STM-1 (155 Mbps). El valor de otras tasas de transmisión básicas es

definido mediante el uso de un factor de multiplicación de cuatro. Estos son los 622 Mbps conocido como STM-4, 2.5 Gbps conocidos como STM-16 y los 10 Gbps o STM -64.

Pero ¿Porqué incrementamos la tasa de transmisión de STM-1 a STM-16 o STM-4? Transportar información de un punto a otro requiere una fibra óptica ubicada de un lugar al otro. Esta instalación es costosa, así que se limita el número de fibras instaladas, intentando portar en una fibra tanta información como fuera posible, y esto es posible, mediante el transporte de una tasa de transmisión mayor como es STM-64.

1.4 LA ESTRUCTURA DE MULTIPLEXACION SDH

La estructura de multiplexación **SDH** define cómo la información es estructurada para construir un marco **STM-1**. Este modo de mapeo de contenedores en una señal **STM-N** es definido por las recomendaciones de la ITU-T, hechas publicas desde 1989.

Anteriormente hemos dicho que los contenedores son empaquetados en **STMs** por elementos de red. Para que los elementos de red en el extremo contrario extraigan un contenedor virtual, éste debe conocer la localización exacta del contenedor virtual dentro del área de carga útil del **STM**. Un puntero denota esta ubicación. En una red síncrona todo el nodo está sincronizado mediante un reloj único para toda la red. La temporización de una señal plesíocrona colocada dentro de un contenedor virtual puede variar en frecuencia o fase con respecto al reloj de red. Como resultado de esto, la localización de un contenedor virtual en una estructura **STM** puede no ser fija, por lo que el puntero asociado con cada contenedor virtual indica su posición dentro del área de carga útil del **STM**.

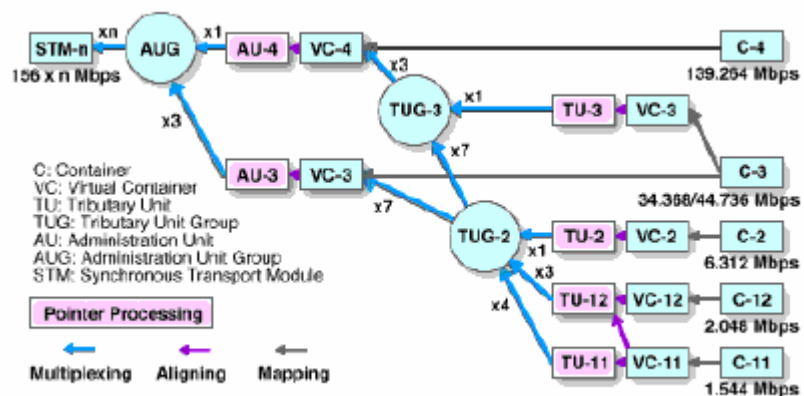
La estructura **SDH**: La señal STM-1, el elemento básico del **SDH**, comprende 2430 bytes de información. Esto está distribuido en 270 columnas por 9 filas. Dentro de

ellos están contenidos la carga útil del **STM-1**, los punteros y las cabeceras de sección.

La construcción del área de carga **STM** es definida por la estructura mapeada **SDH**. Las tasas de transmisión de los clientes son mapeadas en contenedores (C) y una cabecera de camino (POH) añadida para dar lugar a un contenedor virtual (VC). Estos formarán Unidades Tributarias (Tributary Units o TU) las cuales consisten en contenedores virtuales más el puntero. El puntero indica la posición de contenedor virtual dentro de la unidad tributaria.

La unidad tributaria es empaquetada en Grupos de Unidades Tributarias (Tributary Units Groups o TUGs) y finalmente en Grupos de Unidades Administrativas (Administrative Unit Groups o AUGs) de acuerdo a las reglas de estructura de multiplexación **SDH** que podemos observar en la figura que este empaquetado secuencial puede realizarse anidando pequeños contenedores virtuales junto con otros mayores.

Figura 1. Estructura de Multiplexación SDH



Fuente: <http://magda.elibel.tm.fr/cdc/sdh-multiplexing.gif>

Las reglas **SDH** de multiplexación aseguran que la posición exacta de un contenedor virtual contenido en el área de carga útil puede ser identificado por cada nodo. Esto tiene la ventaja de que cada nodo puede directamente acceder a un contenedor virtual de la carga útil sin necesitar desmontar y volver a construir la estructura de carga. Las montañas de multiplexores que aparecían en las redes **PDH** no son requeridas.

Siguiendo estas reglas de multiplexación, una señal **STM-1** puede ser constituida de diferentes modos. Los **VC-4** que formarán la carga útil de la estructura **STM** pueden contener una señal **PDH** de 140 Mbps, tres señales **PDH** de 34 Mbps , sesenta y tres señales **PDH** de 2 Mbps o combinaciones de ellas, de modo que la capacidad total no sea excedida. Cuando son necesarias tasas de transmisión mayores que **STM-1**, éstas son obtenidas usando un simple esquema de concatenación de bytes, alcanzando tasas de 622 Mbps (**STM-4**), 2.5 Gbps (**STM-16**) y 10 Gbps (**STM-64**).

1.5 LA TRAMA **STM-1**

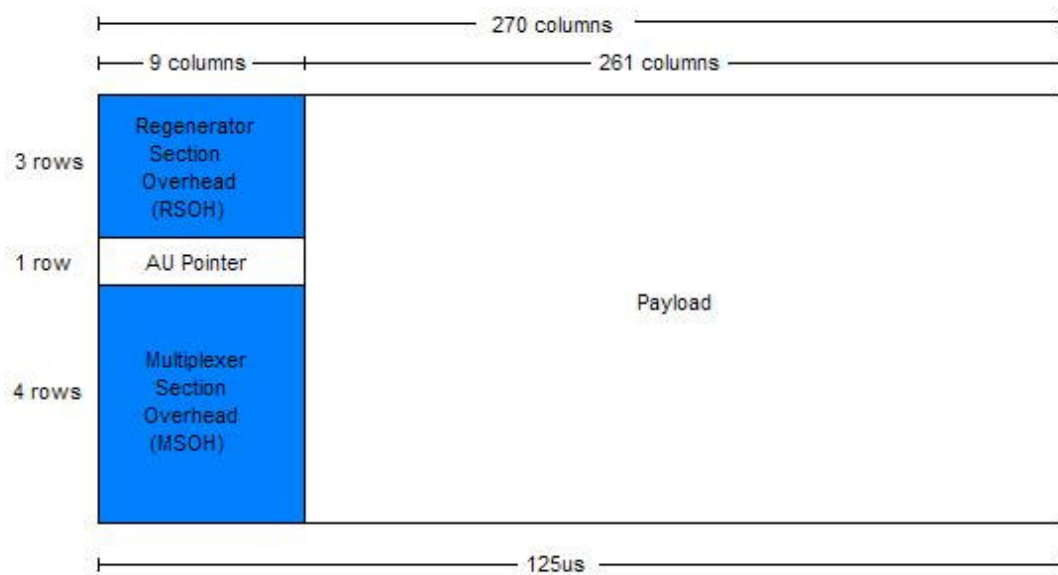
Los sistemas de transmisión plesíocronos permiten a los tributarios desviarse de una tasa de bits predefinida. Los métodos de justificación entonces llevan a todos los tributarios a la misma tasa de bits antes de la multiplexación. El método de justificación usando bits extra de relleno en el flujo de datos hace imposible la identificación de un canal tributario específico interno a un canal multiplexado.

En sistemas síncronos todos los elementos del sistema están sincronizados al mismo reloj maestro por lo que la justificación no es necesaria para tener una tasa de bits común previa a la multiplexación.

La tasa de transmisión básica de **SDH** estándar es 155,520 Mbps (**STM-1**). La trama **STM-1** consiste en 2430 bytes, los cuales corresponden con una duración

de 125 μ s, también están definidas tres tasas de bits de mayor velocidad como son 622,08 Mbps (STM-4), 2488,32 Mbps (STM-16) y 9953,28 Mbps (STM-64). La trama STM-1 está estructurada como 270 columnas (bytes) por 9 filas en las que las nueve primeras columnas de la estructura corresponden con la cabecera de sección, y las restantes 261 columnas son el área de payload.

Figura 2. La trama STM-1



Fuente: http://content.answers.com/main/content/wp/en/4/4a/SDH_STM1_Frame.JPG

La jerarquía digital síncrona elimina la necesidad de un número de niveles menores de multiplexación definido en PDH. Los tributarios de 2 Mbps son multiplexados a nivel de STM-1 en un solo paso. De todos modos, para mantener la compatibilidad con equipos no síncronos, las recomendaciones SDH definen métodos de subdivisión del área de payload de la trama STM-1 de varias formas, de modo que puedan portar diversas combinaciones de señales tributarias, tanto síncronas como asíncronas. Usando este método, los sistemas de transmisión

síncrona pueden acomodar señales generadas por nodo de varios niveles de jerarquía digital plesiócrona.

Una trama STM-1 consta de 2430 bytes, los cuales pueden dividirse en tres áreas principales:

- Área de payload (2349 bytes).
- Área de puntero de Unidad Administrativa (9 bytes).
- Área de cabecera de sección (72 bytes).

El Área de Payload: Señales de todos los niveles de **PDH** pueden ser acomodadas en SDH empaquetándolas juntas en el área de payload de la trama STM-1. El proceso de empaquetado de señales PDH es un proceso multipaso que involucra un número de diferentes estructuras.

Los tributarios plesiócronicos están mapeados en un contenedor de tamaño apropiado, y un número de bytes conocido como cabecera de camino (Path Overhead o POH) es añadido al mismo para formar el contenedor virtual (VC) en el que se basa esta trama. La cabecera de camino proporciona información para su uso en la gestión extremo a extremo de un camino síncrono. La información de la cabecera de camino asociado con un VC-1/VC-2 difiere a la obtenida en la cabecera asociada a los VC-3/VC-4. Veamos la información que encontraremos en cada una de ellas:

La cabecera de camino para los VC-1/VC-2 recoge los bytes V5, J2, Z6 y Z7. El byte V5 es el octeto posicionado al inicio del contenedor virtual. La función de varios de los bits de este byte se describe a continuación:

- BIP-2: Los bits 1 y 2 son usados para monitorizar errores usando bits de paridad concatenada (BIP) comprobando todos los bytes en el VC-1/ VC-2 previo.
- REI: El bit 3 es el indicador remoto de error o REI del camino. Será puesto a 1 binario y enviado en dirección opuesta al recibido hacia el extremo original del VC-1/VC-2 si uno o más errores son detectados al chequear el BIP-2.
- RFI: El bit 4 es el indicador remoto de fallo o RFI y es puesto a 1 binario y enviado en dirección opuesta a la recibida por el ensamblador del VC-1/VC-2 si se detecta un fallo.
- Etiqueta de señal: Indica el tipo de carga del contenedor virtual. Estas codificaciones pueden ser "camino inequipado", "mapeado asíncrono", "mapeado de byte síncrono", o camino equipado por ser definido.
- RDI: El bit 8 es el indicador de defecto remoto o RDI en el camino. Este bit es colocado a 1 binario y enviado hacia atrás por el ensamblador de VC-1/VC-2.

La cabecera de camino para contenedores VC-4 está ubicada en la primera columna de las nueve filas por las 261 columnas de la estructura VC-4. Para los VC-3, la cabecera de camino está colocada en la primera columna de las nueve filas para la estructura de 85 columnas. . La función de cada byte la vemos a continuación:

- J1: Traza de ruta: Este byte verifica la conexión del camino VC-3/VC-4.
- B3: BIP-8 de ruta: Este byte proporciona monitorización de bits con error sobre la ruta, usando un código de paridad par BIP-8.
- C2: Etiqueta de señal: Este byte indica la composición de la carga VC3/VC-4.
- G1: Estatus del camino: Este byte permite que el estatus de la señal recibida sea enviada de vuelta al extremo transmisor del camino desde el extremo receptor.
- F2, Z3: Canales de usuario: Este byte proporciona un canal de comunicación para el usuario.

- H4: Indicador de posición: Este byte proporciona un indicador de posición generalizado de payload y puede ser usado como un indicador de posición de multitrama para VC-2/VC-1.
- K3 (bits 1 - 4): APS: Estos bits son empleados para la conmutación automática de protección (APS) para la protección a nivel de camino de alto nivel.
- K3 (bits 5 - 8): Spare: Estos bits están reservados para uso futuro.
- Z5: Operador nacional: Este byte esta empleado para propósitos de gestión específica así como mantenimiento de conexión tandem.

El Puntero de Unidad Administrativa: Tras añadir la cabecera de camino al contenedor virtual, se le posiciona en una unidad tributaria (TU) o una unidad administrativa (AU) con un puntero indicando al comienzo del contenedor virtual relativo al TU o al AU, según sea el caso. Los VC-1s y VC-2s son posicionados en TU mientras que los VC-4 son posicionados en un AU tal y como veíamos en la figura 3.13. En Europa, los VC-3 son posicionados en TU-3 mientras que en SONET son posicionados en AU-3. Los AU's y los TU's son empaquetados en sus respectivos grupos; grupos de unidades tributarias (TUG's) para unidades tributarias y grupos de unidades administrativas para AU's. Los TUG's son multiplexados en contenedores virtuales de alto nivel. Los cuales, en su turno, son posicionados en AU's con un puntero indicando al inicio del contenedor virtual relativo al AU. Es el puntero AU el cual indica la posición del AU con relación a la trama STM-1 y forma parte del área de cabecera de sección de la trama.

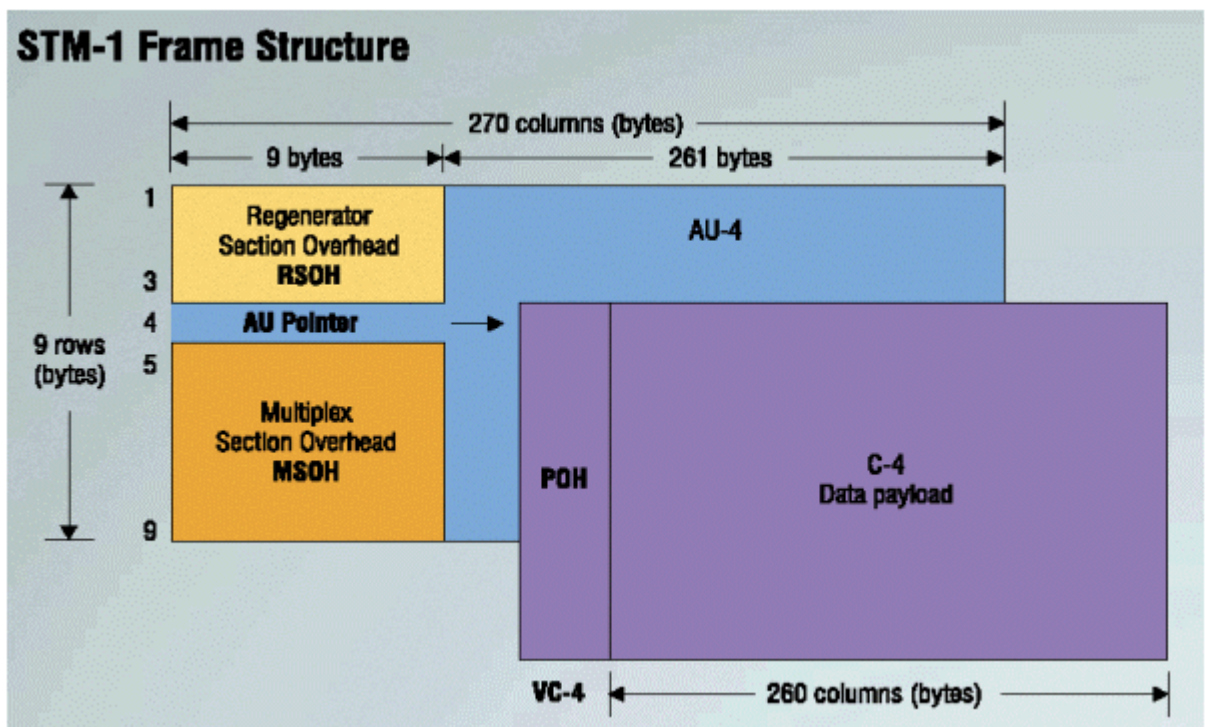
El área de payload de la trama STM-1 contiene un VC-4 o tres VC-3 con la posición del primer byte siendo indicada por el respectivo puntero AU. El uso de punteros en la trama STM-1 significa que las señales plesiócronas pueden ser acomodadas en el seno de la red sincronía sin necesidad de emplear buffers.

Esto es porque la señal puede ser empaquetada en un contenedor virtual e insertada en la trama en cierta posición de modo que el puntero indique esta posición. Usar el método de punteros es posible al definir los contenedores virtuales síncronos ligeramente mayores que la carga útil que portan. Esto permite

a la carga deslizarse un tiempo relativo a la trama STM-1 en la cual está contenido. El ajuste de puntero también es posible ante la ocurrencia de cambios de frecuencia o fase como consecuencia de variaciones de retardo de propagación.

El resultado de esto es que, para cualquier flujo de datos, es posible identificar sus canales tributarios individuales, e insertar o extraer información, y de este modo superar uno de los principales inconvenientes del PDH.

Figura 3. Estructura de trama STM-1



Fuente: http://www.cisco.com/japanese/warp/public/3/jp/service/tac/127/sdh_28327b.gif

La Cabecera de Sección: Los bytes de la cabecera de sección (SOH) son usados para la comunicación entre elementos adyacentes de equipos síncronos. De este

modo, además de ser utilizados para la sincronización de trama, también realizan una gran variedad de facilidades de gestión y administración.

Esta estructura de cabecera de sección STM-1 se detalla a continuación:

- A1, A2: Enganche de trama.
- J0: Traza de la sección de regeneración.
- D1 a D12: Los bytes D1 a D3 forman un canal de comunicación de datos de 192 Kbps para la sección de regeneración. Los bytes D4 a D12 forman un canal de comunicación de datos para la sección de multiplexación. El uso de ambos canales de comunicación es para gestión de red.
- E1, E2: Canales de instaladores. Empleado para comunicaciones directas entre nodos de equipos.
- F1: Canales para usuario.
- B1, B2: Estos bytes son comprobaciones de paridad simple para detección de errores.
K1, K2 (bit1 a bit5): Canal dedicado a la conmutación de protección automática.
K2 (bit6 s bit8): Indicador de RDI para la sección de multiplexación.
- S1 (bit5 a bit8): Indicador de estatus de sincronización.
- M1: Indicador de REI para la sección de multiplexación.
- Z1, Z2: Aún por definir, sin uso.

infraestructura física. Los sistemas de transmisión síncronos emplean la Multiplexación por División en el Tiempo (TDM).

Terminación de línea/Transmisión: En una dirección la señal digital tributaria es terminada, multiplexada y transmitida en una señal de mayor velocidad. En la dirección opuesta, la señal de mayor tasa de transmisión es terminada, demultiplexada y reconstruida la señal digital de tributario. Esta es la tarea de terminales de línea. Las redes de transmisión síncrona usan típicamente fibra óptica como enlaces de transporte físico así que esto requiere la terminación y transmisión de señales ópticas.

En sistemas PDH las tareas de terminación, multiplexación y transmisión requieren diferentes módulos independientes de nodo, pero en SDH estas funciones pueden ser combinadas en un único elemento de red.

Cross-Conexiones: Las cross-conexiones en una red síncrona suponen el establecer interconexiones semi-permanentes entre diferentes canales en un elemento de red. Esto permite que el tráfico sea enviado a nivel de contenedor virtual. Si el operador necesita cambiar los circuitos de tráfico en la red, el encaminamiento puede conseguirse cambiando conexiones.

Esta descripción podría sugerir que una cross-conexión es similar a una conmutación de circuito, pero hay diferencias fundamentales entre ellas. La principal diferencia es que una conmutación trabaja como una conexión temporal la cual se realiza bajo el control de un usuario final, mientras que una cross-conexión es una técnica de transmisión usada para establecer conexiones semi-permanentes bajo el control del operador, a través de su sistema de gestión de red. El operador cambiará esta conexión semi-permanente según cambie el patrón del tráfico.

La función de cross-conexión no significa la necesidad de bloques de nodo independientes. La funcionalidad de cross-conexión SDH puede residir en casi cualquier elemento de red, siendo el más obvio el multiplexor ¿add-drop?.

Otros términos empleados en las funcionalidades de los elementos de red SDH son la consolidación y la agregación.

La consolidación se produce cuando tráfico en rutas parcialmente ocupadas puede ser reorganizado en un simple camino con mayor carga de densidad de tráfico.

El grooming se produce cuando el tráfico incidente, el cual es dirigido hacia diversos destinos es reorganizado. El tráfico para destinos específicos es reordenado en caminos junto con otro tráfico para ese destino. Por ejemplo, el tráfico de un tipo específico como el ATM o tráfico de datos con diferentes destinos puede ser separado del tráfico PSTN (Public Switching Telephone Network o red telefónica conmutada) y ser transportado por una ruta diferente.

En un sistema SDH podemos establecer diferentes tipos de conexiones entre elementos, como son las siguientes:

- **Unidireccional** es una conexión de una vía a través de los elementos de red SDH , por ejemplo enviar tráfico únicamente.
- **Bidireccional** es una conexión de dos vías a través de los elementos de red, teniendo funciones de envío y de recepción de información.
- **Extrae y continúa (Drop & Continue)** es una conexión donde la señal es bajada a un tributario del elemento de red pero ésta también continúa por la señal de agregado hacia otro elemento de red. Este tipo de conexiones puede ser usado para difusiones y mecanismos de protección.
- **Difusión (Broadcast)** es una conexión donde un contenedor virtual entrante es llevado a más de un contenedor virtual de salida. En esencia, una señal entrante al elemento de red puede ser transmitida a varios lugares desde el

contenedor virtual. Este tipo de conexión puede ser empleado para difusiones de vídeo por ejemplo.

1.6.2. Tipos de Elementos de Red. La recomendación de la ITU-T G.782 identifica ejemplos de equipos **SDH** a través de combinaciones de funciones **SDH**. Están clasificados en multiplexores (de los cuales hay siete variantes) y cross-conectores (donde hay tres variantes). Para simplificar, solamente se considerarán tres tipos de elementos de red SDH: Sistemas de línea, multiplexores add-drop (ADM) y cross-conectores digitales.

1.6.3 Terminales de Línea. Es el tipo de elemento de red SDH más simple. Éste implementará únicamente la terminación de línea y la función de multiplexación, de modo que su utilización es típica en configuraciones punto a punto. Algunos flujos tributarios serán combinados en el terminal de línea para generar un flujo agregado de mayor velocidad y esto será transmitido a un enlace óptico. Elementos de red son requeridos en los dos puntos finales de este enlace y una conexión fija de circuitos de cliente es establecida entre estos dos puntos terminales.

1.6.4 Multiplexores Add-Drop (ADM). Estos equipos ofrecen la función de cross-conexiones junto con la de terminal de línea y multiplexación. En **SDH** es posible extraer (**Drop**) un contenedor virtual e insertar en sentido contrario (**Add**) otro contenedor virtual a la señal **STM** directamente sin necesidad de despeinarla según vimos anteriormente. Esta ventaja fundamental de los sistemas síncronos significa que es posible conectar flexiblemente señales entre interfaces de elementos de red (agregados o tributarios). Esta capacidad de enrutamiento permite que la función de cross-conexión sea distribuida por la red, resultando mejor que concentrarla en un enorme cross-conector dedicado. En el caso del terminal de línea, los enlaces establecidos eran circuitos fijos punto a punto. La funcionalidad añadida a un **ADM** permite que sea establecida una red

más flexible en la cual los circuitos de cliente que transiten la red puedan ser más fácilmente variados.

Esta flexibilidad puede ser demostrada por una red de **ADMs** encadenados. Considerando el enlace de transporte como una línea de bus, en cada parada (**ADM**) el pasaje (circuitos de tráfico) podrá elegir entre descender o mantenerse en el transporte.

En un **ADM** circuitos de tráfico individuales pueden ser llevados fuera del flujo agregado mientras que el resto del tráfico continúa pasando a lo largo de la cadena de elementos. Esto crea una estructura en bus, en la cual una señal puede bajar o mantenerse en el bus en cada punto **ADM**.

Varios **ADMs** pueden ser conectados por el bus y la conectividad de cada **ADM** será donde los circuitos de tráfico son bajados o pasarán, propiedad que puede ser cambiada por el operador en función de las necesidades de tráfico. Así, una conexión flexible entre algunos puntos es creada, como si fuera una línea fija entre cada uno de esos puntos. Si un cliente quiere portar su circuito de tráfico hacia un nodo diferente, esta petición puede ser enviada remotamente al equipo, reconfigurando a distancia las conexiones en el **ADM**.

Diferentes tipos de multiplexores ofrecen diferentes niveles de cross-conectividad. Un **ADM** como los descritos realizará la función add-drop simple en la que algunos contenedores virtuales pueden ser extraídos, otros pueden ser insertados y el remanente es pasado a través sin cambio alguno. **ADMs** también pueden ofrecer intercambio de intervalo de tiempo, mediante una cross-conexión de un contenedor virtual de un lugar en el lado Este a un lugar diferente en el lado Oeste.

También se puede realizar conexiones entre puertos tributarios, de modo que proveen funcionalidad de cross-conexión entre tributarios, también conocida como "horquillado".

Los **ADM** son particularmente útiles para crear redes en anillo. Las señales son introducidas en el anillo vía interfaces tributarios de los **ADM**, los cuales son acoplados en la señal agregada de mayor velocidad de transmisión dentro del anillo para transportarlas a los otros nodos.

Los anillos son la configuración común de red porque pueden incrementar la supervivencia de la red. Las redes pueden ser objeto de fallo de nodos o roturas de enlaces por lo que es requerida una resistencia que prevenga la pérdida de tráfico.

Pero, ¿Cómo se lleva esto a cabo? En una red punto a punto cada enlace debe ser duplicado para proporcionar un camino alternativo para el tráfico que podría estar afectado por el fallo. En un anillo, el tráfico puede ser simplemente divergido por el otro camino en torno al anillo. En **SDH** esta reconfiguración puede llevarse a cabo por acción de un elemento de red sin la intervención de un elemento de gestión de red externo.

Un ADM puede ser configurado como un concentrador para usar en aplicaciones de red multi-site. El propósito de estos concentradores es consolidar diferentes terminales en el agregado óptico de mayor capacidad. Este arreglo elimina el coste y la complejidad de las configuraciones multi-terminal y cross-conexiones redundantes.

1.6.5 Tipos de Multiplexores. Los multiplexores pueden ser clasificados de diferentes maneras, por ejemplo, por el tipo y flexibilidad de conexiones que pueden ser hechas. Los Multiplexores son comúnmente clasificados por la tasa de

bits de la señal agregada soportada. Por ejemplo, un "Multiplexor STM-4" aceptará tributarios de una variedad de tasas **PDH** y **SDH** (2 Mbps, 34 Mbps, 140 Mbps, y STM-1) y multiplexa estos en una señal agregada **STM-4**.

Los multiplexores pueden ser también clasificados como parciales y completos sistemas de acceso. Un **ADM** de acceso completo puede acceder a cualquier tráfico contenido en su carga dentro del agregado **STM-N**. Esto es, todo el tráfico agregado puede ser conectado internamente y pasado a puertos tributarios. En contraste, un multiplexor de acceso parcial únicamente puede acceder y conectar a sus puertos tributarios una porción de su tráfico agregado, siendo el resto de tráfico conectado directamente a través del multiplexor a la señal agregada.

Los multiplexores pueden ser actualizados. Esto típicamente se refiere al reemplazo de puertos con puertos agregados que puedan transmitir a una velocidad mayor. Por ejemplo, un multiplexor **STM-1** puede reemplazar su tarjeta agregado por una tarjeta **STM-4**. La velocidad de la señal agregada del multiplexor se incrementará a **STM-4**, pero sólo una porción del tráfico agregado podrá ser conectado a los puertos tributarios de dicho multiplexor. En este caso, el multiplexor se convertiría en un equipo de acceso parcial.

La capacidad de actualizar los multiplexores a agregados de mayor capacidad permite a los operadores de red actualizar sus enlaces a mayores velocidades a medida que la capacidad de tráfico demandado se incrementa. La flexibilidad es, de todos modos, parcial, ya que únicamente una porción de tráfico agregado puede ser accedido por el multiplexor. Las conexiones de tráfico entre agregados y tributarios está limitada y hace más difícil acomodar los cambios de patrones de tráfico. Algunos cross-conectores están diseñados para que la capacidad de cross-conexión efectiva incrementa, es decir que las conexiones son incrementadas al ser actualizada la velocidad de transmisión del agregado.

Cross-Conectores Dedicados: Tal y como describimos anteriormente, la cross-conectividad de los **ADMs** permite que la función de cross-conexión sea

distribuida a lo largo de red, pero también es posible tener un único equipo cross-conector. Los cross-conectores digitales (**DXC**) son los más complejos y costosos nodos **SDH**.

No es la inclusión de bloques con funciones de cross-conexión lo que distingue a los **DXCs** de los **ADMs**, pero la presencia de supervisión de las conexiones en mayor o menor orden si que lo hace. Esto es, la característica distintiva de un **DXC** es su capacidad de proporcionar supervisión de las conexiones.

Todos los **DXC** proporcionan funcionalidad de cross-conexión y sería inusual implementar un **DXC** sin cross-conexión completa entre todas las entradas y salidas. Los **DXCs** también incorporan esas funciones de multiplexación y terminación de línea, las cuales son esenciales como interfaz entre la matriz de cross-conexión y el resto de la red.

Hay dos tipos de cross-conectores **SDH** dedicados, generalmente conocidos como 4/1 DXCs y 4/4 DXCs.

4/1 DXCs puede normalmente aceptar combinaciones de entradas de 2, 155 y 622 Mbps y cross-conectar VC-12s, incluso algunos podrán también cross-conectar VC-2s, VC-3s, y VC-4s. Estos módulos de nodo más complejos son conocidos como 4/3/1 DXCs. 4/1 DXCs son, de todos modos, instalados en los puntos de red donde:

- Sea necesaria una reorganización de la ruta principal y de circuitos, como por ejemplo entre el núcleo de la red y redes regionales.
- Sea necesaria supervisión de las conexiones, como por ejemplo, en la pasarela con otra red.

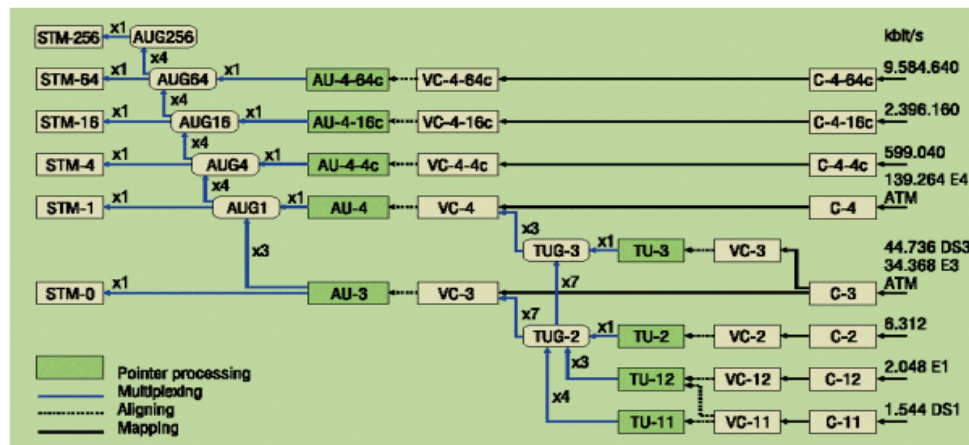
Los cross-conectores 4/1 extrae contenedores virtuales de una variedad de enlaces **SDH** (principalmente STM-1, STM-4 y STM-16) y los re enruta.

4/4 DXCs son normalmente diseñados para aceptar entradas de 140, 155, o 622 Mbps y están optimizados para conmutar únicamente VC-4s. Los cross-conectores 4/4 son componentes de núcleo de red y proporcionan capacidades tales como gestión de ruta de alto nivel y restauración de red.

Tres factores limitan la capacidad de tráfico de un **DXC**: el número y tamaño de los puertos tributarios y el tamaño del núcleo interno de conmutación. En la práctica, la capacidad del puerto tiende a ser exhaustivo ante la capacidad de conmutación del núcleo, y es la principal razón para la actualización del cross-conector.

La flexibilidad de los **DXCs** significa que pueden implementarse en cualquier configuración. La provisión de supervisión, de todos modos, convierte al **DXC** en un complejo y caro elemento de red y la inclusión de protocolos de auto-curado de anillo incrementan la complejidad. Esto es, que para construir anillos auto-recuperables es más usual emplear **ADMs** donde añadir protocolos de anillo es menos complejo al no estar presente funciones de supervisión de conexiones.

Figura 5. Jerarquía SDH



Fuente: http://www.cisco.com/japanese/warp/public/3/jp/service/tac/127/sdh_28327e.gif

1.6.6 Regeneradores y Repetidores. Los elementos de red también pueden ser configurados para extender la longitud de los tramos entre nodos , y por tanto realicen funciones de intercambio de tráfico.

Las señales que viajan a lo largo de un enlace de transmisión acumulan degradación y ruido. Los multiplexores configurados como regeneradores convierten la señal óptica en eléctrica, la cual es regenerada ("limpiada"). La señal regenerada es convertida de nuevo a señal óptica agregada y transmitida.

Por ejemplo, un enlace troncal STM-16 entre dos ciudades donde los ADM's están situados en ambos puntos, pero el tramo intermedio es demasiado largo y la señal puede estar degradada hasta el punto que el **ADM** receptor no pueda llegar a reconstruir la señal transmitida. Un **ADM** configurado como regenerador se introducirá en una localización intermedia entre las dos ciudades para reconstruir la señal y eliminar así la posible introducción de errores.

Los amplificadores ópticos son otra opción para extender el alcance de las señales ópticas. Estos trabajan como repetidores, reimpulsando la señal. La señal no sufre ninguna transformación a eléctrica.

De este modo, el tramo se amplía por potencia inyectada en la señal que no está limpia de degradaciones ni ruido, así que dependiendo de la longitud del enlace, y tipo de fibra, puede que sea requerido un regenerador también.

1.7 ESQUEMAS DE PROTECCION

La gran capacidad de los enlaces SDH hace que un simple fallo de enlace pueda tener un impacto nocivo en los servicios proporcionados por la red si no se dispone de una protección adecuada. Una red resistente que asegure el tráfico que porta y que puede restaurarlo automáticamente ante cualquier evento de fallo

es de vital importancia. Los sistemas de transmisión SDH permiten desplegar esquemas de protección estándar.

1.7.1. Protección de Nodos. Los objetivos de calidad son establecidos para los elementos en una red SDH y esto afecta a la medida de disponibilidad de la red. Para alcanzar los requerimientos de disponibilidad es necesario en ocasiones duplicar módulos en los elementos de red.

Cada componente de los elementos de red tiene asociado una tasa de fallo con él. Esto es usado junto con la información contemplada de interacción de componentes para calcular la tasa de fallos para tarjetas de circuitos. De manera similar las tasas de fallos de las tarjetas y la información de interacción son usadas para calcular la tasa de fallo de los elementos de red. Tomando en cuenta los tiempos de reparación y los fallos de software, se calcula una medida general de disponibilidad para los elementos de red.

La disponibilidad puede ser mejorada aprovisionando un componente en stand-by que emplear en caso de fallo. Esta protección local es comúnmente aplicada en algunas unidades como son las de alimentación, generación de reloj, matriz de cross-conexión y tarjetas tributarias.

Así, una tarjeta tributaria puede ser aprovisionada en stand-by en un elemento de red. Ante un evento de fallo de la tarjeta tributaria que se encuentra trabajando, el tráfico es automáticamente conmutado a la tarjeta de reserva de modo que no haya una interrupción de servicio para el usuario final.

Fallos de tarjetas no son la única razón para protección de tributarios. Las tarjetas de reserva también pueden ser usadas durante rutinas de mantenimiento. El tráfico puede ser manualmente conmutado a la tarjeta de backup mientras la tarjeta primaria sigue funcionando. Esto también posibilita que la tarjeta en servicio

sea actualizada mientras el elemento de red está en servicio sin interrupción de servicio al usuario final.

Hay diferentes esquemas estándar para protecciones de nodo. Por ejemplo, si una tarjeta en stand-by se incluye por cada tarjeta en funcionamiento, estas tarjetas tienen protecciones 1+1.

Es también común aprovisionar de una tarjeta de protección para diversas tarjetas operativas. Ante un evento de fallo en alguna de las tarjetas en producción, el tráfico es normalmente conmutado hacia la tarjeta de protección. A este sistema se le denomina protección **1:n**.

Por ejemplo, en un multiplexor STM16, la protección 1:16 podría ser implementada en tarjetas tributarias STM1. Dieciséis tarjetas STM1 eléctricas podrían ser instaladas en el armario para soportar a los dieciséis tributarios STM1. Una decimoséptima tarjeta podría ser instalada como tarjeta en stand-by. Ante un evento de fallo en una de las tarjetas STM1e, el tráfico puede ser conmutado a la tarjeta en stand-by de protección.

La protección de nodo incrementa la disponibilidad de los elementos de red individuales pero no protege el sistema contra pérdidas de elementos de red enteros. Para asegurarse que el tráfico puede ser re-enrutado si un elemento de red es perdido, los esquemas de protección han de implementarse para incrementar la supervivencia de la red. La resistencia de la red frente a la protección local de nodo es requerida para proteger contra fallos de un nodo o pérdida de un enlace.

La restauración concierne a la disponibilidad de rutas de servicio extremo a extremo. Trabaja a través de la red entera y re-enruta tráfico para mantener el servicio. Un porcentaje de la capacidad de la red es asignado para la restauración.

Después de la detección de una pérdida de señal, el tráfico es re-enrutado a través de la capacidad de repuesto. Los algoritmos de re-enrutamiento son programados en el software de los elementos de red. El camino alternativo puede ser buscado descartando tráfico de menor prioridad o usando capacidad extra entre nodos.

En contraste con los procedimientos de protección de equipos, la capacidad usada para restaurar necesita ser preasignada. En algunos esquemas de protección, un enlace es dedicado como enlace de protección para los enlaces en producción. Éste no es el caso de la restauración, donde la capacidad libre puede ser compartida.

Así, esta estrategia ofrece gran flexibilidad, presentándose un considerable número de opciones de re-enrutamiento, por lo que los algoritmos son relativamente complejos. El tiempo de procesamiento necesario para encontrar una ruta de tráfico alternativo se presenta como una dificultad para la rápida restauración del tráfico afectado. También se ha de tener en cuenta que la restauración es iniciada únicamente tras la detección de pérdida de señal por parte del sistema de gestión de red, no cuando el fallo ocurre. Esto lleva a que los tiempos de restauración sean relativamente lentos, del orden de segundos o minutos hasta horas. Este proceso se relata a continuación:

Se detectan alarmas de la red por medio del sistema de gestión
Se analizan las alarmas para determinar su causa.

Conexión de la subred alternativa para restaurar el camino
Camino implementado por cambio de conexiones.

Camino validado.

En una red protegida, los elementos detectan un fallo tan pronto como ocurre y toma acciones correctivas de acuerdo con los procedimientos predefinidos, sin

instrucciones del sistema de gestión de red. Restauración es un proceso lento y hace que la interrupción de servicio experimentada por el cliente final sea grande. Por el contrario, en un esquema de protección automática como es la Protección de la Sección de multiplexación (MSP) o MS-SPRing, el tráfico es reenrutado en menos de 50 ms, así que el cliente final no detecta interrupción de servicios. La restauración no ha sido estandarizada aún. Los diferentes productos que han sido desarrollados presentan las especificaciones internas de varios operadores.

1.7.2. Protección de Red. Los procedimientos de protección de red son empleados para auto-recuperarse de fallos de red del estilo de un fallo de enlace o elemento de red. Lo que efectivamente ocurre es que un elemento de red detectará un fallo o una pérdida de tráfico e iniciará acciones correctivas sin involucrar al sistema de gestión de red.

Hay muchos mecanismos de protección definidos por los organismos de estandarización. Estos esquemas pueden ser subdivididos en aquellos que protegen la capa de sección y en aquellos que protegen la capa de camino o subred:

- La protección de la capa de sección involucra la conmutación de todo el tráfico de una sección a otra sección de fibra alternativa.
- La protección de la capa de camino involucra la protección de un contenedor virtual de un extremo a otro del camino en la subred. Ante un evento de fallo, únicamente el contenedor virtual en cuestión es conmutado a un camino alternativo.

El tipo de esquema de protección empleado viene usualmente dictado por la arquitectura de red.

La protección Camino (ó Ruta VC Dedicada), este tipo de protección implica duplicar el tráfico en forma de contenedores virtuales los cuales son introducidos en la red y transmitiendo esta señal simultáneamente en dos direcciones a través de la red.

Un camino de protección dedicado porta el tráfico en una dirección y el camino operativo porta la señal a través de otra ruta diferente. El elemento de red que recibe las señales compara la calidad de los dos caminos y la señal de mayor calidad es seleccionada. Ésta será nombrada como la ruta activa. Ante un evento de fallo en la ruta activa el extremo receptor conmutará al otro camino, a la ruta de protección.

Esto protegerá a los mismos enlaces por sí mismos, pero también protegerá contra fallos de un nodo intermedio. Un ejemplo especial de este tipo de mecanismo es el anillo de camino de protección. Según el tráfico entra al anillo es transmitido simultáneamente en ambas direcciones en torno al anillo. La selección es hecha por el nodo de salida de la mejor de las dos conexiones.

El mecanismo puede ser aplicado a anillos y también circuitos punto a punto a través de redes malladas o mixtas mediante muchos elementos de red y subredes intermedias.

1.7.3. Comparación entre Esquemas de Protección. Como se puede apreciar en la tabla, los esquemas de protección varían significativamente en sus características. No hay un esquema de protección óptimo. La elección puede ser determinada por el diseño de la red, por ejemplo, SPRings tiende a ser usado en una topología de anillo mientras que la restauración se emplea en redes malladas de alto nivel con gran cantidad de cross-conexiones.

Tabla 1. Comparación entre Esquemas de Protección.

Esquema de Protección	¿Qué Protege?	¿Dónde aparece la Protección?	¿Es un esquema selectivo a nivel de VC?	¿Estandarizado?	Topología	Tiempo Típico de Conmutación
MS-SPRing	Todo el tráfico de la sección	Cualquier nodo en el anillo	NO	SI	Anillo	<50ms
1+1 MSP	Todo el tráfico de la sección	Nodos Adyacentes	NO	SI	Lineal/ Mayada	<50ms
Ruta Dedicada	VC individual	Nodo del extremo final del anillo	SI	SI	Mixta	<50ms
SNCP	VC individual	Nodo final o intermedio de la ruta	SI	SI	Mixta	<50ms
Restauración	VC individual	No hay conmutación de protección.	SI	NO	Mayada	>1min

Fuente: <http://www.mailxmail.com/cursos/informatica/sdh/>

La elección del esquema de protección puede ser también determinada por el nivel de red al cual el tráfico es portado. En las capas de backbone la tasa de transmisión es muy alta, del orden de **STM16** o **STM64**, así que la acumulación de tráfico portado en cada fibra es mucho mayor en enlaces de menor nivel. Una rotura de esta fibra tendría un impacto mucho mayor que una pérdida de señal en una fibra de bajo nivel. El backbone, por tanto, tiene justificado un esquema de protección completa como el **MS-SPRing** o el 1+1 MSP.

Los patrones de tráfico varían dependiendo del nivel de red en el que nos encontremos. En la capa de backbone el tráfico es típicamente uniforme, portándose entre ciudades grandes, redes metropolitanas o redes de datos. En esta situación, una SPRing puede proveer una ventaja de capacidad sobre la ruta de protección. La reutilización de capacidad reservada para protección es también una consideración importante, como si fuera un tráfico de anillo extra. En capas de

backbone, la fibra puede ser escasa y es crítico hacer un óptimo uso del ancho de banda disponible.

En capas inferiores de la red, el tráfico es típicamente portado a un punto central que lo recolecta y lo transporta al siguiente nivel. Esto es conocido como tráfico concentrado. En esta situación las ventajas de **SPRings** no son grandes y la necesidad de proteger cada fibra no es crítica. Esquemas de protección de ruta selectiva como VC-Trail y protección **SNCP** son más comunes en esta situación. Por ejemplo, un cliente puede solicitar la protección de sus líneas de 2 Mbps, por lo que estos caminos VC-12 han de ser selectivamente protegidos con rutas de protección.

Ésta ruta está protegida a nivel VC-12 a través de toda la red. Si esta ruta estuviera solamente protegida a nivel de circuito de alto nivel, es decir, a nivel de VC-4, por MSP o MS-SPRing y hubiera una ruptura en una fibra de bajo nivel, este VC-12 se perdería. Un circuito VC-4 completo, de este modo, no se perdería, solo que el mecanismo de protección a nivel de VC-4 no detectaría el fallo. Un operador, por tanto, no debe considerar únicamente como trabaja su esquema de protección, sino como se interconecta con los adyacentes.

Un despliegue efectivo de subredes es interconectando subredes protegidas **SNCP** y subredes protegidas **MS-SPRings**. Por ejemplo, una subred MS-SPRings es ideal para el núcleo de la red, pudiendo ser conectada con redes locales o regionales donde la protección de camino de subred estuviera usándose para aplicar protección selectiva al tráfico.

1.7.4 Interconexión de Esquemas de Protección. A medida que el tamaño y la demanda de tráfico de una red se incrementa, también lo hace su complejidad. Un anillo simple o una conexión en cadena raramente serán implementados. Las redes se constituyen a base de un número de subredes y cada una puede tener su

propio esquema de protección. Con la gran cantidad de operadores existentes, la interconexión de redes entre diferentes operadores se convierte en una difícil cuestión. Estos factores junto con el objetivo de una mayor resistencia de la red, significan que el hecho de la interconexión de varias subredes individualmente protegidas es de gran importancia.

La interconexión de protecciones es donde un esquema de protección trabaja sobre una única conexión a lo largo de la red. Un simple esquema de protección puede no proporcionar la actuación adecuada, y por tanto, puede ser mejor implementar una protección basada en subredes, pero entonces, la interconexión de estos esquemas ha de ser considerada.

2. DWDM²

2.1 EVOLUCIÓN DE LA TRANSMISIÓN SOBRE FIBRA ÓPTICA

La transmisión sobre fibra óptica fue probada experimentalmente en el siglo 19, pero la tecnología tuvo su desarrollo en la segunda mitad del siglo 20 con la invención del fibroscopio, aplicado a la medicina en cirugía laparoscópica.

Desde que se hizo viable la transmisión de luz sobre fibra el desarrollo de la fibra óptica se procedió a encontrar una fuente de luz con suficientemente potente y estrecha. El diodo emisor de luz y el diodo láser demostraron tener dichas capacidades, diodos que a través de muchas generaciones desarrollados en los años 60s, culminaron con el láser semiconductor que es el más ampliamente usado en nuestros días.

La Luz tiene una capacidad de transportar información de 10.000 veces mayor que las más altas frecuencias de radio. Ventajas adicionales de la fibra sobre el cobre incluye la posibilidad para llevar señales a grandes distancias, baja tasa de errores, inmunidad a interferencia eléctrica y seguridad.

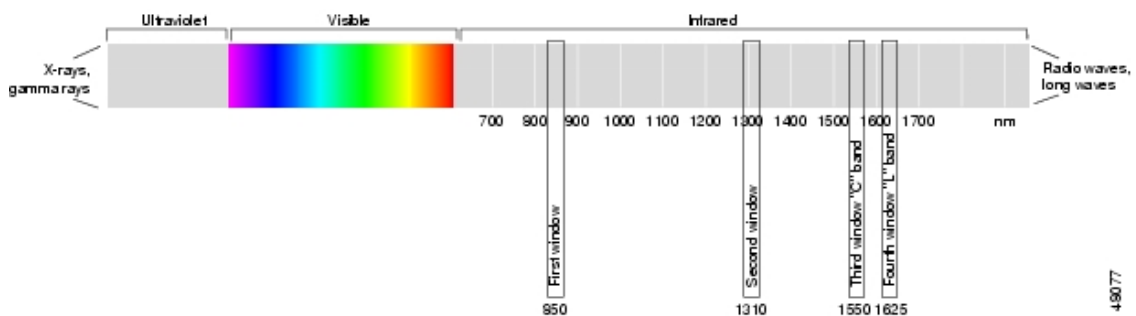
Gracias a esas características, investigadores a mediados de los 60s propusieron que la fibra óptica podía ser un eficiente medio de transmisión. Sin embargo existía un obstáculo y era la pérdida de señal o atenuación, observado en el vidrio con el que trabajaban. Finalmente, en 1970 la compañía Corning produjo las primeras fibras con grado de comunicación, con una atenuación de menos de 20 db/km, esta fibra de vidrio purificado excedió el umbral para hacer viable la tecnología de fabricación de fibras ópticas.

² http://www.cisco.com/universicd/cc/td/doc/product/mels/cm1500/dwdm/dwdm_ovr.htm

La innovación inicial fue lenta, los monopolios públicos y privados fueron cautelosos sobre la nueva tecnología. AT&T realizó las primeras transmisiones sobre fibra multimodo con un DS3 (45Mbps). Subsecuentemente se usaron fibras monomodo capaces de transmitir tasas 10 veces mayores y con alcances de 32 km. En los 80s MCI seguido por Sprint, usaron fibras monomodo para sus redes de grandes distancias en los Estados Unidos.

Ambos desarrollos de fibra óptica están vinculados al uso de regiones específicas del espectro óptico donde la atenuación óptica es baja. Esas regiones llamadas ventanas se encuentran entre áreas de alta absorción. Los primeros sistemas operaban en los 850nm, la primera ventana en fibra basada en sílice. Una segunda ventana (banda S), en 1310 nm, fue considerada superior a la anterior por su baja atenuación, seguido por una tercera ventana (banda C) en 1550 nm con muy bajas pérdidas ópticas. Hoy existe una cuarta ventana (banda L) cerca de los 1625 nm.

Figura 6. Distribución espectral ventanas de transmisión



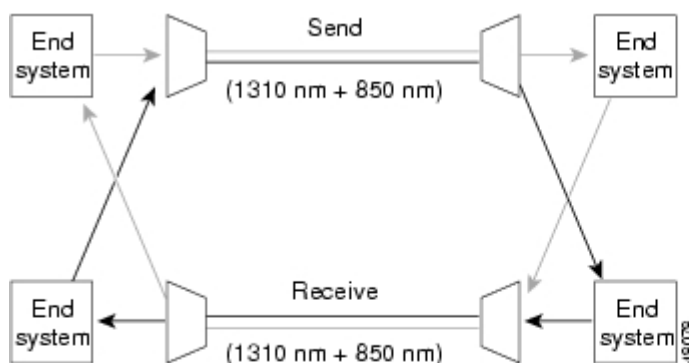
Fuente: http://www.cisco.com/universicd/cc/td/doc/product/mels/cm1500/dwdm/dwdm_ovr.htm

2.2 DESARROLLO DE LA TECNOLOGÍA DWDM

El WDM empezó en los 80s con dos longitudes de onda espaciadas en los 1310 nm y 1550 nm (o 850 nm y 1310 nm) regiones, algunas veces llamadas ancho de banda WDM.

La figura muestra un ejemplo de un sistema simple de WDM. Note que uno de los pares de fibra es usado para transmitir y uno es usado para recibir. Este es uno de los más eficientes arreglos y los más comunes en sistemas WDM.

Figura 7. WDM de dos canales

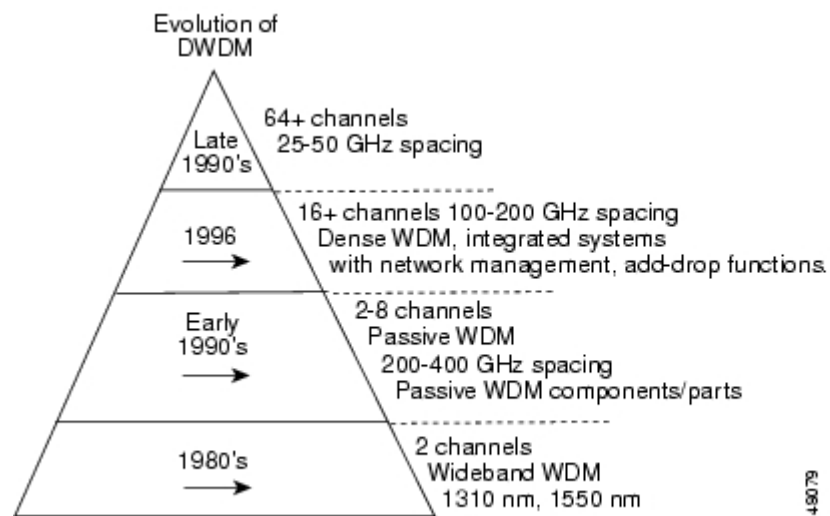


Fuente: http://www.cisco.com/universicd/cc/td/doc/product/mels/cm1500/dwdm/dwdm_ovr.htm

En los 90s se vio una segunda generación de WDM, algunas veces llamada banda estrecha WDM, en la cual 2 a 8 canales fueron usados. Estos canales fueron espaciados en un intervalo de 400 Ghz en una ventana de 1550 nm. A mediados de los 90s, sistemas de WDM denso (DWDM) fueron emergiendo con 16 a 40 canales y espaciamiento de 100 a 200 Ghz. A finales de los 90s los sistemas DWDM alcanzaron capacidades de de 64 a 160 canales, densamente empaquetados en intervalos de 50 o 25 Ghz.

La figura muestra la progresión de la tecnología de cómo se incrementa el número de canales y reduce el espaciamiento entre longitudes de onda. Paralelamente con el incremento en densidades de longitud de onda, los sistemas avanzan en flexibilidad de configuración, funciones de add-drop, y capacidad de administración.

Figura 8. Evolución de DWDM

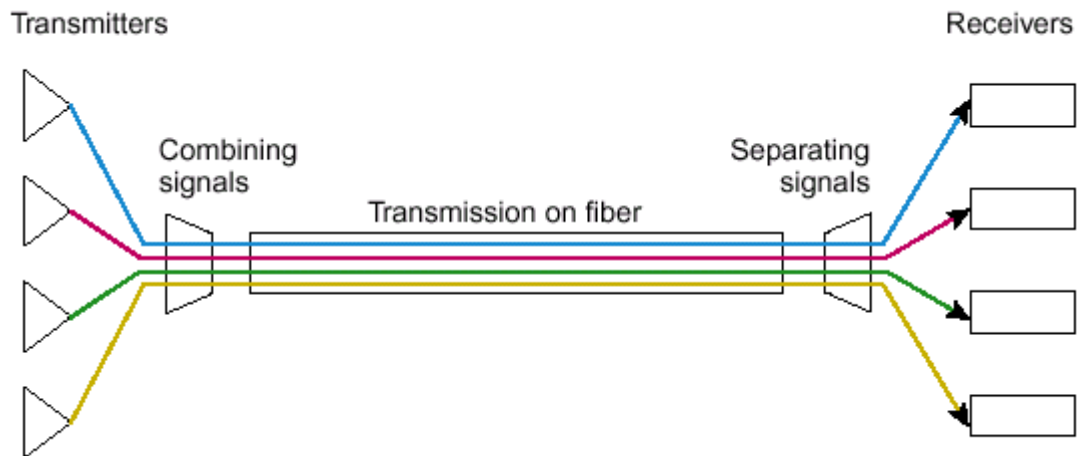


Fuente: http://www.cisco.com/universicd/cc/td/doc/product/mels/cm1500/dwdm/dwdm_ovr.htm

2.3 FUNCIONES DE UN SISTEMA DWDM

DWDM involucra un número de funciones de capa física. Estas están descritas en la figura, en la que se muestra un sistema DWDM de cuatro canales. Cada canal óptico ocupa su propia longitud de onda.

Figura 9. Multiplexación de señales



Fuente: http://www.cisco.com/universicd/cc/td/doc/product/mels/cm1500/dwdm/dwdm_ovr.htm

El sistema desarrolla las siguientes funciones:

Generar la señal_ La fuente, un láser de estado sólido, debe proveer luz de manera estable dentro de un específico ancho de banda, estrecho que porta los datos digitales, modulados como una señal análoga.

Combinación de señales_ Los sistemas modernos de DWDM emplean multiplexores para combinar señales. Existe perdidas asociadas con la multiplexación y demultiplexación. Esta pérdida depende del número de canales pero puede ser mitigado con amplificadores ópticos, el cual bombea todas las longitudes de onda sin requerir conversión eléctrica.

Transmisión de señales_ Los efectos del crosstalk y degradación de señal óptica o perdidas deben ser estimadas en la transmisión óptica. Esos efectos pueden ser minimizados mediante el control de variables tales como el espaciamiento de los canales, tolerancia a la longitud de onda, y niveles de potencia del láser. Sobre un enlace de transmisión, la señal puede requerir amplificarse ópticamente.

Separación de señales recibidas.- En el Terminal de recepción, las señales multiplexadas deben separarse. Sin embargo esta tarea aparentemente es simplemente el proceso opuesto a la combinación de señales, esto es actualmente más complicado técnicamente.

Recepción de señales.- La señal demultiplexada es recibida por un fotodetector. En adición a esas funciones al sistema DWDM debe ser equipado con interfaces lado cliente para recibir la señal de entrada.esta función es lograda por transponders.

2.4. COMPONENTES Y OPERACIÓN

DWDM es una tecnología en una red de transporte óptico. Los componentes esenciales de DWDM pueden ser clasificados por su lugar en el sistema:

- En el lado de transmisión, lasers de precisión, longitudes de onda estables.
- En el Enlace, la fibra optica que exhibe bajas perdidas y rendimiento en la transmisión en espectro de la longitud de onda, en adición a las ganacia optica de los amplificadores para bombear señal sobre grandes longitudes.
- En el lado de recepción, fotodetectores y demultiplexores opticos usando finas películas como filtro o elementos difractivos.
- Multiplexores ópticos add/drop y componentes de crossconexión óptica.

Estos y otros componentes son mencionados más adelante.

2.4.1. Fibras ópticas. La función principal de la fibra óptica es guiar ondas de luz con un mínimo de atenuación (pérdida de señal). Las fibras ópticas están compuestas de finos hilos de vidrio en capas, llamado el núcleo y revestimiento, esta puede transmitir luz en aproximadamente $2/3$ de la velocidad de la luz en el vacío. Sin embargo admite una sobre simplificación, la transmisión de luz en fibra

óptica es comúnmente explicada usando el principio de reflexión interna total. Con este fenómeno, el 100 por ciento de la luz que choca con una superficie es reflejada. En contrates, un espejo refleja un 90 por ciento de la luz que choca contra él.

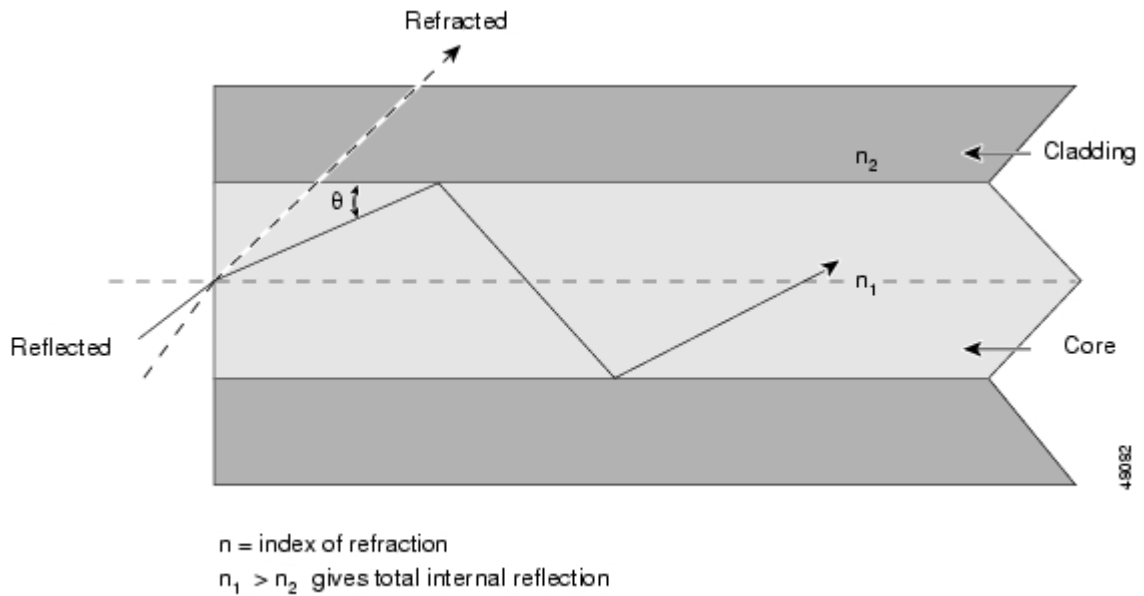
La luz es reflejada o refractada dependiendo del ángulo de incidencia.

Reflexión interna total sucede bajo las siguientes condiciones:

- El haz de luz pasa de un medio denso a uno menos denso. La diferencia entre la densidad óptica de un determinado material y el vacío es el índice de refracción del material.
- El ángulo de incidencia es menor que el ángulo crítico. El ángulo crítico es el ángulo de incidencia en el que la luz choca siendo refractado y es en cambio totalmente reflejado.

El principio de reflexión interna total dentro del núcleo de fibra es ilustrado en la figura. El núcleo tiene un alto índice refractivo comparado con el revestimiento, logrando que el haz de luz choque en la superficie con un menor ángulo crítico para que sea reflejado. El segundo haz de luz no reúne el requerimiento de ángulo crítico y es refractado.

Figura 10. Refracción al interior de la fibra



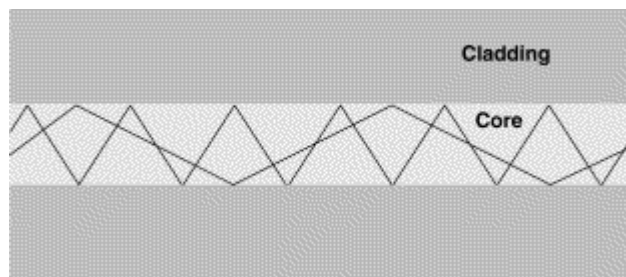
Fuente: http://www.cisco.com/universicd/cc/td/doc/product/mels/cm1500/dwdm/dwdm_ovr.htm

Una fibra óptica consiste de dos tipos diferentes de vidrio sólido de alta pureza (silica) – el núcleo y el revestimiento- que están mezclados con materiales dopantes para ajustar sus índices de refracción. La diferencia entre los índices de refracción de los dos materiales causa que gran parte de la luz permanezca en el núcleo. Las condiciones de ángulo crítico se mantienen mediante el control del ángulo de inyección de la luz en la fibra. Dos a más capas de la chaqueta protectora alrededor del revestimiento aseguran que el vidrio sea manipulado sin causarle daño.

2.4.1.1. Fibra Multimodo y Monomodo. Hay dos categorías de fibra óptica en uso hoy, fibra multimodo y fibra monomodo. Multimodo, el primer tipo de fibra que se comercializó, tiene un núcleo mayor al de la fibra monomodo. Su nombre parte del hecho de tener muchos modos, es decir rayos de luz, pueden ser portados simultáneamente a través de la guía de onda. La figura muestra un ejemplo de luz

transmitida en un primer tipo de fibra multimodo llamada step-index, step index se refiere al hecho que esa un índice uniforme de refracción a través del núcleo; de igual manera hay un cambio entre el índice de refracción en la interface entre el revestimiento y el núcleo: Note que los dos modos deben viajar diferentes distancias para llegar a sus destinos. Esta disparidad en los tiempos de llegada de los dos rayos es llamada dispersión modal. Este fenómeno resulta de la pobre calidad de señal en el Terminal de recepción y finalmente limita la distancia de transmisión. Esto es porque la fibra multimodo no es usada para grandes distancias.

Figura 11. Fenómeno de dispersión al interior de la fibra

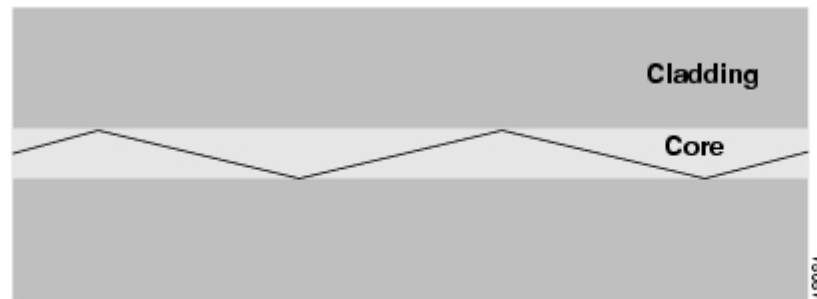


Fuente: http://www.cisco.com/universicd/cc/td/doc/product/mels/cm1500/dwdm/dwdm_ovr.htm

Para compensar la desventaja en dispersión en fibras multimodo de step-index, se invento la fibra de índice graduado. El índice graduado se refiere al hecho de que el índice refractivo del núcleo es graduado-es reducido gradualmente desde el centro hacia fuera del núcleo. La refracción más alta en el centro del núcleo reduce la velocidad de algunos rayos de luz, logrando que todos los rayo de luz alcancen su destino a un mismo tiempo y reduciendo la dispersión modal.

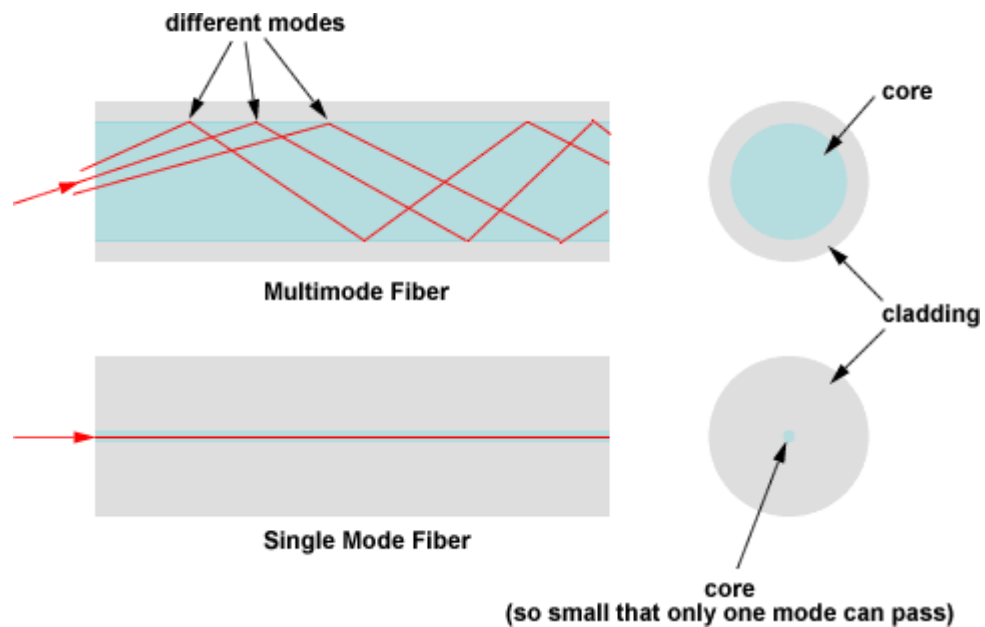
Figure 13 Reflected Light in Single-Mode Fiber

Figura 12. Reflexión de la luz en fibras monomodo



Fuente: http://www.cisco.com/universicd/cc/td/doc/product/mels/cm1500/dwdm/dwdm_ovr.htm

Figura 13. Modo de propagación de la luz en fibra monomodo y multimodo



Fuente: http://www.cisco.com/universicd/cc/td/doc/product/mels/cm1500/dwdm/dwdm_ovr.htm

2.4.1.2 Diseño de fibra Monomodo. El desarrollo de las fibras monomodo han tomado varias décadas. Los tres principales tipos y sus especificaciones ITU-T son:

- Fibra con dispersión no desplazada NDSF G.652

- Fibra con dispersión desplazada DSF G.653
- Fibra con dispersión desplazada de cero G.655

Como se indico anteriormente hay cuatro ventanas dentro del espectro infrarrojo que son explotadas para la transmisión por fibra. La primera ventan cerca de los 850 nm fue usada exclusivamente para distancias cortas, aplicaciones multimodo. Las fibras con dispersión no desplazada, comúnmente llamada fibra monomodo estándar SM, fueron diseñadas para una segunda ventana, cerca de 1310 nm. Para optimizar el desempeño de la fibra en esta ventana, la fibra fue diseñada de tal forma que la dispersión cromática debería estar próxima de cero cerca de los 1310 nm de longitud de onda.

Como el uso de fibra óptica se ve favorecida por las necesidades de crecimiento de ancho de banda y distancia, una tercera ventana, cerca de los 1550 nm, fue explotada para transmisión monomodo. La tercera ventana, o banda C, ofrece dos ventajas: tiene la más baja atenuación, y su frecuencia de operación es la misma que un nuevo amplificador para fibra dopado por Erblio conocido como EDFAs. Sin embargo, esta característica en dispersión se ha ido limitando.

Debido a que la tercera ventana presenta menor atenuación que la ventana de 1310 nm, los fabricantes empezaron a diseñar fibras con fibra de dispersión desplazada. El cual mueve el punto de dispersión cero a la región de los 1550 nm. Aunque esta solución equivale a un mínimo de atenuación óptica y los puntos de dispersión cero coinciden en la ventana de los 1550 nm, esto conlleva a que existan no linealidades destructivas en la fibra óptica cerca al punto de dispersión cero para lo que no hay una compensación efectiva. Debido a esta limitación, dichas fibras no son convenientes para aplicaciones DWDM.

El tercer tipo. Fibra con desplazamiento de dispersión no cero, esta diseñada específicamente para atender las necesidades de aplicaciones DWDM. El objeto

de este diseño es hacer que la dispersión sea baja en la región de los 1550 nm, pero no cero. Esta estrategia introduce efectivamente una cantidad controlada de dispersión, encontrando efectos no lineales tales como mezcla de cuatro ondas que pueden afectar el desempeño de sistemas DWDM.

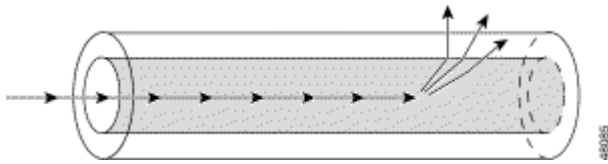
2.4.2. Retos de la transmisión. La transmisión de luz por fibra óptica presenta varios retos que deben ser considerados:

- Atenuación- decaimiento del nivel de señal, o pérdida de la potencia de luz, mientras esta se propaga a través de la fibra.
- Dispersión cromática- ensanchamiento de los pulsos de luz.
- No linealidades- efectos acumulativos de la interacción de luz con el material sobre el que viajan, resultando en cambios en las ondas de luz e interacción entre las ondas de luz.

Cada uno de los efectos se deben a varias causas, no todos afectan el DWDM.

2.4.2.1. Atenuación. La atenuación en fibra óptica es causada por factores intrínsecos, especialmente dispersión y absorción, por factores extrínsecos, incluyendo tensión en el proceso de fabricación, el ambiente, y curvatura física. La forma más común de dispersión, es la dispersión Rayleigh, es causada por pequeñas variaciones en la densidad del vidrio cuando es enfriado. Estas variaciones son más pequeñas que las longitudes de onda usadas y de igual forma actúan como objetos dispersos: Esta dispersión afecta las longitudes de onda corta más que longitudes de onda larga y limita el uso de longitudes de onda por debajo de los 800 nm.

Figura 14. Efecto de dispersión

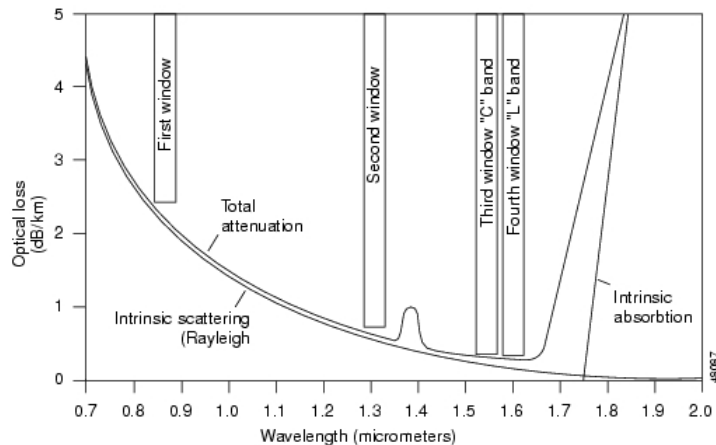


Fuente: http://www.cisco.com/universicd/cc/td/doc/product/mels/cm1500/dwdm/dwdm_ovr.htm

La atenuación debido a la absorción es causada por las propiedades intrínsecas del material en si mismo, las impurezas en el vidrio, y algunos defectos atómicos en el vidrio. Esas impurezas absorben la energía óptica, causando que la luz llegue a ser interrumpida. Mientras que la dispersión de rayleigh es importante en las longitudes de onda cortas, la absorción intrínseca es un tema de grandes longitudes de onda y se incrementa dramáticamente en los 1700 nm. Sin embargo la absorción debida a los picos de agua introducidos en el proceso de fabricación de la fibra están siendo eliminados en nuevos tipos de fibra.

Los factores primarios que inciden en la atenuación son la longitud de la fibra y la longitud de onda de la luz. La figura muestra la perdida en decibelios por kilometro (dB/km) por dispersión Rayleigh, absorción intrínseca y atenuación total.

Figura 15. Pérdidas por Longitud de onda

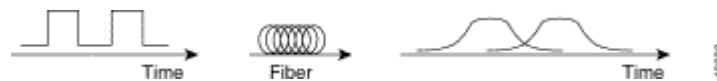


Fuente: http://www.cisco.com/universicd/cc/td/doc/product/mels/cm1500/dwdm/dwdm_ovr.htm

La atenuación en la fibra es compensada mediante el uso de amplificadores ópticos.

La dispersión es el ensanchamiento de un pulso de luz cuando viajan a través de la fibra. La dispersión resulta en distorsión de la señal, la cual limita el ancho de banda de la fibra.

Figura 16. Distorsión por efectos de dispersión



Fuente: http://www.cisco.com/universicd/cc/td/doc/product/mels/cm1500/dwdm/dwdm_ovr.htm

Dos tipos generales de dispersión afectan los sistemas DWDM. Uno de esos efectos, la dispersión cromática, es lineal mientras el otro, dispersión en modo polarización (PMD), es no lineal.

2.4.2.2. Dispersión Cromática. La dispersión cromática ocurre por la propagación de diferentes longitudes de onda a diferentes velocidades. El efecto de la dispersión cromática se incrementa como el cuadrado de una tasa de bits. En fibra monomodo, la dispersión cromática tiene dos componentes, dispersión del material y dispersión de guía de onda.

La dispersión material ocurre cuando las longitudes de onda viajan a diferentes velocidades a través de un material. Una fuente de luz, no importa su ancho, emite varios longitudes de onda dentro de un mismo rango, cuando este rango de longitudes de onda viaja a través de un medio, cada longitud de onda individual llega en diferentes tiempos.

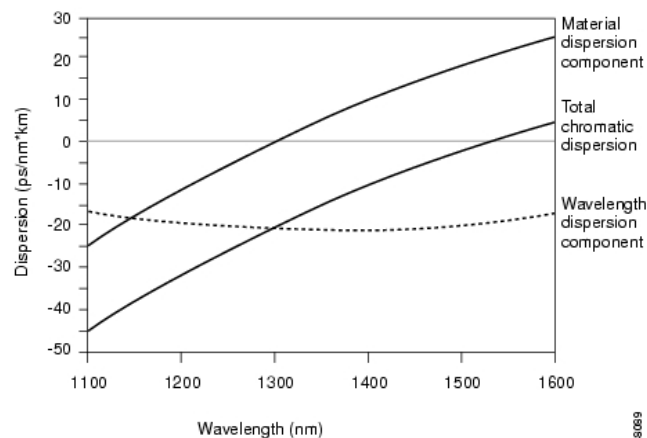
El segundo componente de la dispersión cromática, dispersión de guía de onda, ocurre por los diferentes índices de refracción del núcleo y el revestimiento de la fibra. El índice de refracción varía con las longitudes de onda así:

- En longitudes de onda corta, la luz es bien confinada dentro del núcleo. Así mismo el índice de refracción aproximadamente el índice de refracción del material del núcleo.
- En longitudes de onda media, la luz se ensancha ligeramente en el revestimiento. Este decrece el índice de refracción efectivo.
- En longitudes de onda larga, gran parte de la luz se ensancha en el revestimiento. Esto conlleva a un índice efectivo de refracción muy cercano al del revestimiento.

Este resultado del fenómeno de dispersión de longitud de onda es un retardo en la propagación en una o más de las longitudes de onda relativas a otras.

La dispersión cromática total, considerando todos sus componentes, por longitud de onda es descrita en la figura para fibra con dispersión desplazada. Para fibra con dispersión no desplazada, la longitud de onda con dispersión cero es 1310 nm.

Figura 17. Dispersión vs Longitud de onda



Fuente: http://www.cisco.com/universid/cc/td/doc/product/mels/cm1500/dwdm/dwdm_ovr.htm

Sin embargo la dispersión cromática no es generalmente un aspecto de interés en velocidades por debajo de un OC-48, esta solo se incrementa con tasas de vbits mas alta que el ancho de banda espectral requerido. Nuevos tipos de fibra de dispersión desplazada de cero reducen ampliamente estos efectos. El fenómeno puede ser mitigado con compensadores de dispersión.

2.4.2.3. Dispersión en modo de Polarización. Más fibras monomodo soportan dos modos de polarización perpendicular, una vertical y una horizontal. Por esos estados de polarización no se mantienen, esto ocurre por interacción entre los pulsos que resultan como una señal defectuosa.

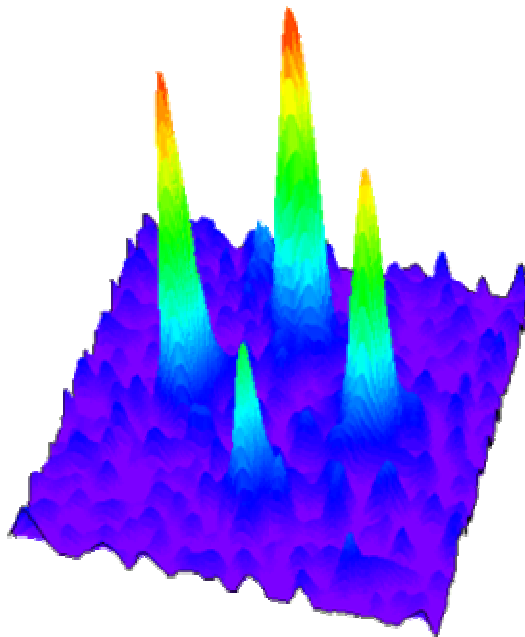
La Dispersión en modo de Polarización es causada por la forma ovalada de la fibra que resulta del proceso de fabricación o tensiones externas. Porque la tensión puede variar en el tiempo, PMD, diferente a la dispersión cromática, es sujeto a cambio en el tiempo. PMD no es generalmente un problema con velocidades por debajo de OC-92.

2.4.2.4. Otros efectos no lineales. Los efectos no lineales tienden a manifestarse en si mismos cuando la potencia óptica es muy alta, estas toman importancia en el DWDM.

Efectos lineales tales como la atenuación y la dispersión pueden ser compensados, pero los efectos no lineales se acumulan. Ellos son mecanismo que limitan de manera fundamental a la cantidad de datos que pueden ser transmitidos en la fibra óptica. Los tipos más importantes de efectos no lineales son estimulados por dispersión Brillouin, distorsión Raman, modulación autofase, y mezcla de cuatro ondas. En DWDM, mezcla de cuatro ondas es la más crítico de esos tipos.

La mezcla de cuatro ondas es causada por la naturaleza no lineal del índice de refracción de la fibra óptica. Interacciones no lineales entre diferentes canales DWDM crean bandas laterales que pueden causar interferencia entre canales. En la figura interactúan tres frecuencias para producir una cuarta frecuencia, resultando en crosstalk y degradación de la relación señal ruido.

Figura 18. Efectos por multiplicidad de señales



Fuente: http://www.cisco.com/universicd/cc/td/doc/product/mels/cm1500/dwdm/dwdm_ovr.htm

El efecto de la mezcla de cuatro ondas es para limitar la capacidad de canal de un sistema DWDM. La mezcla de cuatro ondas no puede ser filtrada, tanto ópticamente y eléctricamente, se incrementan con la longitud de la fibra. Debido a la susceptibilidad a la mezcla de cuatro ondas, DSF no es adecuado para DWDM. Esto condujo a la invención de NZ-DSF, la cual toma como ventaja el hecho que una pequeña cantidad de dispersión cromática puede ser usada para mitigar la mezcla de cuatro ondas.

2.4.3. Fuentes de luz y Detectores. Emisores de luz y detectores de luz son dispositivos activos en extremos opuestos de un sistema de transmisión óptica. Fuentes de luz, o emisores de luz, son dispositivos transmisores que convierten señales eléctricas a pulsos de luz. El proceso de esta conversión, o modulación, pueden ser acompañados por modulación externamente una onda continua de luz o usando un dispositivo que pueda generar luz directamente modulada. Detectores de luz desempeñan una función opuesta de los emisores de luz. Ellos son dispositivos opto electrónicos en el lado de recepción que convierten pulsos de luz en señales eléctricas.

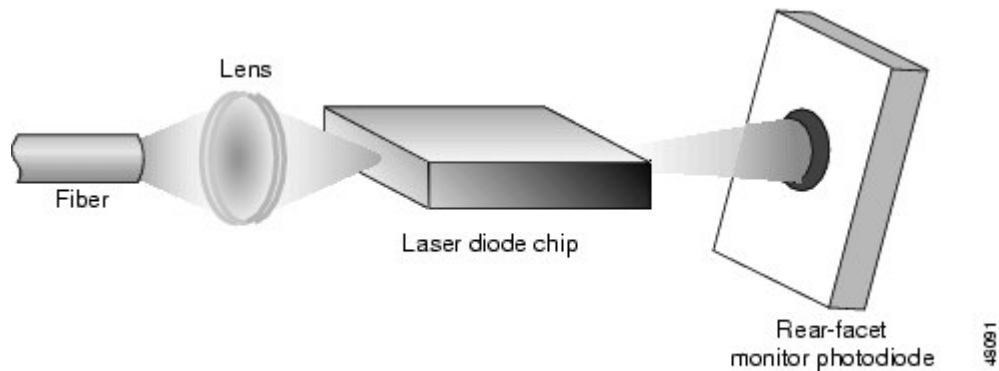
2.4.4 Emisores de luz LEDs y laser. La fuente de luz usada en el diseño de un sistema es una consideración importante porque ella puede ser uno de los elementos más costosos. Estas características son con frecuencia factores fuertemente limitantes en el desempeño final de un enlace óptico. Los dispositivos de emisión de luz usados en transmisión óptica puede ser compacta, monocromática, estable, y de grandes longitudes.

Dos tipos generales de dispositivos emisores de luz son usados en transmisiones ópticas, diodos emisores de luz LEDs y diodos láser. LEDs son dispositivos menores, adecuado para uso en velocidades de menos de 1 gbps, ellos exhiben un ancho de espectro relativamente ancho, ellos transmiten luz en un cono relativamente ancho. Estos económicos dispositivos son usados con frecuencia en comunicaciones con fibra multimodo. Semiconductores láser tienen un mejor rendimiento con fibra monomodo.

La figura muestra el principio general de emisión de luz láser sobre fibra. El chip de diodo láser emite luz en una dirección para ser enfocado por lentes sobre la fibra y en la otra dirección sobre un fotodiodo. El fotodiodo, el cual es angulado para reducir reflexiones hacia atrás en la cavidad láser, provee una forma de

monitoreo a la salida del láser y entrega una realimentación para la realización de ajustes.

Figura 19. Principio de emisión de luz sobre fibra

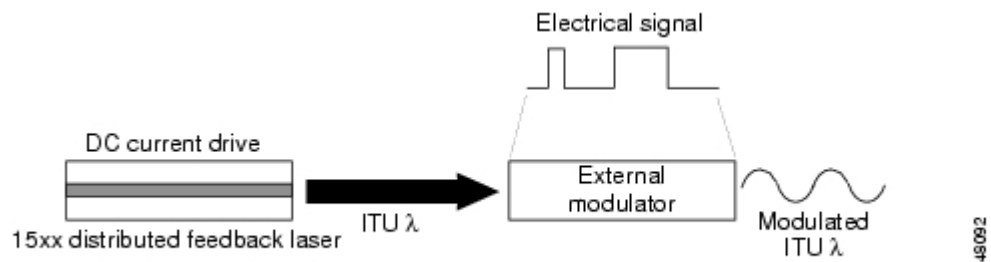


Fuente: http://www.cisco.com/universicd/cc/td/doc/product/mels/cm1500/dwdm/dwdm_ovr.htm

Se requiere de un láser una longitud de onda precisa, una emisión angosta de espectro ancho, suficiente potencia, y control de chirp (cambios en frecuencia de una señal en el tiempo). Los láseres semiconductores cumplen con los tres primeros requisitos. El chirp, sin embargo, puede ser afectado por el medio usado para modular la señal.

En láseres directamente modulados, la modulación de luz para representar los datos digitales es realizada internamente. Con modulación externa, la modulación es realizada por un dispositivo externo. Cuando los láseres semiconductores son directamente modulados, el chirp llega a ser un factor limitante en altas tasas de bits (alrededor de 10 Gbps). Modulación externa, de otro lado, ayuda a limitar el chirp. El esquema de modulación externa es descrito en la figura.

Figura 20. Modulación de la luz por semiconductores



Fuente: http://www.cisco.com/universicd/cc/td/doc/product/mels/cm1500/dwdm/dwdm_ovr.htm

Dos tipos de láseres semiconductores son ampliamente usados, láseres monolíticos Fabry-perot, y láseres de realimentación distribuida (DFB). El último tipo es particularmente eficiente para aplicaciones DWDM, debido a que emite una luz cercanamente monocromática, tiene capacidad de altas velocidades, tiene una favorable relación señal ruido, y una linealidad superior. Láseres DFB también tienen frecuencias centrales en la región alrededor de los 1310 nm, y desde los 1520 a 1565 nm. El último rango de longitud de onda es compatible con EDFAs. Hay algunos otros tipos y subtipos de láseres. Láseres de un estrecho espectro sintonizables están disponibles, pero su rango de sintonía está limitado a aproximadamente 100-200 GHz. Bajo desarrollo están los láseres de espectro ancho, el cual será importante en redes ópticas conmutadas dinámicamente.

2.4.5. La grilla de frecuencias ITU. Recientes desarrollos de láseres DFB están disponibles en longitudes de onda precisamente seleccionadas. El estándar de la ITU G.692 define una grilla de frecuencias para sistemas WDM punto a punto basados en espaciamientos de 100 GHz de longitud de onda con una longitud de onda central de 1553.52 nm.

Tabla 2. Grilla de frecuencias ITU

Frequency (THz)	Wavelength (nm)	Frequency (THz)	Wavelength (nm)	Frequency (THz)	Wavelength (nm)
196.1	1528.77	164.6	1540.56	193.1	1552.52
196.0	1529.55	194.5	1541.35	193.0	1553.33
195.9	1530.33	194.4	1542.14	192.9	1554.13
195.8	1531.12	194.3	1542.94	195.8	1554.94
195.7	1531.9	194.2	1543.73	192.7	1555.75
195.6	1532.68	194.1	1544.53	192.6	1556.56
195.5	1533.47	194.0	1545.32	195.5	1557.36
195.4	1534.25	193.9	1546.12	192.4	1558.17
195.3	1535.04	193.8	1546.92	192.3	1558.98
195.2	1535.82	193.7	1547.72	192.2	1559.79
195.1	1536.61	193.6	1548.51	192.1	1560.61
195.0	1537.40	193.5	1549.32	192.0	1561.42
194.9	1538.19	192.4	1550.12	191.9	1562.23
194.8	1538.98	193.3	1550.92	191.8	1563.05
194.7	1539.77	193.2	1551.72	191.7	1563.86

Fuente: http://www.cisco.com/universicd/cc/td/doc/product/mels/cm1500/dwdm/dwdm_ovr.htm

Mientras esta grilla define un estándar, los usuarios son libre de usar las longitudes de onda en formas arbitrarias y seleccionar cualquier parte del espectro. Adicionalmente, fabricantes puede aplicar desviaciones de la grilla por encima o por debajo, para espaciamiento de longitudes de onda más cercanos, típicamente en 50 Ghz, para doblar el número de canales. El acercar el espaciamiento, resulta en canales con crosstalk. Adicionalmente, se incrementa el impacto en algunas fibras no lineales, tales como FWM. El espaciamiento en 50 Ghz también limita la tasa máxima de transferencia de datos por longitud de onda a 10 Gbps. Las implicaciones de la flexibilidad en la implementación se duplica: esto no es garantía de compatibilidad entre dos sistemas terminales de diferentes proveedores, y existe un diseño individual de el espaciamiento de longitudes de onda entre número de canales y tasa máxima de bits.

2.4.6 Detectores de luz. En el Terminal de recepción, es necesario recuperar la señal transmitida en diferentes longitudes de onda sobre la fibra. Por esta razón

los fotodetectores son por naturaleza dispositivos de banda amplia, las señales ópticas son demultiplexadas antes de alcanzar el detector.

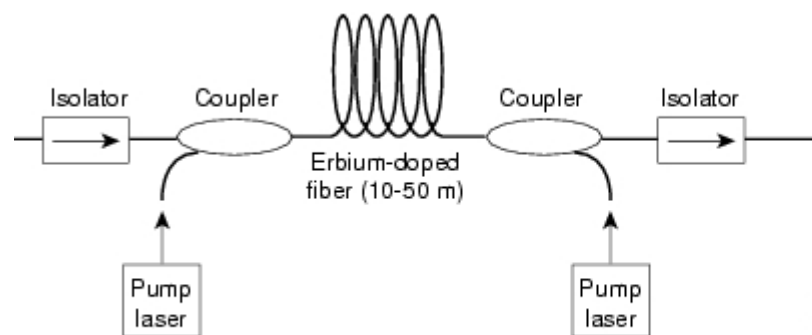
Dos tipos de fotodetectores son ampliamente desarrollados, el diodo positivo-intrínseco-negativo (PIN) y el fotodiodo de avalancha (APD). Fotodiodos PIN trabajan con principios similares a los LEDs pero de manera inversa. Esto es, la luz es absorbida más que emitida, y los fotones son convertidos a electrones en una relación 1:1. APDs son dispositivos similares a los fotodiodos PIN, pero proveen ganancia a través de un proceso de amplificación: un fotón actúa sobre el dispositivo liberando algunos electrones. Los fotodiodos PIN tienen algunas ventajas, incluyen bajo costo y eficiencia, pero los APDs tienen una alta sensibilidad en la recepción y precisión. Sin embargo, APDs son más costosos que los fotodiodos PIN, ellos pueden tener muy altos requerimientos de corriente, y también son sensibles a la temperatura.

2.4.7 Amplificadores ópticos. Debido a la atenuación, existen límites asociados a la longitud del segmento de fibra en los que se puede propagar una señal manteniendo su integridad antes de requerir regeneración. Antes de la llegada de los amplificadores ópticos existían los repetidores para mantener la señal. El amplificador óptico hizo posible amplificar todas las longitudes de onda en una sola vez y sin conversión óptica-eléctrica-óptica. De otro lado están siendo usados en enlaces ópticos, los amplificadores ópticos también pueden ser usados para bombear potencia a la señal después de la multiplexación o antes de la demultiplexación, ya que ambas pueden introducir pérdidas en el sistema.

2.4.8. Amplificador para fibra dopado de Erblio. Para hacer posible el transporte de grandes cargas que DWDM es capaz de transmitir sobre grandes distancias, El EDFA fue la clave para hacer posible esta tecnología. Al mismo tiempo, esto ha sido una fuerza conductora en el desarrollo de otros elementos de red y tecnologías.

El Erblio es una tierra rara que, cuando e excitado, emite luz alrededor de los 1.54 micrómetros- longitud de onda de bajas perdidas para fibras ópticas usadas en DWDM. La figura muestra un diagrama de un EDFA simplificado. Una débil señal ingresa a una fibra dopada con Erblio, en la que la luz en 980 nm ó 1480 nm es inyectado usando una bomba láser. La luz inyectada estimula los átomos de Erblio para liberar su energía almacenada como luz adicional de 1550 nm. Como este proceso continua dentro de la fibra, la señal crece fuertemente. La Emisión espontánea en el EDFA también se adiciona ruido a la señal, esto determina la figura de ruido del EDFA.

Figura 21. Sistema de fibra con dopado de Erblio



Fuente: http://www.cisco.com/universicd/cc/td/doc/product/mels/cm1500/dwdm/dwdm_ovr.htm

Los parámetros claves en el desempeño de amplificadores ópticos son ganancia, ganancia plana, nivel de ruido y potencia de salida. Los EDFAs típicamente tienen ganancias de 30 dB o más y una potencia de salida de +17 dB o más. Los parámetros objetivos cuando se selecciona un EDFA, sin embargo, son bajo ruido y ganancia plana. La ganancia debe ser plana porque todas las señales deben ser amplificadas uniformemente. Mientras la ganancia provista por tecnología EDFA es inherente a la longitud de onda, esto puede ser corregido con filtros de distribución de ganancia. Tales filtros son frecuentemente construidos en modernos EDFAs.

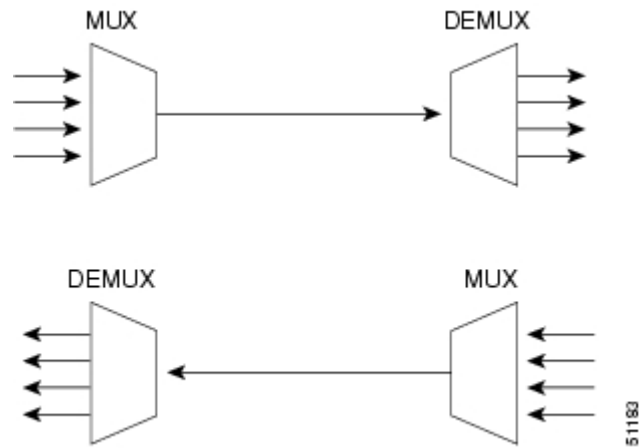
El bajo ruido es un requerimiento porque el ruido, sobre la señal, es amplificado. Por cuanto este efecto es acumulativo, y no puede ser filtrado, la relación señal ruido es en últimas un factor limitante en el número de amplificadores que pueden ser encadenados y, de igual forma, la longitud de un enlace de fibra. En la práctica, las señales pueden viajar hasta 120 km entre amplificadores. En distancias superiores de 600 a 1000 km la señal debe ser regenerada. Esto es porque el amplificador óptico únicamente amplifica la señal y no logra las funciones 3R (reformas, resincronizar y retransmitir). Los EDFAs están disponibles para la banda C y la banda L.

2.4.9. Multiplexores y demultiplexores. Debido a que los sistemas DWDM envían señales desde varias fuentes sobre una fibra, ellas deben incluir alguna forma para combinar las señales entrantes. Esto es realizado con un multiplexor, el cual toma las longitudes de onda ópticas desde las múltiples fibras y las converge en un solo haz. En el Terminal de recepción el sistema debe estar habilitado para extraer separadamente los componentes de la luz para que sean detectados discretamente. El rendimiento en los demultiplexores esta en función de separación de los componentes de longitud de onda del haz recibido y acoplarlos a fibras individuales.

La demultiplexación debe ser realizada antes de que la luz sea detectada, porque los fotodetectores son dispositivos con un ancho de banda asociado que no pueden detectar selectivamente una longitud de onda simple.

En un sistema unidireccional (ver figura), hay un multiplexor en el Terminal de envío y un demultiplexor en el Terminal de recepción. Dos sistemas serían requeridos en cada Terminal para comunicación bidireccional, y dos fibras separadas serían necesarias.

Figura 22. Sistemas unidireccionales



Fuente: http://www.cisco.com/universicd/cc/td/doc/product/mels/cm1500/dwdm/dwdm_ovr.htm

En un sistema bidireccional, existe un multiplexor/demultiplexor en cada extremo (ver figura) y la comunicación es sobre un simple par de fibras.

Figura 23. Sistema Bidireccional



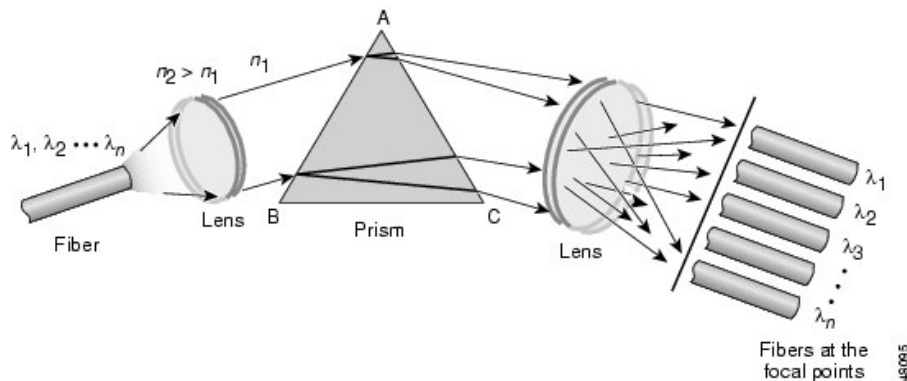
Fuente: http://www.cisco.com/universicd/cc/td/doc/product/mels/cm1500/dwdm/dwdm_ovr.htm

Multiplexores y demultiplexores puede ser de diseño pasivo o activo. El Diseño pasivo esta basado en prismas, o filtros, mientras los diseños activos combinan dispositivos pasivos con filtros sintonizables. Los retos primarios en estos dispositivos es minimizar el crosstalk y maximizar la separación del canal. El crosstalk es la medida de que tan efectiva es la separación entre canales,

mientras que la separación de canal se refiere a la efectividad al distinguir cada longitud de onda.

2.4.10 Técnicas de Multiplexación y Demultiplexación. Una forma simple de multiplexación y demultiplexación de luz puede ser realizada usando un prisma. La figura demuestra el caso de demultiplexación. Un haz paralelo de luz policromática incide en la superficie de un prisma; cada componente de longitud de onda es refractada de manera diferente. Este es el efecto “arco iris”. En la luz de salida, cada longitud de onda es separado de el siguiente por un ángulo. Un lente enfoca cada longitud de onda al punto donde este necesita ingresar a la fibra. Los mismos componentes pueden ser usados de manera inversa para multiplexar diferentes longitudes de onda sobre una fibra.

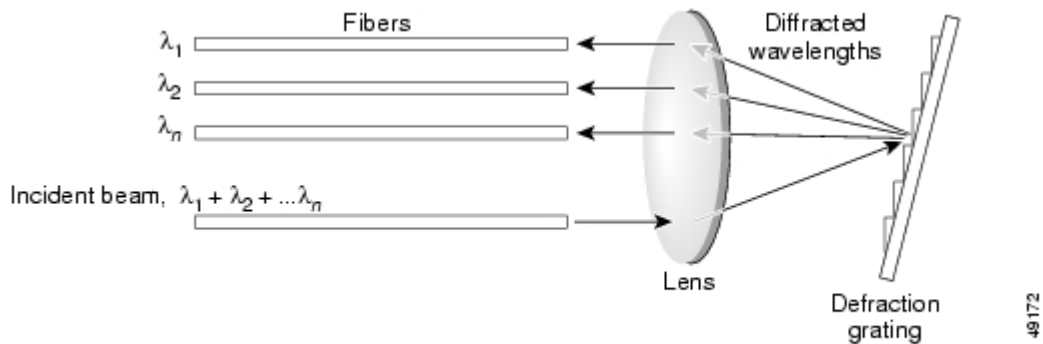
Figura 24. Sistema de multiplexado por prisma



Fuente: http://www.cisco.com/universicd/cc/td/doc/product/mels/cm1500/dwdm/dwdm_ovr.htm

Otra tecnología esta basada en los principios de difracción y de interferencia óptica. Cuando una fuente de luz policromática incide sobre una superficie difractante (ver figura), cada longitud de onda es difractada en un ángulo diferente y de igual forma a un punto diferente en el espacio. Usando un lente, esas longitudes de onda pueden ser enfocadas sobre fibras individuales.

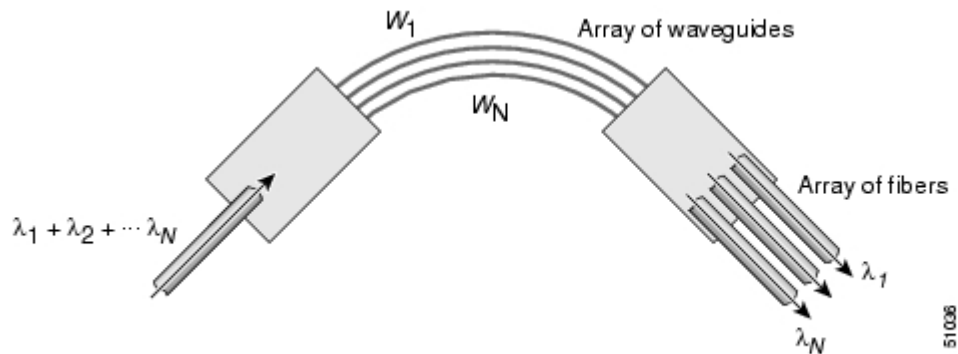
Figura 25. Sistema de multiplexación por superficie de difracción.



Fuente: http://www.cisco.com/universicd/cc/td/doc/product/mels/cm1500/dwdm/dwdm_ovr.htm

Arreglo de superficies guía de onda (por sus siglas en inglés AWG) están basadas también en principios de difracción. Un dispositivo AWG, algunas veces llamado enrutador óptico de guía de onda o enrutador de superficies de guía de onda, consiste de un arreglo de canales curvados de guía de onda con una diferencia fija en la longitud del camino entre canales adyacentes (ver figura). Las guías de onda son conectadas a cavidades en la entrada y la salida. Cuando la luz ingresa, es difractada y entra al arreglo de guía de onda. Existe una diferencia en la longitud óptica de cada guía de onda que introduce retardos en fase en la salida de la cavidad, donde un arreglo de fibras es acoplada. El proceso resulta en diferentes longitudes de onda teniendo un máximo de interferencia en diferentes lugares, el cual corresponde a los puertos de salida.

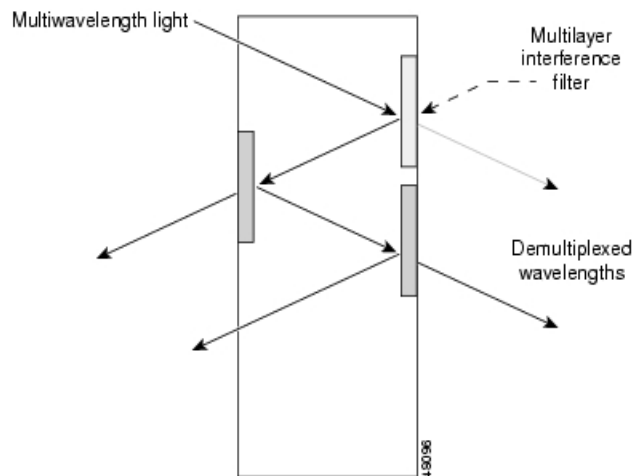
Figura 26. Arreglo de guías de onda ópticas



Fuente: http://www.cisco.com/universicd/cc/td/doc/product/mels/cm1500/dwdm/dwdm_ovr.htm

Una tecnología diferente usa filtros de interferencia en dispositivos llamados filtros de película delgada o filtros de interferencia multicapa. Por posicionamiento de los filtros, consistente de películas delgadas, en el camino óptico, las longitudes de onda pueden ser clasificadas o demultiplexadas. La propiedad de cada filtro es que transmite una longitud de onda mientras refleja los otros. Por encadenamiento de estos dispositivos, algunas longitudes de onda pueden ser demultiplexadas.

Figura 27. Sistema con filtros de interferencia



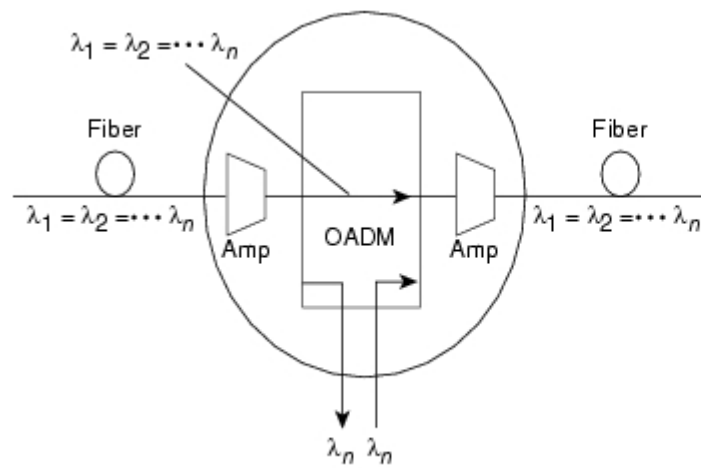
Fuente: http://www.cisco.com/universicd/cc/td/doc/product/mels/cm1500/dwdm/dwdm_ovr.htm

De estos diseños, el AWG y los filtros de interferencia de película delgada son de muy buena ganancia. Filtros que ofrecen buena estabilidad y aislamiento entre canales a un costo moderado, pero con altas pérdidas por inserción. AWGs dependen de la polarización (lo que puede ser compensado), y ellos exhiben una respuesta espectral plana y bajas pérdidas por inserción. Un inconveniente es que son sensibles a la temperatura, de tal manera que no pueden operar en todos los ambientes. Su ventaja es que ellos pueden ser diseñados para operaciones de multiplexación y demultiplexación simultánea. Los AWGs son eficientes con grandes números de canales, donde el uso de filtros de película delgada resultan imprácticos.

2.4.11. Multiplexores ópticos Add/Drop. Entre los puntos de multiplexación y demultiplexación en un sistema DWDM, como el que se muestra en la figura, existe un área donde hay presencia de múltiples longitudes de onda. Esto es con frecuencia deseable para que sea posible la remoción o adición de una o más longitudes de onda en algún punto a lo largo de este segmento. Un multiplexor add/drop (suma/resta) OADM realiza esta función. Más allá de la combinación o separación de todas las longitudes de onda, El OADM puede remover alguna mientras los otros siguen. Los OADMs son una parte clave para alcanzar los objetivos de todas las redes ópticas.

Los OADMs son similares a algunos ADM SDH, excepto que solo longitudes de onda ópticas son sumadas o restadas, y no da lugar a conversiones óptico eléctricas. La figura es la representación del proceso del proceso de adición y retiro (add/drop). Este ejemplo incluye la amplificación previa y posterior; los componentes que son y los que no son presentados en un OADM, dependen sobre todo del diseño.

Figura 28. Sistema OADM



Fuente: http://www.cisco.com/universicd/cc/td/doc/product/mels/cm1500/dwdm/dwdm_ovr.htm

Existen dos tipos generales de OADMs. La primera generación es un dispositivo fijado que está físicamente configurado para sustraer longitudes de onda específicas de manera predeterminada mientras se adicionan otras. La segunda generación es reconfigurable y capaz de seleccionar dinámicamente cada longitud de onda que es sumada y sustraída.

Filtros de película delgada tienen su aparición como una tecnología apropiada para los OADMs en sistemas DWDM metropolitanos porque son de bajo costo y estabilidad. Para la segunda generación de OADMs, otras tecnologías, tales como superficies de fibra sintonizable y circuladores, llegan a ser sobresalientes.

2.4.12. Interfaces para DWDM. Más sistemas DWDM soportan estándares SDH o Sonet con interfaces ópticas de corto alcance a los que un dispositivo cliente puede ser conectado. Hoy en día existen sistemas WDM de gran transporte, esto es frecuente para interfaces OC-48 ó STM-16 operando en una longitud de onda de 1310 nm. Adicionalmente, otras interfaces importantes para cobertura metropolitana y redes de acceso son comúnmente soportadas: Ethernet

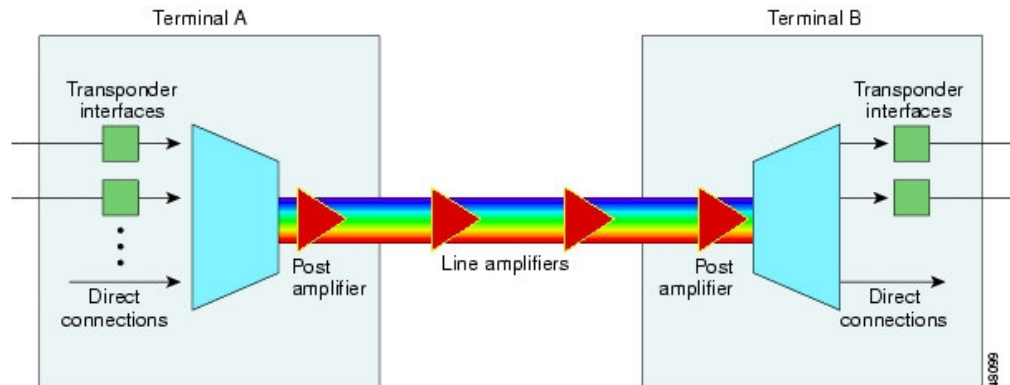
Incluyendo fase ethernet y Gigabit Ethernet), ESCON y Fiber channel. El nuevo estándar 10 Gigabit Ethernet es soportado usando una interface de muy corto alcance entre el equipo DWDM y el de 10 GbE.

En el lado cliente existen terminales SDH o ADM, conmutadores ATM, o enrutadores. Por conversión en la entrada de las señales ópticas en las longitudes de onda descritas por la ITU que van a ser multiplexadas, los transponders son un determinante clave de la apertura de los sistemas DWDM.

Dentro del sistema DWDM un transponder convierte la señal optica del cliente a una señal que desempeñe las funciones 3R (ver figura). Esta señal electrica es usada para manejar el laser DWDM. Cada transponder dentro del sistema convierte su señal de cliente a una longitud de onda diferente. Las longitudes de onda de los transponders en el sistema son opticamente multiplexados. En un sistema de recepción DWDM, sucede el proceso contrario. Longitudes de onda individuales son filtradas desde la fibra multiplexada y alimenta a un transponder individual, el cual convierte la señal a eléctrica y conduce una interfaz estándar hasta el cliente.

Futuros diseños incluyen interfaces pasivas, la cuales aceptan las interfaces ópticas ITU directamente desde un conmutador conectado o router.

Figura 29. Operación extremo a extremo del sistema DWDM



Fuente: http://www.cisco.com/universicd/cc/td/doc/product/mels/cm1500/dwdm/dwdm_ovr.htm

Los siguientes pasos describen el sistema mostrado:

1. El transponder acepta una entrada en la forma de un láser monomodo o multimodo estándar. La entrada puede llegar de un medio físico diferente y diferentes protocolos y tipos de tráfico.
2. La longitud de onda de cada señal de entrada es mapeado a una longitud de onda DWDM.
3. las longitudes de onda DWDM del transponder son multiplexados en una señal óptica individual y transportada sobre la fibra. El sistema podrá también incluir la posibilidad de aceptar directamente señales ópticas a el multiplexor, tales señales pueden llegar, por ejemplo, desde un nodo satelital.
4. Un amplificador posterior entrega la potencia a la señal óptica con la que saldrá.
5. Amplificadores ópticos son usados a lo largo de la fibra si es necesario.
6. Un preamplificador bombea la señal antes que ingrese al Terminal del sistema.
7. La señal de entrada es demultiplexada en lambdas individuales DWDM.
8. Los lambdas individuales son mapeados para los requerimientos del tipo de salida (por ejemplo STM-16 fibra monomodo) y se envía fuera del transponder.

3. NGN.- REDES DE PRÓXIMA GENERACIÓN³

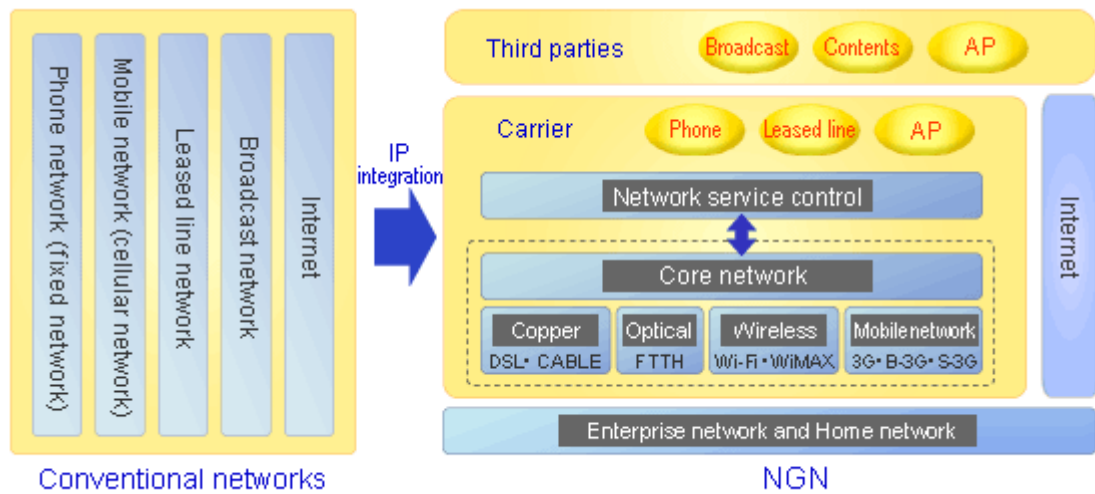
Es un término que describe la evolución en backbones de telecomunicaciones y redes de acceso que serán desarrollados en los próximos 5 a 10 años. La idea general de NGN es que una única red transporte toda la información y servicios (voz, datos y toda clase de medios como video) por encapsulado de paquetes, como se hace en Internet. Redes de Próxima Generación son comúnmente construidas con el Protocolo de Internet, de igual forma se utiliza el termino “todo IP” para señalar esta transformación hacia redes de Próxima Generación.

3.1 DEFINICIÓN SEGÚN LA ITU

Una Red de Próxima Generación es una red basada en paquetes capaz de proveer servicios incluyendo servicios de telecomunicación y capaz de hacer uso de múltiples enlaces de banda ancha, QoS-tecnologías de transporte con capacidad de hacer calidad de servicio y en las cuales las funciones asociadas al servicio son independientes de la tecnología de transporte. Esto ofrece acceso sin restricciones para usuarios de diferentes proveedores de servicio. También soporta movilidad generalizada encaminada a lograr ubicuidad en la provisión a los servicios de los usuarios.

³ http://en.wikipedia.org/wiki/Next_Generation_Networking

Figura 30. Comparación entre redes tradicionales y NGN



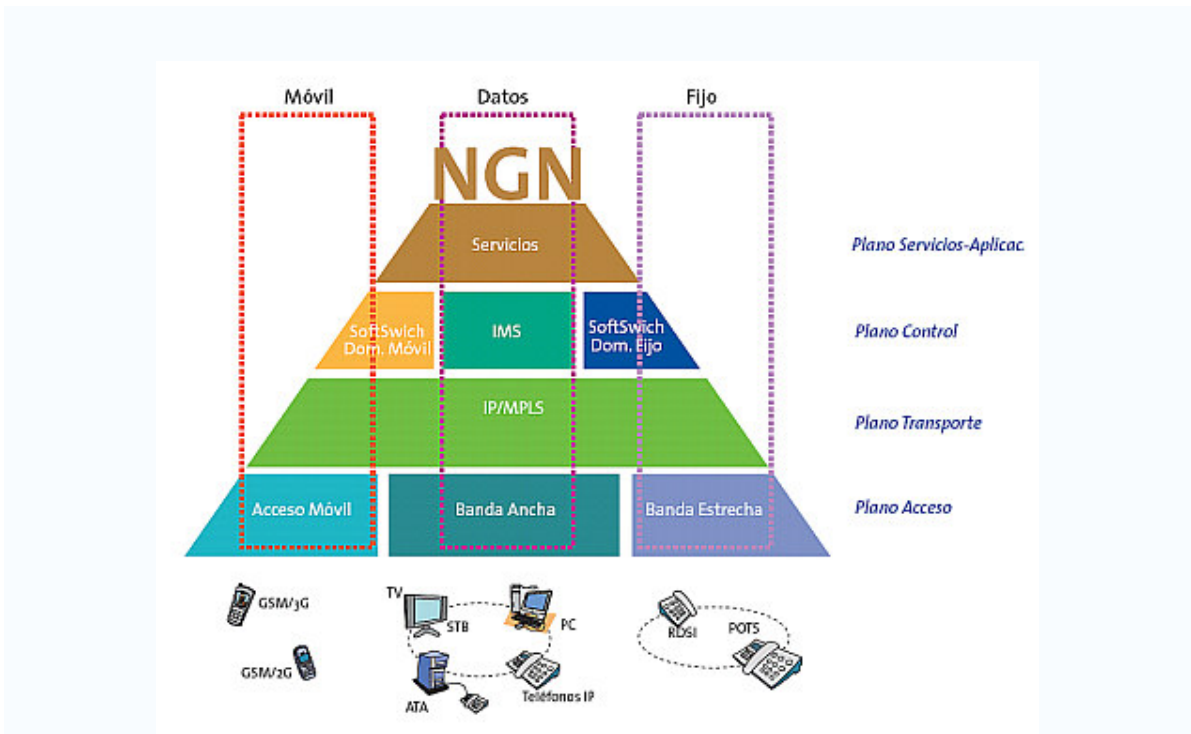
Fuente: http://www.oki.com/en/NGN/images/zu_ngn_vs_traditional.gif

Desde una perspectiva práctica, NGN involucra tres cambios principales en la arquitectura que deben ser asegurados por separado:

- En el backbone de red, NGN implica una consolidación de varios de varias redes de transporte en las que cada una se ha construido para un diferente servicio en un backbone de transporte (con frecuencia basada sobre IP e Ethernet). Esto implica entre otras la migración de voz de una arquitectura conmutada PSTN a VoIP,. Y también migración o servicios tradicionales tales como X.25, Frame Relay (cualquier migración comercial del cliente a un servicio como IP VPN, o emigración técnica por emulación de “servicios tradicionales” sobre la NGN)
- En las redes de acceso alámbricas, NGN implica la migración desde la “dual” voz tradicional hacia una implementación xDSL en una central local a una implementación de convergencia en la que los DSLAMs integran puertos de voz o Vo IP, logrando retirar de las centrales la infraestructura de conmutación de voz.

- En las redes de acceso por cable, la convergencia NGN implica migración de transferencia de bits de voz en una tasa constante a Cable paquetes estandarizados para proveer VoIP y servicios SIP. Ambos servicios van sobre DOCSIS como el estándar de la capa de datos sobre cable.

Figura 31. Estructura de NGN



Fuente: <http://sociedaddelainformacion.telefonica.es/img/elementos/articulos/upload/100-img01.jpg>

En una NGN esta más definida la separación entre la porción de transporte (conectividad) y los servicios que corren en la parte alta de ese transporte. Esto significa que siempre que un proveedor desea habilitar un nuevo servicio, ellos pueden hacerlo mediante la definición en la capa de servicio sin considerar la capa de transporte, por ejemplo servicios que son independientes de los aspectos de transporte. El incremento de las aplicaciones, incluyendo voz, tiende a ser independiente de la red de acceso (separación de capas de red y aplicaciones) y

estarán más orientados a los equipos terminales de usuario. (PC, phone, Set-top-box).

3.2. COMPONENTES TECNOLOGICOS ESENCIALES

Las Redes de próxima Generación están basadas en las tecnologías de Internet incluyendo el Protocolo de Internet (IP) y el Multiprotocolo para conmutación de etiquetas (MPLS). En el nivel de aplicación, Protocolo de Inicio de Sesión (SIP) que parece superar al ITU-T H.323.

Inicialmente H.323 fue el protocolo más popular, decreció en su popularidad en el “bucle local” debido a su pobre capacidad de pasar a través de NATs y firewalls. Por esta razón los servicios de VoIP han sido desarrollados como domésticos, SIP ha sido más ampliamente adoptado. Sin embargo, en redes de voz donde todo esta bajo control de el operador de red o telco, algunos de los más grandes carriers usan H.323 como el protocolo escogido para su backbone. Entonces realmente SIP es una herramienta usual para el “bucle local” y H.323 es usado en el “backbone de fibra”. Con los cambios más recientes introducidos para H.323, es posible para los dispositivos H.323 pasar a través de NATs y firewalls, lo que permite que se abran más sus posibilidades y retorne su favorabilidad. Sin embargo, más telcos investigan y apoyan IMS, lo cual dá a SIP una gran oportunidad de llegar a ser el protocolo más ampliamente usado.

Para aplicaciones de voz uno de los dispositivos más importantes en NGN es un softswitch que es un dispositivo programable que controla las llamadas de voz sobre IP (VoIP). Este equipo permite una correcta integración entre diferentes protocolos dentro de NGN. La función más importante de el softswitch es convertirse en la interfase para la red de telefonía existente, PSTN, a través de Gateways de señalización (SG) y Media Gateways (MG). Sin embargo, el softswitch como término puede definirse de diferentes formas por los diferentes fabricantes de equipos a los que les adicionan diferentes funciones.

Es común encontrar el termino gatekeeper cuando se habla de NGN. Este fue originalmente un dispositivo VoIP, que convierte (usando gateways) voz y datos de su forma análogo o digital de un circuito conmutado (PSTN;SS7) a uno basado en paquetes (IP). Este controlaba uno o más gateways. Tan pronto como esta clase de dispositivos empezó usado el protocolo Media gateway Control protocol (MGCP), su nombre cambió a media Gateway Controller (MGC).

Un Call Agent es el nombre general para los sistemas de control de llamadas.

El IMS-Subsistema Multimedia IP es una arquitectura estandarizada NGN para un Internet con capacidades de servicios multimediales definido por el Instituto de Estándares Europeos de telecomunicaciones ETSI y el proyecto de asocio de 3ª Generación 3GPP.

3.3 APLICACIONES

En el Reino Unido otro acrónimo popular fue introducido por BT- British Telecom como 21CN-Redes de Siglo 21, algunas veces citado erróneamente como C21N) y corresponde a otro termino suelto para NGN que denota la iniciativa de BT para desarrollar y operar switches NGN y redes en el periodo 2006-2008 (el objetivo de BT para 2008 es tener solo switches totalmente IP para el 2008 en su red).

La primera compañía en implantar una NGN fue THUS plc quienes iniciaron su desarrollo antes de 1999. THUS NGN esta compuesto de 10600 km de cable de fibra óptica con más de 190 puntos de presencia a través del reino unido. El backbone de la red óptica usa DWDM, tecnología que provee escalabilidad a algunos cientos de Gigabits por segundo de ancho de banda, en proporción al crecimiento de la demanda. En la parte superior el backbone de THUS usa tecnología MPLS para desarrollar el más alto desempeño. IP/MPLS-servicios basados en el transporte de voz, video y tráfico de datos a través de infraestructura de convergencia, potencializan a las organizaciones para lograr

reducciones en costo de infraestructura, así como también fiabilidad y funcionalidad. El tráfico puede ser priorizado con Clases de Servicio, acoplado con Acuerdos de Nivel de Servicio (SLAs) que apuntan a garantizar calidad de servicio. La NGN de THUS cuenta con siete clases de servicio, cuatro de las cuales se ofrecen para VPNs IP sobre MPLS.

En Holanda, KPN esta desarrollando una NGN en un programa de transformación de red llamado Todo-IP—este es otro termino suelto para NGN que se esta usando. Redes de próxima generación también extiende el dominio de su mensaje y en Irlanda, Openmind networks ha diseñado, construido y desarrollado control de trafico para manipular la demanda y requerimientos de todas las redes IP.

En Bulgaria, la Compañía Bulgara de Telecomunicaciones BTC ha implementado la NGN como una red esencial de sus servicios de telecomunicaciones sobre un gran proyecto en el 2004. La flexibilidad y escalabilidad inherentes del nuevo backbone de red resultado en un crecimiento sin precedentes de los servicios clasicos desarrollados como POTS e ISDN, CENTREX, ADSL y VPN como también la implementación de grandes anchos de banda para los servicios VPN metro ethernet, trafico nacional y aplicaciones WebTV/IPTV.

4. PROYECTO MODELO⁴

El proyecto Modelo es una red que cubre las principales ciudades del Ecuador, país al que debe su nombre de PROYECTO ECUADOR, y cuyo objetivo es proveer a los diferentes operadores de la capacidad necesaria para suplir sus necesidades de transporte para la mejor cobertura de servicios de telecomunicaciones.

EMETEL era el principal proveedor de telecomunicaciones del Ecuador, empresa estatal segmentada en dos compañías Andinatel y Pacifictel, la parte costera pertenece a Pacifictel y la sierra a Andinatel, la red de telefonía fija de mejor cobertura en el país fue dividida en dos redes.

En los servicios móviles hacen presencia las compañías PORTA, MOVISTAR y la recientemente creada Allegro.

Andinatel cuenta con una red de transmisión sobre fibra óptica que interconecta las ciudades de la sierra (Quito, Santo Domingo, Ambato, Quevedo, Cuenca) y Pacifictel (Guayaquil, Milagro, Machala). Porta recientemente construyó su fibra entre Quito y Guayaquil. Movistar cuenta con enlaces de radio entre Quito y Guayaquil. La cobertura al resto del País se realiza mediante enlaces de radio. Todos estos enlaces de SDH sobre radio corresponden a STM-1's y los enlaces de fibra hasta STM-16 (2,5 Gbps). Telecsa usa la transmisión de Andinatel y Pacifictel en razón a que también es una empresa de inversión pública.

La apertura del mercado promovió la aparición de no menos de 10 operadores, los que con dificultades en su inversión apenas cubren pequeñas zonas urbanas con servicios de Internet y telefonía.

⁴ PROYECTO ECUADOR, Orbiscorp S.A., División Orbiscorp Services. Departamento de Ingeniería.

Los multiplexores DWDM utilizados son el Optix OSN7500 de Huawei que permite los siguientes accesos por tipo de servicio:

Tabla 3. Puertos de acceso por chasis

Tipo de Servicio	Max. puertos de acceso por chasis
STM-64 standard or concatenated service	18
STM-64 (FEC) service	18
STM-16 standard or concatenated service	80
STM-16 (FEC) service	18
STM-4 standard or concatenated service	88
STM-1 standard service	280
STM-1 (electrical) service	64
E4 service	16
E3/DS3 service	24
E1/T1 service	252
Fast Ethernet (FE) service	168
Gigabit Ethernet (GE) service	44
STM-1 ATM service	88
STM-4 ATM service	22
ESCON/FC50 service	88
FICON/FC100 service	44
FC200 service	22
DVB-ASI service	88

Fuente: OptiX OSN 7500 Intelligent Optical Switching System Technical Manual

En el caso particular de la solución se utilizan sólo 2 Lambdas de los 40 posibles. A pesar de que cada lambda puede portar capacidades menores, el diseño inicial incorpora dos lambdas de 10 Gbps, uno para servicios sobre SDH y el segundo para servicios IP.

A nivel de amplificadores ópticos, se diseñó para transmisión y recepción bajo parámetros de distancias para cálculo de atenuación y características de propagación sobre fibra óptica ITU-T G.652. Los segmentos ópticos incluyen preamplificadores, amplificadores, atenuadores, regeneradores acordes a las

necesidades de distancia y bajo parámetros del ancho de banda utilizado. En el diagrama se detalla el equipamiento óptico utilizado y las distancias entre nodos.

El primer lambda utilizado para SDH corresponde a un STM-64 y se transporta tráfico originado en el mismo cliente e ingresado por interfaces estándar del OSN7500 o por la adición de equipos terminales (ADM) para su manejo como tributarios en los nodos de cada ciudad.

Sobre los 10Gbps utilizados para IP se envía el tráfico de switches de enrutamiento marca CISCO de la serie Catalyst 6506 utilizados para conmutar el tráfico del cliente recibido por sus distintas interfaces.

El chasis del Catalyst 6506 soporta hardware y software Supervisor 720 (referencia del fabricante) que es capaz de procesar 48 mega-paquetes por segundo equivalentes a 720 gigabits por segundo de tráfico simultáneo, soporta también IPv6 y MPLS.

Los switch router Catalyst 6500 soportan las siguiente interfaces:

- Tarjeta de 8 puertos GBIC-basado en módulo gigabit ethernet.
- Tarjeta de voz de 8 puertos E1/T1 y modulo de servicios.
- Modulo de ATM OC-12 lan Emulation.
- Módulo de 48 puertos fast Ethernet 10/100 Mbps RJ45 y RJ21.
- Módulo de 24 puertos fase ethernet 100 baseFX (multimodo y monomodo)
- Tarjeta de 16puertos 10/100/1000 Mbps con interface RJ45.
- Módulo supervisor Engine con uplink 10 GE

El protocolo MPLS se caracteriza por un manejo inteligente del tráfico, la presencia de este protocolo entrega la posibilidad a los operadores de disponer en su backbone del soporte necesario para la implementación de redes NGN

mediante la adaptación de sus equipos terminales, que resulta en la prestación eficiente de servicios de voz, datos y video sobre IP.

En los anexos se presenta el diseño de red con todas las configuraciones realizadas en cada nodo, de acuerdo a los servicios a implementar y los requerimientos ópticos de cada segmento.

CONCLUSIONES

Las tecnologías de transporte de hoy tienen sus retos en la capacidad de transporte y el volumen de información requerida por una infinidad de usuarios; no importa la edad ni la profesión del usuario, para cada uno de ellos existen servicios.

Algunas tecnologías hacen esfuerzos en su desarrollo para mantenerse vigentes, y es así como encontramos que los switches SDH, ATM ó IP tienen diversidad de interfaces y soportan diferentes tipos de tráfico; pero son los switches IP los que con su comparable bajo costo y mejoramiento orientado a las características de calidad en los servicios son los que encuentran un camino más despejado para liderar el mercado.

Hasta el momento infraestructura DWDM no es usada de manera individual por operador alguno, inicialmente están orientados a varios operadores, algunos ejemplos de ello son los cables submarinos del caribe que llevan el tráfico de los operadores latinoamericanos a Norte América, como también algunas redes europeas donde converge el tráfico entre países del viejo continente. Es una solución para que los operadores se incorporen a redes regionales y reduzcan costos en construcción y mantenimiento de infraestructura.

Las redes de próxima generación (NGN) se entienden como la universalización del transporte de información en formato de paquetes, es decir, que la infinidad de servicios que se prestan sobre Internet viajarán de manera transparente sobre la infraestructura de redes de cualquier operador, es decir que estas infraestructuras estarán basadas en IP.

El mercado de telecomunicaciones tiene como tendencia que cada vez existan un número menor de operadores, subsisten aquellos que prestan mayor número de servicios, que en paquetes o combos resultan en una reducción de precios al usuario. Operativamente hablando el mantener redes individuales por cada servicio resulta oneroso para el operador quien ve en sus costos más de una infraestructura por mantener, es aquí donde claramente se aprecia la necesidad de una única red de transporte capaz de soportar estos servicios y se hace urgente realizar una migración para hacerse más eficientes.

Pero cual es el mejor camino para la migración? Tecnológicamente se conjugan dos aspectos, el primero un crecimiento desmedido de ancho requerido, hecho que sugiere un backbone de gran capacidad, a lo cual el DWDM responde adecuadamente si se consideran interfaces que permiten incrementar $N \times 10$ Gbps. El segundo aspecto es la calidad en los servicios y entonces vamos a ver que los sistemas existentes de voz permanecerán por algún tiempo más, y para ello incorporamos a nuestro backbone dwdm las interfaces para SDH existente. Para los nuevos servicios que se incorporan sobre protocolo IP (que son todos excepto la voz tradicional) estarán integrados a nuestro backbone con interfaces de GbE ó 10 GbE, la calidad de estos servicios sobre IP van de la mano con las bondades de los switches IP con herramientas como MPLS.

BIBLIOGRAFIA

BURBANO, R. OCAMPO, J. ERICSSON, Ericsson de Colombia, SDH Conceptos Básicos, 10 de agosto de 1998 Rev B.

<http://www.mailxmail.com/curso/informatica/sdh/>

http://www.cisco.com/universicd/cc/td/doc/product/mels/cm1500/dwdm/dwdm_ovr.htm

http://en.wikipedia.org/wiki/Next_Generation_Networking

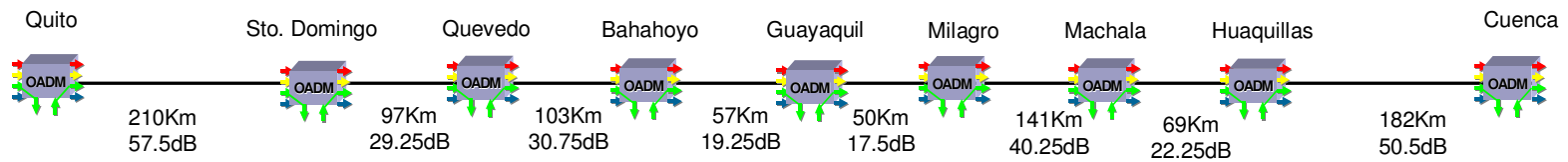
HUAWEI, OptiX OSN 7500 Intelligent Optical Switching System Technical Manual System Description OptiX OSN 7500 Intelligent Optical Switching System Technical Manual V100R001 Manual Version T2-040284-20050608-C-1.10 Product Version V100R001 2005

OTERO SALAZAR, Juan Manuel. Introducción a DWDM: Dense Wavelength Division Multiplexing (Multiplexación por división de densidad de longitud de onda). Monografía Universidad Industrial de Santander, 2004

PROYECTO ECUADOR, Orbiscorp S.A., División Orbiscorp Services. Departamento de Ingeniería. 2006.

ANEXOS

ANEXO A. ATENUACIÓN POR SEGMENTOS



Note:

Operating wavelength: 1550nm

Attenuation Index: 0.25dB/km (Including attenuation of fiber and splice)

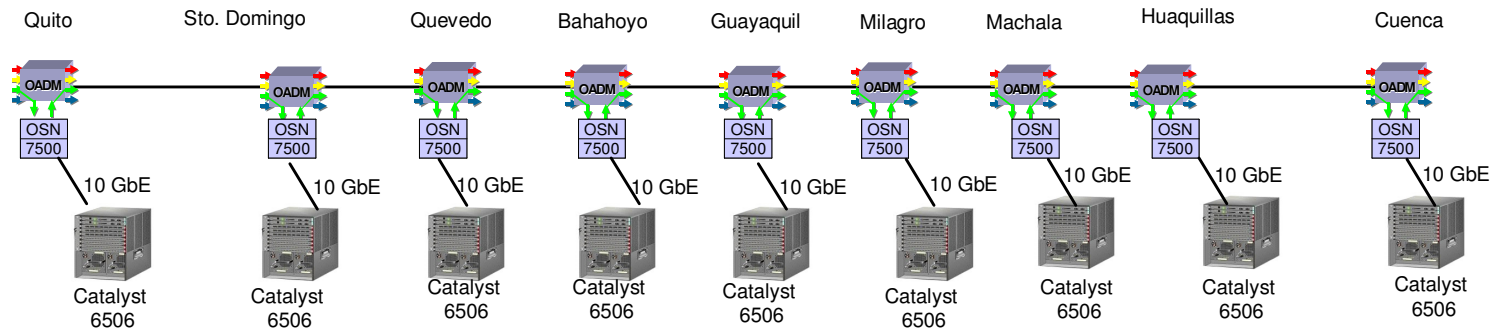
Maximum Loss per Connector: 0.5dB/connector

Fiber Margin: 4dB

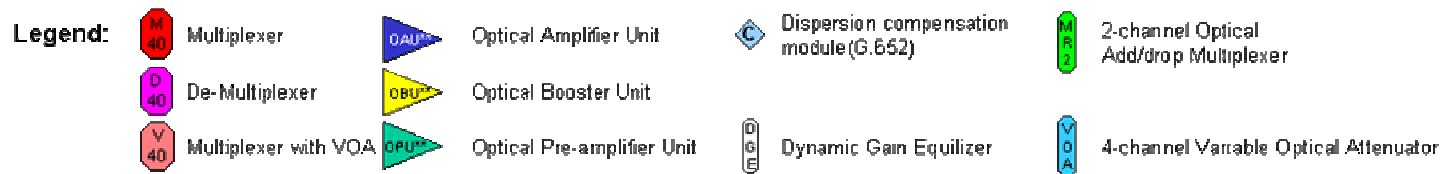
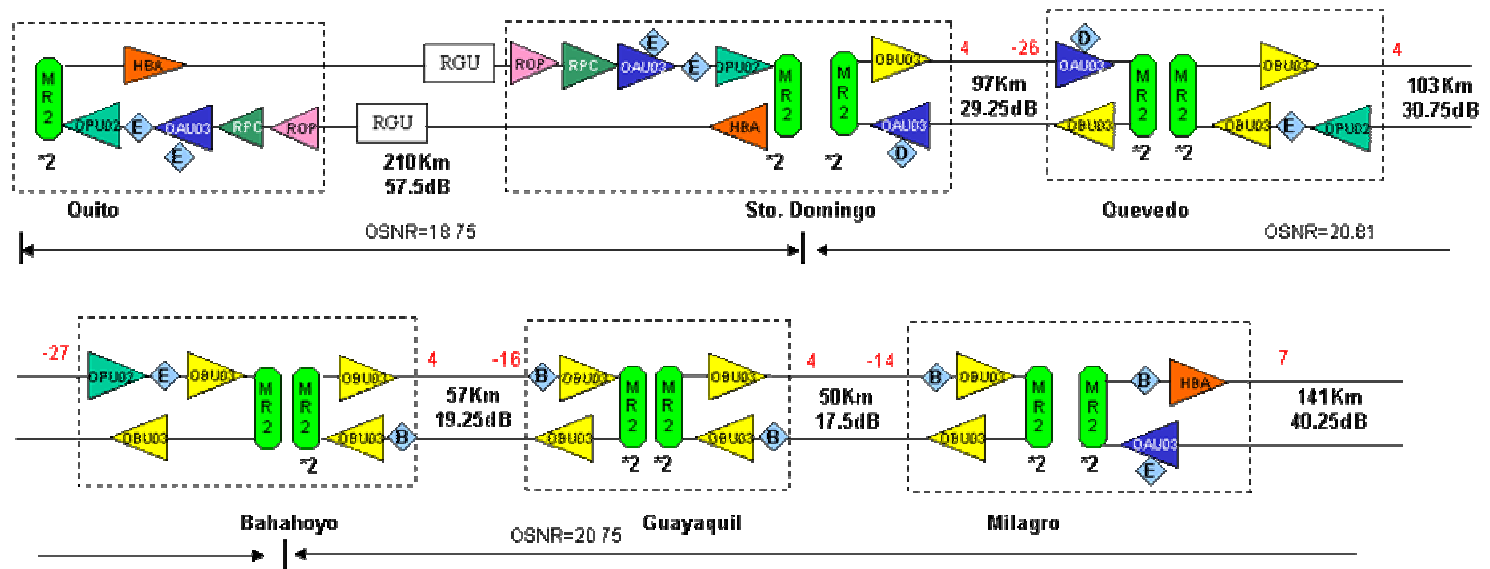
Middle Joint Connection Loss: 1dB/joint

Section Total Optical Fiber Losses = Distance (km) X Attenuation Index (dB/km) + Loss of Connector (0.5dB×2) + Middle Joint Connection Loss (1dB/joint X quantity of joint) + Fiber Margin (5dB)

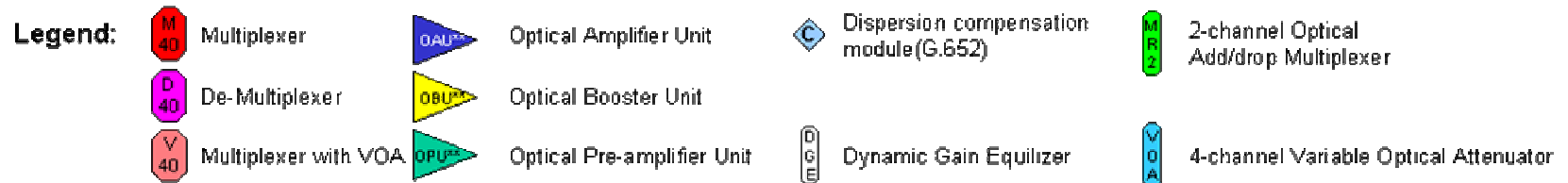
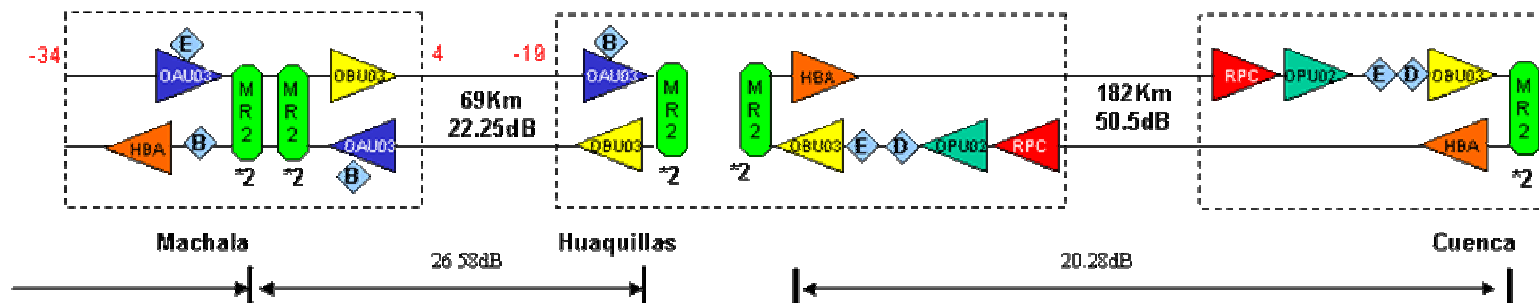
ANEXO B. AGREGACIÓN DE SWITCHES PARA MANEJO DEL TRAFICO IP



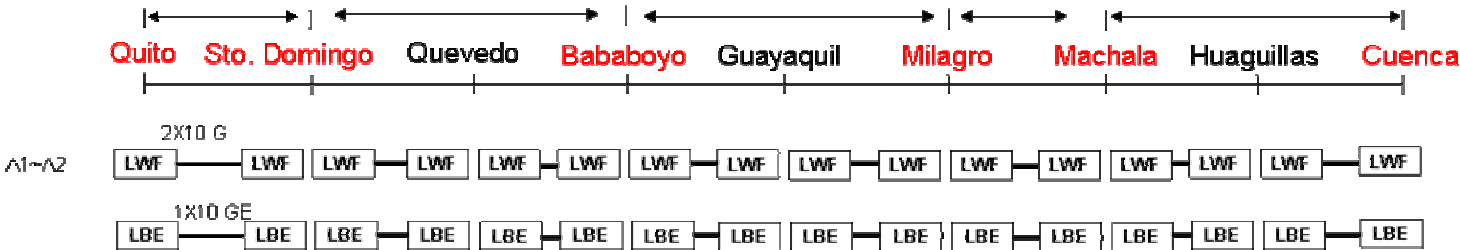
ANEXO C. DIAGRAMA DE CONFIGURACIÓN ÓPTICA -SEGMENTO QUITO- MILAGRO



ANEXO D. DIAGRAMA DE CONFIGURACIÓN ÓPTICA -SEGMENTO MILAGRO-CUENCA



ANEXO E. DISTRIBUCIÓN MÓDULOS DWDM

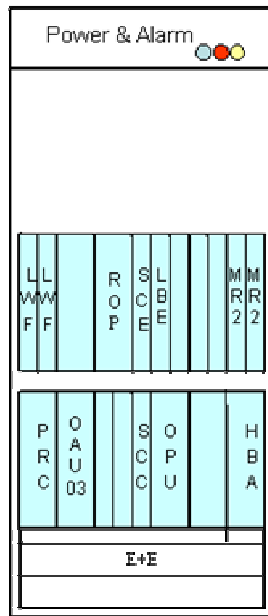


Legend:

—	2.5Gbit/s wavelength	LWF	STM-64 Transmit-receive Line Wavelength Conversion Unit
—	10Gbit/s wavelength	LBE	10GE Optical Wavelength Conversion Unit

ANEXO F. CONFIGURACIÓN DWDM- QUITO

Site: Quito



Notes:

Dimension of Rack (Height x Width x Depth)
2200mm x 600mm x 300mm

V40 — 40-channel Multiplexing Unit, C band Even With VOA
M40 — 40-channel Optical Multiplexer Board
D40 — 40-channel Optical De-multiplexer Board
MR2 — 2-channel Optical Add/drop Multiplexer

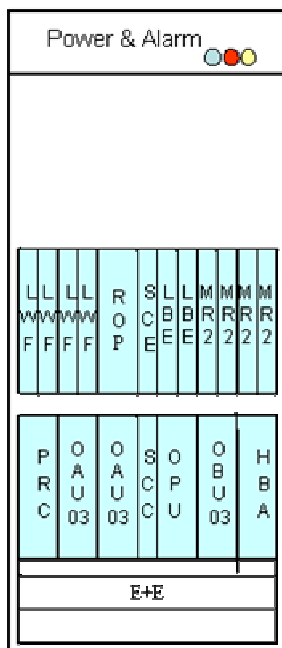
OAU** — Optical Amplifier Unit Board
OBU** — Optical Booster Unit Board

LWF — STM-64 Transmit-receive Line Wavelength Conversion Unit (FEC)
TMX — 4 x STM-16 MUX STM-64 Optical Wavelength Conversion Unit (AFEC)

SC1/2 — Single/dual Optical Supervision Channel Board
FIU — Supervising Channel Access Board
SCC — System Control & Communication Unit
SCC — System Control & Communication Unit and EOW Unit
DSE — Dispersion Slope Equilibrium Board
DGE — Dynamic Gain Equalizer Board
VOA — Optical Variable Attenuator Board

ANEXO H. CONFIGURACIÓN DWDM- SANTO DOMINGO

Site: Sto. Domingo



Notes:

Dimension of Rack (Height x Width x Depth)
2200mm x 600mm x 300mm

V40 — 40-channel Multiplexing Unit, C band Even with VOA
M40 — 40-channel Optical Multiplexer Board
D40 — 40-channel Optical De-multiplexer Board
MR2 — 2-channel Optical Add/drop Multiplexer

OAU** — Optical Amplifier Unit Board
OBU** — Optical Booster Unit Board

LWF — STM-64 Transmit-receive Line Wavelength Conversion Unit (FEC)

TMX — 4 x STM-16 MUX STM-64 Optical Wavelength Conversion Unit (AFEC)

SC1/2 — Single/dual Optical Supervision Channel Board

FIU — Supervising Channel Access Board

SCE — System Control & Communication Unit

SCC — System Control & Communication Unit and EOW Unit

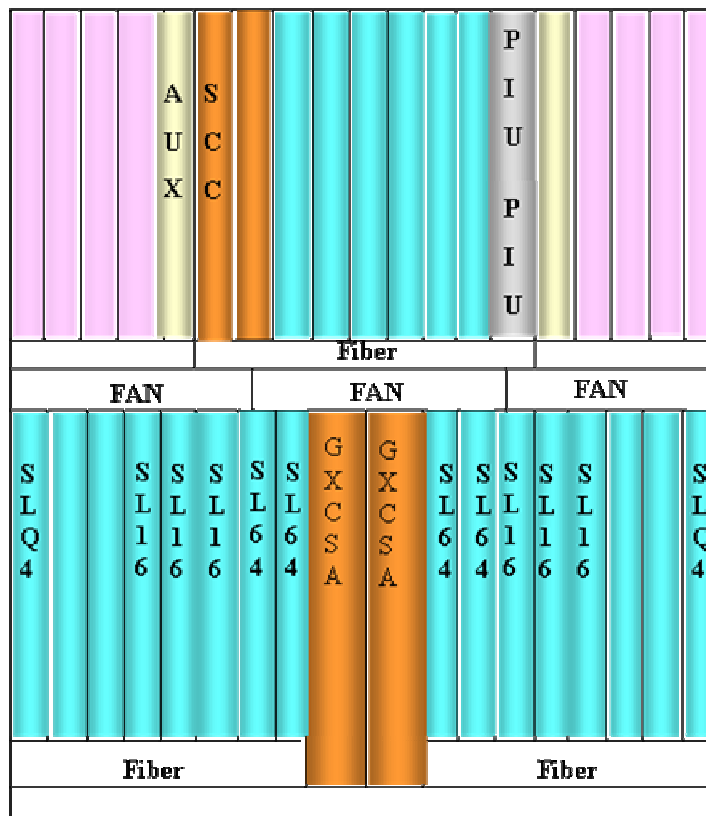
DSE — Dispersion Slope Equilibrium Board

DGE — Dynamic Gain Equalizer Board

VOA — Optical Variable Attenuator Board

ANEXO I. CONFIGURACIÓN INTERFACES DE ACCESO –SANTO DOMINGO

Site: Sto. Domingo



Product: OptiX OSN 7500

497mm(W)*295mm(D)*722mm(H)

PIU Power Supply Unit

AUX System Auxiliary Interface Board

SCC System Control and Communication Board

GXCSA General Cross-connect and Synchronous Timing Board
240G High-order, 20G Low-order

EXCSA Enhanced Cross-connect and Synchronous Timing Board
240G High-order, 40G Low-order

SL16 STM-16 Optical Interface Board

EGS2 2*GE Interface Board, Layer 2 Switch

SLT1 12*STM-1 Optical Interface Board

SEP1 8*STM-1 Processing Board

Totally Traffic requirement:

2 S642b optical STM-64 interfaces.

2 S16.1 optical STM-16 interfaces.

12 S1.1 optical STM-1 interfaces.

12 electrical STM-1 interfaces.

1 1000 Base-LX Gigabit interface.

504 E1 Interfaces, according to specifications.

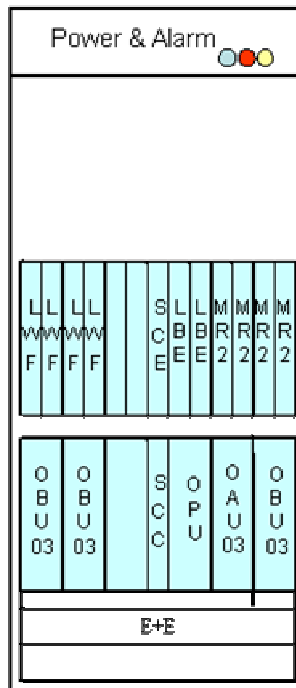
One network management board (Q interface).

One Layer 2 aggregation card Ethernet board with 10/100 Base T electrical interface.

Duplicated power sources.

ANEXO J. CONFIGURACIÓN DWDM- QUEVEDO

Site: Quevedo



Notes:

Dimension of Rack (Height x Width x Depth)
2200mm x 600mm x 300mm

V40 — 40-channel Multiplexing Unit, C band Even With VOA

M40 — 40-channel Optical Multiplexer Board

D40 — 40-channel Optical De-multiplexer Board

MR2 — 2-channel Optical Add/drop Multiplexer

OAU** — Optical Amplifier Unit Board

OBU** — Optical Booster Unit Board

LWF — STM-64 Transmit-receive Line Wavelength Conversion Unit (FEC)

TMX — 4 x STM-16 MUX STM-64 Optical Wavelength Conversion Unit (AFEC)

SC1/2 — Single/dual Optical Supervision Channel Board

FIU — Supervising Channel Access Board

SCE — System Control & Communication Unit

SCC — System Control & Communication Unit and EOW Unit

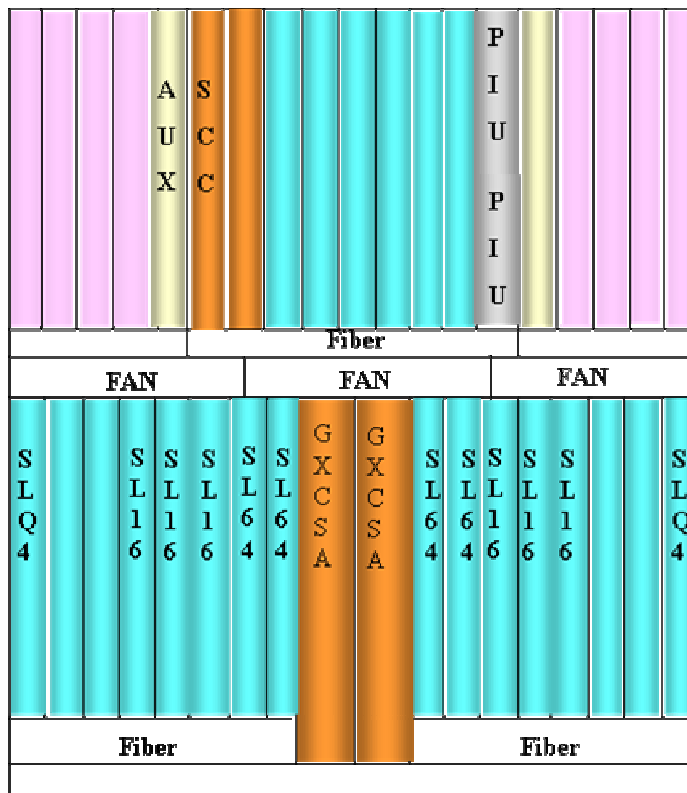
DSE — Dispersion Slope Equilibrium Board

DGE — Dynamic Gain Equalizer Board

VOA — Optical Variable Attenuator Board

ANEXO M. CONFIGURACIÓN INTERFACES DE ACCESO –BABAHOYO

Site: Bahahoyo



Product: OptiX OSN 7500

497mm(W)*295mm(D)*722mm(H)

PIU Power Supply Unit

AUX System Auxiliary Interface Board

SCC System Control and Communication Board

GXCSA General Cross-connect and Synchronous Timing Board
240G High-order, 20G Low-order

EXCSA Enhanced Cross-connect and Synchronous Timing Board
240G High-order, 40G Low-order

SL16 STM-16 Optical Interface Board

EGS2 2*GE Interface Board, Layer 2 Switch

SLT1 12*STM-1 Optical Interface Board

SEP1 8*STM-1 Processing Board

Totally Traffic requirement:

2 S642b optical STM-64 interfaces.

2 S16.1 optical STM-16 Interfaces.

12 S1.1 optical STM-1 interfaces.

12 electrical STM-1 interfaces.

1 1000 Base-LX Gigabit interface.

504 E1 Interfaces, according to specifications.

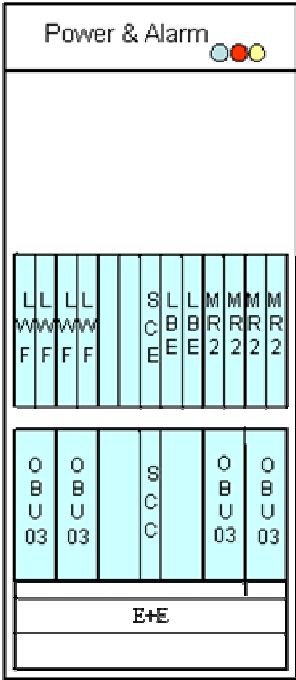
One network management board (Q interface).

One Layer 2 aggregation card Ethernet board with 10/100 Base T electrical interface.

Duplicated power sources.

ANEXO N. CONFIGURACIÓN DWDM- GUAYAQUIL

Site: Guayaquil



Notes:

Dimension of Rack (Height x Width x Depth)
 2200mm x 600mm x 300mm

- V40 — 40-channel Multiplexing Unit, C band Even With VOA
- M40 — 40-channel Optical Multiplexer Board
- D40 — 40-channel Optical De-multiplexer Board
- MR2 — 2-channel Optical Add/drop Multiplexer

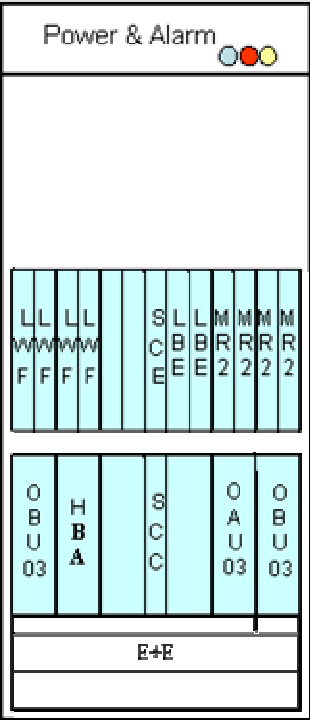
- OAU** — Optical Amplifier Unit Board
- OBU** — Optical Booster Unit Board

- LWF — STM-64 Transmit-recvle Line Wavelength Conversion Unit (FEC)
- TMX — 4 x STM-16 MUX STM-64 Optical Wavelength Conversion Unit (AFEC)

- SC1/2 — Single/dual Optical Supervision Channel Board
- FIU — Supervising Channel Access Board
- SCE — System Control & Communication Unit
- SCC — System Control & Communication Unit and EOW Unit
- DSE — Dispersion Slope Equilibrium Board
- DGE — Dynamic Gain Equalizer Board
- VOA — Optical Variable Attenuator Board

ANEXO P. CONFIGURACIÓN DWDM- MILAGRO

Site: Milagro



Notes:

Dimension of Rack (Height x Width x Depth)
2200mm x 600mm x 300mm

- V40 — 40-channel Multiplexing Unit, C band Even With VOA
- M40 — 40-channel Optical Multiplexer Board
- O40 — 40-channel Optical De-multiplexer Board
- MR2 — 2-channel Optical Add/drop Multiplexer

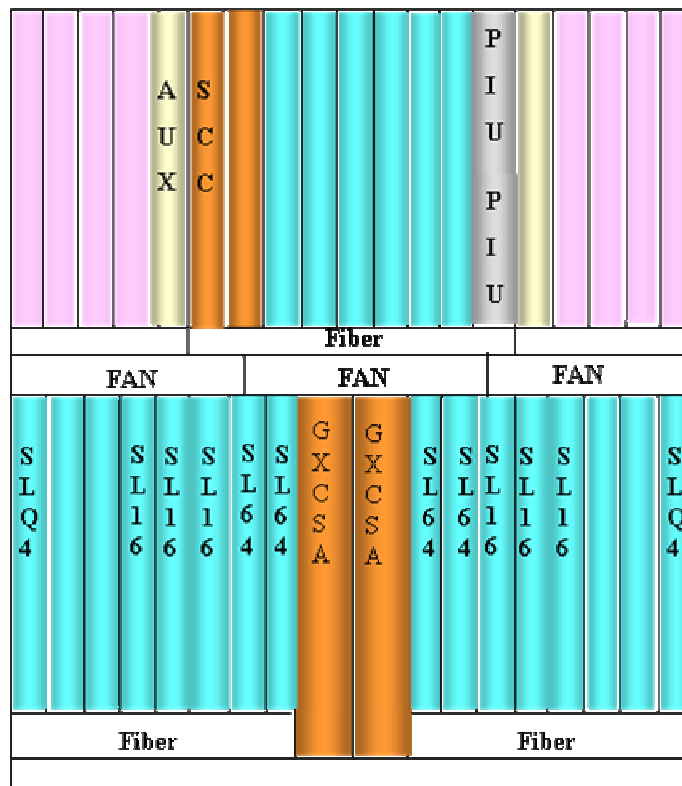
- OAU** — Optical Amplifier Unit Board
- OBU** — Optical Booster Unit Board

- LWF — STM-64 Transmit-recvie Line Wavelength Conversion Unit (FEC)
- TMX — 4 x STM-16 MUX STM-64 Optical Wavelength Conversion Unit (AFEC)

- SC1/2 — Single/dual Optical Supervision Channel Board
- FIU — Supervising Channel Access Board
- SCE — System Control & Communication Unit
- SCC — System Control & Communication Unit and EOW Unit
- DSE — Dispersion Slope Equilibrium Board
- DGE — Dynamic Gain Equalizer Board
- VOA — Optical Variable Attenuator Board

ANEXO Q. CONFIGURACIÓN INTERFACES DE ACCESO –MILAGRO

Site: Milagro



Product: OptiX OSN 7500

497mm(W)*295mm(D)*722mm(H)

PIU Power Supply Unit

AUX System Auxiliary Interface Board

SCC System Control and Communication Board

GXCSA General Cross-connect and Synchronous Timing Board
240G High-order, 20G Low-order

EXCSA Enhanced Cross-connect and Synchronous Timing Board
240G High-order, 40G Low-order

SL16 STM-16 Optical Interface Board

EGS2 2*GE Interface Board, Layer 2 Switch

SLT1 12*STM-1 Optical Interface Board

SEP1 8*STM-1 Processing Board

Totally Traffic requirement:

2 S642b optical STM-64 interfaces.

2 S16.1 optical STM-16 interfaces.

12 S1.1 optical STM-1 interfaces.

12 electrical STM-1 interfaces.

1 1000 Base-LX Gigabit interface.

504 E1 Interfaces, according to specifications.

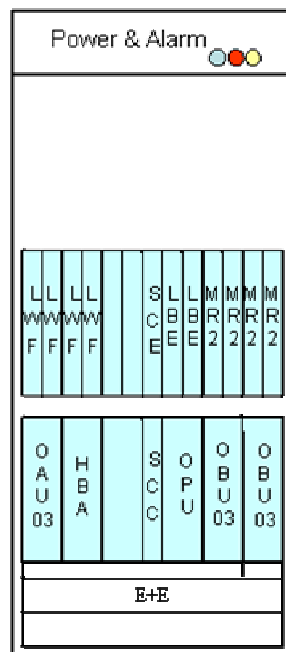
One network management board (Q interface).

One Layer 2 aggregation card Ethernet board with 10/100 Base T electrical interface.

Duplicated power sources.

ANEXO T. CONFIGURACIÓN DWDM- HUAQUILLAS

Site: Huaquillas



Notes:

Dimension of Rack (Height x Width x Depth)
2200mm x 600mm x 300mm

V40 — 40-channel Multiplexing Unit, C band Even With VOA
M40 — 40-channel Optical Multiplexer Board
D40 — 40-channel Optical De-multiplexer Board
MR2 — 2-channel Optical Add/drop Multiplexer

OAU** — Optical Amplifier Unit Board
OBU** — Optical Booster Unit Board

LWF — STM-64 Transmit-receive Line Wavelength Conversion Unit (FEC)

TMX — 4 x STM-16 MUX STM-64 Optical Wavelength Conversion Unit (AFEC)

SC1/2 — Single/dual Optical Supervision Channel Board

FIU — Supervising Channel Access Board

SCC — System Control & Communication Unit

SCC — System Control & Communication Unit and EOW Unit

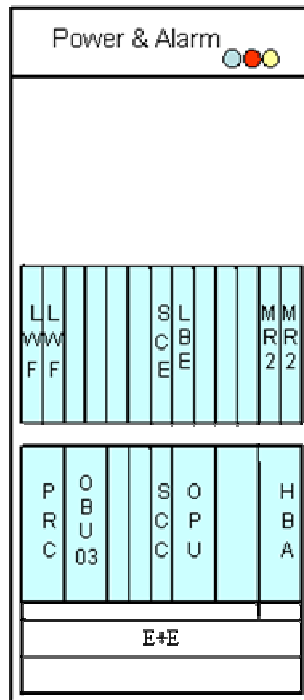
DSE — Dispersion Slope Equilibrium Board

DGE — Dynamic Gain Equalizer Board

VOA — Optical Variable Attenuator Board

ANEXO V. CONFIGURACIÓN DWDM- CUENCA

Site: Cuenca



Notes:

Dimension of Rack (Height x Width x Depth)
2200mm x 800mm x 300mm

V40 — 40-channel Multiplexing Unit, C band Even With VOA
M40 — 40-channel Optical Multiplexer Board
D40 — 40-channel Optical De-multiplexer Board
MR2 — 2-channel Optical Add/drop Multiplexer

OAU** — Optical Amplifier Unit Board
OBU** — Optical Booster Unit Board

LWF — STM-64 Transmit-recvie Line Wavelength Conversion Unit (FEC)

TMX — 4 x STM-16 MUX STM-64 Optical Wavelength Conversion Unit (AFEC)

SC1/2 — Single/dual Optical Supervision Channel Board
FIU — Supervising Channel Access Board
SCE — System Control & Communication Unit
SCC — System Control & Communication Unit and EOW Unit
DSE — Dispersion Slope Equilibrium Board
DGE — Dynamic Gain Equalizer Board
VOA — Optical Variable Attenuator Board

**ANEXO Y. CONFIGURACIÓN DE LOS SWITCH ROUTER 6506-QUITO-STO
DOMINGO-QUEVEDO-BABAHoyo**

Product ID	Description	Quito	STO Domingo	Quevedo	Babahoyo
WS-C6506-E	Enh C6506 Chassis, 6slot, 12RU, No Pow Supply, No an Tray	1	1	1	1
S733ZK9-12217SXB	Cisco CAT6000-SUP720 IOS IP W/SSH/3DES	1	1	1	1
WS-SUP720-3B	Catalyst 6500/Cisco 7600 Supervisor 720 Fabric MSFC3 PFC3B	1	1	1	1
MEM-C6K-CPTFL128M	Cat6500 Sup720 Compact Flash Mem 128MB	1	1	1	1
GLC-LH-SM	GE SFP, LC connector LX/LH transceiver	2	2	2	2
WS-SUP720-3B	Catalyst 6500/Cisco 7600 Supervisor 720 Fabric MSFC3 PFC3B	1	1	1	1
GLC-LH-SM	GE SFP, LC connector LX/LH transceiver	2	2	2	2
WS-X6704-10GE	Cat6500 4-port 10 Gigabit Ethernet Module (req. XENPAKs)	1	1	1	1
DWDM-XENPAK-58.17=	10GBASE-DWDM XENPAK Module	0	1	2	2
XENPAK-10GB-LR=	10GBASE-LR XENPAK Module	1	1	0	0
WS-X6748-GE-TX	Cat6500 48-port 10/100/1000 GE Mod: fabric enabled, RJ-45	1	1	1	1
WS-C6506-E-FAN	Catalyst 6506-E Chassis Fan Tray	1	1	1	1
WS-CDC-2500W	Catalyst 6000 2500W DC Power Supply	2	2	2	2
MEM-XCEF720-256M	Catalyst 6500 256MB DDR, xCEF720 (67xx interface, DFC3A)	1	1	1	1
WS-F6700-CFC	Catalyst 6500 Central Fwd Card for WS-X67xx modules	1	1	1	1
WS-F6K-XENBLNKCVR	Catalyst 6500 Xenpak Blank Covers for WS-X6704-10GE	3	2	2	2
MEM-XCEF720-256M	Catalyst 6500 256MB DDR, xCEF720 (67xx interface, DFC3A)	1	1	1	1
WS-F6700-CFC	Catalyst 6500 Central Fwd Card for WS-X67xx modules	1	1	1	1

**ANEXO Z. CONFIGURACIÓN DE LOS SWITCH ROUTER 6506-GUAYAQUIL-
MILAGRO-MÁCHALA-HUAQUILLAS-CUENCA**

Product ID	Description	Guayquil	Milagro	Machala	Huaquillas	Cuenca
WS-C6506-E	Enh C6506 Chassis, 6slot, 12RU, No Pow Supply, No an Tray	1	1	1	1	1
S733ZK9-12217SXB	Cisco CAT6000-SUP720 IOS IP W/SSH/3DES	1	1	1	1	1
WS-SUP720-3B	Catalyst 6500/Cisco 7600 Supervisor 720 Fabric MSFC3 PFC3B	1	1	1	1	1
MEM-C6K-CPTFL128M	Cat6500 Sup720 Compact Flash Mem 128MB	1	1	1	1	1
GLC-LH-SM	GE SFP, LC connector LX/LH transceiver	2	2	2	2	2
WS-SUP720-3B	Catalyst 6500/Cisco 7600 Supervisor 720 Fabric MSFC3 PFC3B	1	1	1	1	1
GLC-LH-SM	GE SFP, LC connector LX/LH transceiver	2	2	2	2	2
WS-X6704-10GE	Cat6500 4-port 10 Gigabit Ethernet Module (req. XENPAKs)	1	1	1	1	1
DWDM-XENPAK-58.17=	10GBASE-DWDM XENPAK Module	2	2	2	1	0
XENPAK-10GB-LR=	10GBASE-LR XENPAK Module	0	0	0	1	1
WS-X6748-GE-TX	Cat6500 48-port 10/100/1000 GE Mod: fabric enabled, RJ-45	1	1	1	1	1
WS-C6506-E-FAN	Catalyst 6506-E Chassis Fan Tray	1	1	1	1	1
WS-CDC-2500W	Catalyst 6000 2500W DC Power Supply	2	2	2	2	2
MEM-XCEF720-256M	Catalyst 6500 256MB DDR, xCEF720 (67xx interface, DFC3A)	1	1	1	1	1
WS-F6700-CFC	Catalyst 6500 Central Fwd Card for WS-X67xx modules	1	1	1	1	1
WS-F6K-XENBLNKCVR	Catalyst 6500 Xenpak Blank Covers for WS-X6704-10GE	2	2	2	2	3
MEM-XCEF720-256M	Catalyst 6500 256MB DDR, xCEF720 (67xx interface, DFC3A)	1	1	1	1	1
WS-F6700-CFC	Catalyst 6500 Central Fwd Card for WS-X67xx modules	1	1	1	1	1