

**INTRODUCCIÓN A DWDM - DENSE WAVELENGTH DIVISIÓN MULTIPLEXING  
(MULTIPLEXADO POR DIVISIÓN DE DENSIDAD DE LONGITUD DE ONDA)**

**JUAN MANUEL OTERO SALAZAR**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERIAS ELECTRICA Y ELECTRÓNICA  
ESPECIALIZACIÓN EN TELECOMUNICACIONES  
COHORTE III  
BUCARAMANGA  
2.004**

**INTRODUCCIÓN A DWDM - DENSE WAVELENGTH DIVISIÓN MULTIPLEXING  
(MULTIPLEXADO POR DIVISIÓN DE DENSIDAD DE LONGITUD DE ONDA)**

**JUAN MANUEL OTERO SALAZAR**

**Ingeniero Electrónico**

**Código 2028490**

Monografía presentada como requisito  
para optar al título de ESPECIALISTA  
EN TELECOMUNICACIONES.

Director:

Ing. Daniel F. Campuzano V.

Ingeniero Electrónico

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERIAS ELECTRICA Y ELECTRÓNICA  
ESPECIALIZACIÓN EN TELECOMUNICACIONES  
COHORTE III  
BUCARAMANGA  
2.004**

*Dedicatoria:*

A mi Madre por ser quien es, y a mi Esposa por apoyarme y darme las fuerzas para seguir adelante.

**TITULO:** INTRODUCCION A DWDM – DENSE WAVELENGTH DIVISION MULTIPLEXING ( MULTIPLEXADO POR DIVISION DE DENSIDAD DE LONGITUD DE ONDA)\*

**AUTOR:** JUAN MANUEL OTERO SALAZAR\*\*

**PALABRAS CLAVE:**

DWDM  
Dense Wavelength División Multiplexing  
Multiplexado por División de Densidad de Longitud de Onda  
Introducción a DWDM

Fibras Opticas

**DESCRIPCIÓN:**

Dentro del contexto de la Especialización en Telecomunicaciones de la Universidad Industrial de Santander, se trata de abarcar una generalidad en temas relacionados con las telecomunicaciones. Aunque el material ofrecido y la bibliografía disponible son suficientes para el desarrollo del programa, existen temas adicionales, y aunque son de gran interés, son estudiados superficialmente y no hay documentación al respecto.

De esto nace la necesidad de generar una base de información concerniente a estos temas adicionales, entre ellos DWDM.

El texto muestra una introducción a los sistemas DWDM, mostrando al lector la historia y evolución de los sistemas de transmisión de información desde sus comienzos, hasta las nuevas tecnologías implementadas para obtener el mejor provecho de la fibra óptica.

Se tratan brevemente los fenómenos físicos que ocurren dentro de los sistemas de transmisión de información basados en fibra óptica y su implementación en los sistemas electrónicos.

En el cuerpo del documento se hace un análisis de los sistemas DWDM en redes de área metropolitana (MAN), incluyendo topologías y esquemas de protección y redundancia.

Por ultimo, y no menos importante, se analiza la implementación de los sistemas basados en DWDM en redes híbridas Cable-Fibra y la problemática de optimizar redes multiperiodo DWDM.

---

\* Monografía

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

**TITLE:** INTRODUCTION DWDM – DENSE WAVELENGTH DIVISION MULTIPLEXING ( MULTIPLEXADO POR DIVISION DE DENSIDAD DE LONGITUD DE ONDA)\*

**AUTHOR:** JUAN MANUEL OTERO SALAZAR\*\*

**KEY WORDS:**

DWDM  
Dense Wavelength División Multiplexing  
Multiplexado por División de Densidad de Longitud de Onda  
Introduction to DWDM

Optical Fiber

**DESCRIPTION:**

Within the context of the Specialization in Telecommunications of the Universidad Industrial de Santander, are included a majority in subjects related to the telecommunications. Although the offered material and the bibliography available are sufficient for the development of the program, additional subjects exist, and although they are of great interest, they are studied superficially and there is no documentation on the matter.

Of this the necessity is necessary to generate a base of information concerning these additional subjects, among them DWDM.

The text shows an introduction to DWDM systems, driving the reader to the history and evolution of the transmission information systems from its beginnings, to the new implemented technologies to obtain the best benefit of the optical fiber.

The physical phenomena treat briefly that happen within the information systems transmission of based on optical fiber and its implementation in the electronic systems.

The body of the document develops about the analysis becomes of systems DWDM in Metropolitan Area Networks (MAN), including topologies and protection and redundancy schemes.

At the end, and not less important, analyzes the implementation of the systems based on DWDM in hybrid Coax-fiber networks and the problematic of optimize DWDM multiperiod networks.

---

\* Monograph

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

## TABLA DE CONTENIDO

	Página
INTRODUCCIÓN	1
GENERALIDADES DE DWDM	3
Los componentes de DWDM	3
Los transmisores ópticos y transponders	4
Los Amplificadores ópticos	5
Los multiplexores y demultiplexores ópticos	6
Los Receptores ópticos	6
OADMs	6
Las aplicaciones de DWDM	7
La Larga Distancia	7
Expansión de Red	8
1. INTRODUCCIÓN A DWDM	9
Jerarquía de la red Global	9
Redes de Larga Distancia	10
Redes de Acceso	11
Redes de Area Metropolitana	11
Comparación de las redes MAN y las redes de Larga Distancia	12
Las Fuerzas Económicas	13
La demanda de ancho de banda	14
Competencia y Rentabilidad	15
Opciones para el creciente ancho de banda del portador	17
Aumentar la velocidad de tráfico binario	18
Aumentar el número de Longitudes de onda	18
Multiplexado por división de tiempo	19

	Página
SONET y TDM	20
Multiplexado por división de longitud de onda (WDM)	23
Comparación TDM y WDM	25
Drivers adicionales en redes de área metropolitana	26
El valor de DWDM en MAN	27
Requisitos en MAN	29
Por qué DWDM?	30
SONET con DWDM	31
Ampliando la confiabilidad y el rendimiento	34
Capacidad de Administración de Red	35
Beneficios Adicionales	36
2. LOS PRINCIPIOS DE LA TECNOLOGÍA DWDM	37
EL desarrollo de la tecnología DWDM	39
Funciones del sistema DWDM	42
Implementando la tecnología	43
Componentes y Funcionamiento	44
Las fibras ópticas	45
Fibras monomodo y multimodo	47
Diseño de fibra monomodo	48
Los desafíos de la transmisión	50
La Atenuación	50
La dispersión	51
La dispersión cromática	52
La dispersión de modo de polarización	54
Otros efectos no lineales	54
Las fuentes de iluminación y detectores	57
Emisores de luz: LEDs y LASER	57
La tabla ITU	60
Los Amplificadores ópticos	62
El amplificador de fibra con dopaje ERBIUM	62
Multiplexores y Demultiplexores	64
Las técnicas para multiplexado y demultiplexado	65

	Página
Los multiplexores de ADD/DROP ópticos	68
Las interfaces DWDM	69
El funcionamiento de un transponder basado en DWDM	71
3. DWDM EN REDES DE AREA METROPOLITANA	73
Tecnologías en el mercado metropolitano	74
SONET/SDH	74
ATM	74
Gigabit Ethernet	75
IP	76
Canal de Fibra (Fibre Channel)	77
Transporte dinámico de paquetes	77
FDDI	78
Soporte para el tráfico de legado	78
Aplicaciones y servicios en la MAN	78
Redes de áreas de almacenamiento (SAN)	80
Migración desde SONET/SDH	83
Topologías y esquemas de protección para DWDM	86
Topologías Punto a Punto	87
Topologías de anillo	88
Topologías de malla	90
Consideraciones prácticas en la implementación de DWDM	92
Acumulación de poder óptico	94
Problemas de Interoperabilidad	96
Futuro de DWDM	96
4. HÍBRIDO FIBRA COAXIAL (HFC) Y REDES DWDM	98
Uso efectivo de fibra	99
Incremento del ancho de banda reutilizable	101
Determinando el tamaño del nodo	104
Utilizando transmisores de 1550nm	106
Esta tecnología ofrece costos mas bajos y ganancias mas altas	107
Utilizando 1310nm para Narrowcasting	108

	Página
Aumentando el ancho de banda mientras disminuyen los costos	110
Multiplexar SONET habilita voz, datos y video	111
Utilizando la red análoga para el tráfico interactivo	113
5. ANÁLISIS DE OPTIMIZACION DE RESULTADOS EN MULTI-PERIODOS DEL DISEÑO DE LA RED DWDM	115
Dificultades de capas múltiples y anillos ópticos	117
Técnicas de diseño multi-periodo	121
Caso de estudio de red	122
Algoritmos empleados	123
Resultados	126
Conclusiones	129
Trabajo Adicional	131
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	132

# INTRODUCCIÓN

Dentro del cambiante mundo de las telecomunicaciones existe un gran número de protocolos y procesos que permiten acceder a los servicios que la tecnología puede ofrecer.

Nuestro entorno está basado en sistemas de redes LAN y MAN, pero poco sabemos de las tecnologías utilizadas en la conectividad entre los sistemas MAN, y la bibliografía al respecto es escasa o muy restringida.

Trabajando dentro del contexto de la Especialización, se trata de abarcar una generalidad en temas relacionados con las telecomunicaciones. Aunque el material ofrecido y la bibliografía disponible son suficientes para el desarrollo propuesto del programa, existe una gran variedad de temas adicionales, y aunque son de gran interés, son estudiados superficialmente y no hay documentación al respecto.

Por esto se ve la necesidad de generar una base de información concerniente a estos temas adicionales, en nuestro caso DWDM.

Desde principios de los años 90, la implementación de sistemas de Backbone ópticos en portadores y grandes operadores, y la necesidad de explotar al 100% los recursos instalados logrando la satisfacción de sus clientes y la prestación de servicios de alta velocidad a bajo precio y con una inversión mínima, ha facilitado la acogida de los sistemas basados en DWDM.

En nuestro entorno subdesarrollado, existen empresas proveedoras de servicios que se han preocupado por ser competitivas en servicios y costos, la implementación de sistemas DWDM es muy atractivo.

Este documento tiene por objetivo llevar al lector al entorno de la tecnología DWDM y refrescar u ofrecer los conceptos básicos en los que esta se basa

# GENERALIDADES DE DWDM

DWDM incrementa la capacidad de transporte de información de la infraestructura existente de fibra óptica para eliminar los altos costos de instalar nuevas redes de fibra óptica. La mayoría de los backbones actuales de alta velocidad usados por los proveedores de servicios esta conformado por links de fibra óptica operando a 2.5 Gigabits por segundo (Gbps) o 10 Gbps. DWDM ofrece una solución escalable para utilizando la fibra instalada actualmente para incrementar el ancho de banda.

DWDM transmite múltiples señales simultáneamente a diferentes longitudes de onda. Esto permite que una sola fibra óptica opere como si fueran múltiples fibras, esto es llamado "fibra virtual." Cada señal transportada puede estar a una rata diferente (OC-48 u OC-192 por ejemplo) inclusive si utiliza el mismo cable de fibra óptica.

## LOS COMPONENTES DE DWDM

Todos los sistemas DWDM consisten de los siguientes componentes:

- Transmisores ópticos de longitud de onda precisa (láser)
- Multiplexores ópticos (MUX)
- Demultiplexores ópticos (DEMUX)
- Receptores ópticos de ancho de banda

Los componentes opcionales de un sistema DWDM son los multiplexores ópticos add/drop (OADM) y los amplificadores ópticos. La Figura 1 muestra el concepto básico de un sistema de DWDM con amplificador.

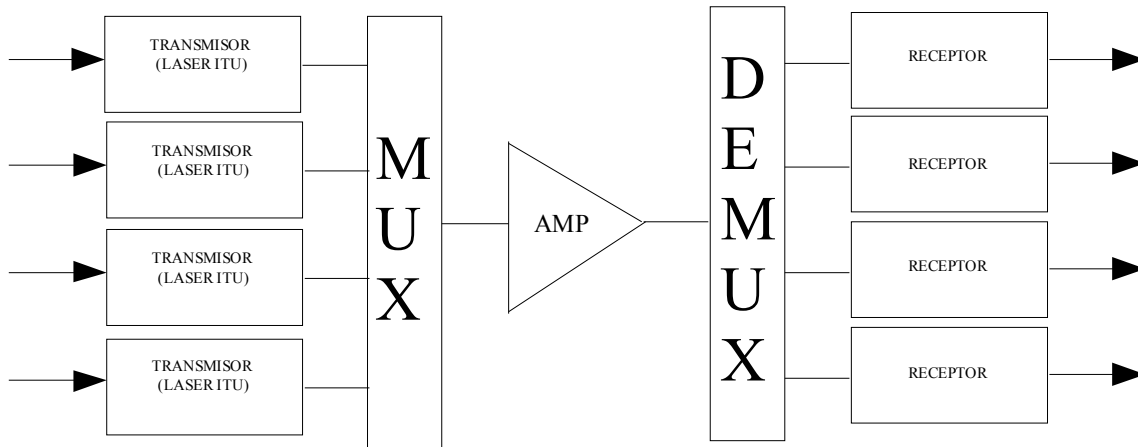


Figura 1. Sistema DWDM con Amplificador

## LOS TRANSMISORES ÓPTICOS Y TRANSPONDERS

Los transmisores ópticos para los sistemas de DWDM son de alta resolución, los láseres de precisión de banda estrecha. Estos láseres permiten un espaciamiento cerrado del canal, el cual aumenta el número de longitudes de onda que pueden usarse en la banda de 1500 nanómetros (nm) mientras se minimizan los efectos de atenuación de la señal como la dispersión.

El transmisor óptico minimiza pérdida de poder para hacer posible la transmisión a larga distancia y con un alto nivel de integridad de la señal. Estos láseres pueden usar amplificadores ópticos que aumentan la fuerza de la señal en largas distancias y eliminan el amplificador electrónico necesario para regenerar las

señales ópticas individuales. Muchos sistemas del láser se diseñan para frecuencias de longitud de onda que siguen el IRC-T, el cual permite una interoperabilidad simplificada y seleccionar más fácilmente los componentes a utilizar.

Un componente utilizado en algunos sistemas DWDM es el transponder, que convierte señales ópticas con ancho de banda a longitudes de onda específicas que usan conversión óptico-eléctrico-óptico (OEO). Los transponders o conversores de longitud de onda son dispositivos opcionales que proporcionan la conversión de longitud de onda óptica (en otras palabras, 1310 nm o 1550 nm) a una longitud de onda de banda estrecha precisa. Esta conversión permite a los dispositivos que no están provistos con láser de banda estrecha de precisión, ser multiplexados hacia una sola fibra, como los enrutadores, switches ATM, u otros multiplexores.

## **LOS AMPLIFICADORES ÓPTICOS**

Los amplificadores ópticos aumentan la señal de las señales ópticas para minimizar los efectos de pérdida de potencia y atenuación, que es el resultado de enviar los pulsos de luz por la fibra óptica. La tecnología del amplificador óptico es la clave para permitir altas velocidades y la transmisión en alto volumen de DWDM. La tecnología del amplificador óptico era la llave al éxito comercial de sistemas de DWDM de larga distancia. Sin embargo, debido a las distancias más cortas encontradas en redes metropolitanas y regionales, no siempre se utilizan los amplificadores ópticos en este tipo de redes.

Antes del advenimiento de amplificadores ópticos, cada señal tenía que ser regenerada electrónicamente. Al regenerar una señal óptica electrónicamente, la señal óptica debe convertirse primero a señal eléctrica, debe amplificarse, y

entonces debe convertirse nuevamente a señal óptica antes de ser retransmitida. La regeneración electrónica requiere un regenerador separado para cada longitud de onda en cada fibra. Un solo amplificador óptico puede amplificar todas las longitudes de onda en una fibra.

El tipo más común de amplificador óptico es el amplificador de fibra enriquecido con Erbium (EDFA). EDFAs convencionales operan en el rango de los 1530 a 1560 nm.

## **LOS MULTIPLEXORES Y DEMULTIPLEXORES OPTICOS**

Los multiplexores ópticos combinan la transmisión de señales de diferentes anchos de banda hacia una sola fibra óptica. Los demultiplexores ópticos separan las señales combinadas en sus componentes de longitudes de onda. Los multiplexores de DWDM son dispositivos típicamente pasivos, esto significa que ellos no requieren de alimentación eléctrica. Estos multiplexores pasivos se comportan como los prismas de alta precisión para separar los colores individuales de las señales de DWDM.

## **LOS RECEPTORES ÓPTICOS**

Los receptores ópticos detectan las señales ópticas entrantes y las convierte en una señal apropiada para ser procesada por el dispositivo receptor. Los receptores ópticos normalmente son dispositivos de ancho de banda determinado que pueden descubrir la luz en una gama relativamente amplia de longitudes de onda. La habilidad de descubrir esta gama amplia de longitudes de onda le permite a un solo receptor aceptar cualquier longitud de onda en el rango de los 1300 a 1550 nm.

## **OADMs**

Los Multiplexores ópticos de Add/Drop (OADMs) pueden incluirse en sistemas DWDM o pueden conectarse a redes para dar flexibilidad a la señal adicionada. OADMs permiten agregar o eliminar canales de una fibra multiplexada en división de densidad de onda. OADMs son instalados en una fibra con múltiples longitudes de onda, y permite demultiplexar una longitud de onda específica (dropped) y remultiplexada (Added) mientras permite el paso de las otras longitudes de onda. Como el resultado de un filtro de OADM, las longitudes de onda procesadas solo experimentan una pequeña cantidad de atenuación.

## **LAS APLICACIONES DE DWDM**

DWDM ofrece muchos beneficios por encima de los sistemas de fibra óptica tradicionales. Minimiza el uso de fibra creando “fibra virtual” para convertir cada fibra en fibras múltiples. DWDM proporciona una estabilidad mayor y extiende los límites de distancia sin regeneramiento. También tiene una tasa de bits y protocolo independiente. Estos beneficios habilitan muchas nuevas aplicaciones. Algunas de las posibles aplicaciones se describen en esta sección.

## **LA LARGA DISTANCIA**

La tecnología de DWDM trabaja bien para portadores de larga distancia que usan topologías punto a punto o en anillo, ofreciendo 16 nuevos canales de transmisión en lugar de uno, permite al portador extender la capacidad aprovechando el ancho de banda auxiliar, sin tender nueva fibra. La tecnología de DWDM se ha usado extensivamente por los portadores de larga distancia y ha permitido que la fibra existente sea suficiente para garantizar el cubrimiento de la demanda creciente de

ancho de banda. Sistemas de DWDM diseñados para redes de larga distancia tienen la facultad de proporcionar más de 32 longitudes de onda sobre una sola fibra.

## **EXPANSION DE RED**

Para operadores de red que están construyendo o están extendiendo sus redes, DWDM es una manera barata de actualizar la infraestructura existente. DWDM permite aumentar incrementalmente la capacidad y facilita la implementación del nuevo equipo. En algunas áreas geográficas dónde la base industrial es rápidamente extendida, DWDM es una manera de cubrir la demanda creciente sin instalar nueva fibra.

# 1

## INTRODUCCION A DWDM

El presente capítulo presenta una idea básica del por qué el multiplexado de división de longitud de densidad de onda (DWDM) es una innovación importante en las redes ópticas y qué beneficios que puede proporcionar. Se empezará con una vista de alto nivel de los segmentos de la red global y las fuerzas económicas que impulsan la revolución en las redes de fibra óptica. Se examinarán las diferencias entre el Multiplexado por división de tiempo tradicional (TDM) y el multiplexado por división de longitud de onda (WDM). Finalmente, se explorarán las ventajas de esta nueva tecnología.

Este capítulo contiene los siguientes temas:

- La Jerarquía de la Red global
- Las Fuerzas Económicas
- Las opciones para incrementar el ancho de banda
- Drivers adicionales en las Redes de la Área Metropolitanas
- ¿Por qué DWDM?

### LA JERARQUÍA DE LA RED GLOBAL

La naturaleza de redes de comunicaciones modernas es estar en un estado de evolución continuada. Los factores como las nuevas aplicaciones, modelos

cambiantes de uso, y redistribución de contenido hacen la definición de redes. No obstante, se pueden definir las entidades más grandes que constituyen la red global basándose en las variables como la tecnología de transporte, la distancia, las aplicaciones, y así sucesivamente. Una manera de describir la red de área metropolitana (MAN) sería decir que no es de larga distancia ni el acceso parte de la red de acceso, pero el área queda entre esos dos puntos (vea Figura 1-1).

## REDES DE LARGA DISTANCIA

Las redes de larga distancia están en el núcleo de la red global. Dominado por un grupo pequeño de portadores transnacionales y globales, las redes de larga distancia conectan las MAN. Su aplicación es el transporte, para que su función primaria sea la capacidad. En muchos casos estas redes que han sido tradicionalmente basados en Red Óptica Síncrona (SONET) o en Jerarquía Digital Síncrona (SDH), están experimentando saturación de la fibra como resultado de la alta demanda ancho de banda.

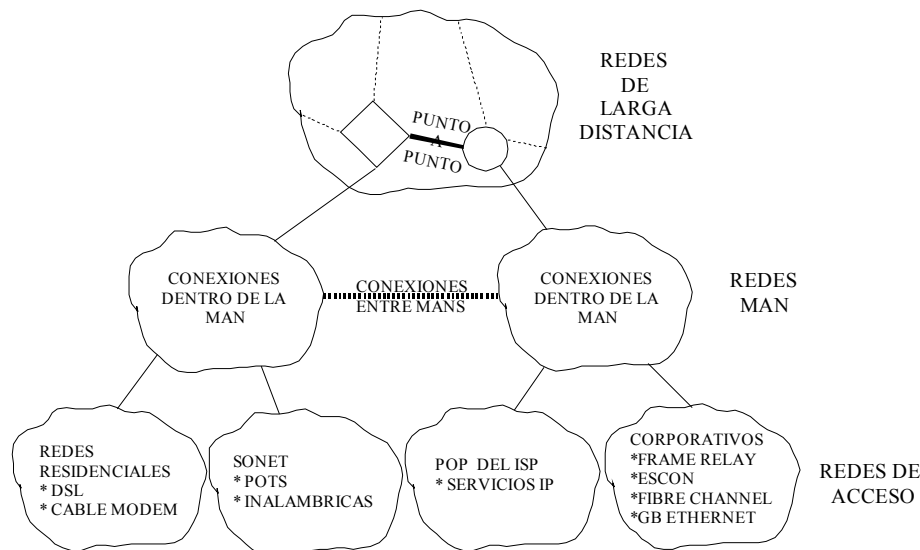


Figura 1-1: Jerarquía de Red Global

## **REDES DE ACCESO**

En el otro extremo del espectro se encuentran las redes de acceso. Estas redes son las más próximas al usuario final, al borde de las MAN. Ellos se caracterizan por tener diversos protocolos e infraestructuras, y tienen diferentes ratas de uso del espectro. El rango de clientes va desde los usuarios de Internet residenciales hasta las corporaciones grandes e instituciones. El predominio de tráfico IP, con su inherentemente naturaleza asimétrica, e imprevisible, presenta muchos desafíos, sobre todo con las nuevas aplicaciones en tiempo real. Al mismo tiempo, estas redes son requeridas para continuar apoyando los legados de tráfico y protocolos, como la Conexión de Sistema de Empresa de IBM (ESCON).

## **REDES DE AREA METROPOLITANA**

Entre estos dos dominios de la gestión de redes grandes y diferentes se encuentran las MAN. Estas redes canalizan el tráfico dentro del dominio metropolitano (entre los negocios, oficinas, y las áreas metropolitanas) y entre los puntos de larga distancia (POPs). La MAN tiene muchas de las mismas características las redes de acceso, como los diversos protocolos de gestión de redes y velocidades de canal. Como las redes de acceso, las MAN han sido tradicionalmente basadas en SONET/SDH, usando topologías punto a punto o de anillo con multiplexores add/drop (ADMs).

MAN queda en una juntura crítica. Por un lado, debe satisfacer las necesidades creadas por la dinámica del crecimiento de la demanda de ancho de banda en las redes de transporte de larga distancia. Por otro lado, debe dirigirse a los requisitos de la conectividad y tecnologías de acceso que se están produciendo por la demanda de ancho de banda para los servicios de datos de alta velocidad.

## **COMPARACION DE LAS REDES MAN Y LAS REDES DE LARGA DISTANCIA**

Hay una tendencia natural a considerar MAN simplemente como una versión a escala de la red de larga distancia. Es verdad que redes que sirven el área metropolitana abarcan las distancias más cortas que en las redes de transporte de larga distancia. Sin embargo, en un examen detallado, estas diferencias son superficiales comparado a otros factores. La forma de la red es más estable en larga distancia, mientras las topologías frecuentemente cambian en MAN. La mayoría de los tipos de servicios y tipos de tráfico deben apoyarse en MAN, voz tradicional y los servicios de conexión dedicada para las nuevas aplicaciones, incluso el almacenamiento de datos, aplicaciones distribuidas, y video.

Las redes de larga distancia, por el contrario, están sobre canales grandes. Otro punto importante en que las redes metropolitanas difieren de las redes orientadas a troncales de larga distancia es que ellos abarcan una baja colección de equipos de rata de bits asíncrono y síncrono, loops, pequeñas secciones cruzadas, y una variedad de usuarios con demandas de ancho de banda variante. Estas diferencias fundamentales entre los dos tipos de redes tienen implicaciones a tomar en cuenta para determinar los requisitos de los servicios del dominio metropolitano. El protocolo y transparencia de velocidad, escalabilidad, y el aprovisionando dinámico son por lo menos tan importantes como la capacidad que gobierna en el mercado de larga distancia.

### **UNA VISTA ALTERNATIVA**

La falla precedente de la red global representa una vista un poco simplificada. En la realidad, las líneas entre los dominios son no siempre tan bien definidas. A veces no se delinear claramente las redes de larga distancia y metropolitanas; los mismos sistemas de sostenimiento se utilizan para las redes de acceso y los

dominios metropolitanos. Además, otros parecidos de la red global existen en MAN. Por ejemplo, uno define la red de acceso como parte de, en lugar de separado de las MAN, adicionalmente incluye la conectividad empresarial en el dominio metropolitano. A continuación se muestra el mercado metropolitano:

- Núcleo: Están esencialmente los sistema a escala de los sistemas de larga distancia. Son considerados el centro de MAN, porque ellos interconectan el portador POPs y lo une directamente con los usuarios finales.
- Acceso Metropolitano: Es el segmento entre el portador POPs y medios de acceso que podrían estar equipados con servicios específicos del cliente o a un punto de agregación.
- Empresarial: Es la parte de la red dedicada a servir las necesidades de empresas. Usando fibra propia o arrendada (o arrendando la capacidad de fibra), la conectividad se proporciona geográficamente entre sitios de la empresa distantes y para las nuevas aplicaciones, como redes de área de almacenamiento (SANs).

## **LAS FUERZAS ECONÓMICAS**

Ya estamos en el siglo 21, el progreso en la industria y las necesidades específicas de los usuarios nos indican, que tanto han penetrado los servicios de información a la sociedad y el comercio. La información, aun siendo una herramienta, se ha vuelto un artículo en sí mismo. La aceptación universal y la adopción de sistemas de informática han saturado los backbones en que fueron contruidos tales sistemas. La alta demanda unida con promedios de uso variables, un ambiente de telecomunicaciones poco regulado, y requisitos de alta disponibilidad esta dependiendo en gran parte de las capacidades de las redes de

fibra, las que se instalaron hace 10 años y en ese momento se consideraron suficientes para satisfacer las demandas para un futuro poco previsible.

## **LA DEMANDA DE ANCHO DE BANDA**

La explosión en la demanda de ancho de banda en las redes es principalmente debida al crecimiento en el tráfico de datos, específicamente del Protocolo Internet (el IP). Los proveedores de servicios principales informan que duplican el ancho de banda en sus backbones entre cada seis y nueve meses. Esto en respuesta al crecimiento del 300% anual en el tráfico de Internet, mientras el tráfico de voz tradicional sólo crece aproximadamente en una proporción anual del 13% (vea Figura 1-2).

Al mismo tiempo que el volumen de tráfico de red está aumentando, la naturaleza del propio tráfico se está tornando más compleja. El tráfico transportado en un backbone se puede originar como orientado a circuito (TDM voz y fax), orientado a paquetes (IP), o orientado a celdas (ATM y Frame Relay). Hay una proporción creciente de aplicaciones de datos sensibles a retraso, como voz sobre IP y stream de Video.

En respuesta a este explosivo aumento de demanda de ancho de banda, junto con la emergencia de tener IP como la base común para todos los servicios, los proveedores de servicios de larga distancia están migrando sus sistemas basados en TDM, ya que son sistemas basados y perfeccionados para servicios de voz, pero en las actuales circunstancias demuestran ser costosos e ineficaces. Entretanto, las redes metropolitanas también están experimentando el impacto del crecimiento de la congestión, así como los requisitos que rápidamente cambian y que requieren la implementación más simple y más rápida que sea posible con los

equipos y tecnologías más viejos. Un punto de importancia en el área metropolitana, es el crecimiento de redes de área de almacenamiento (SAN).

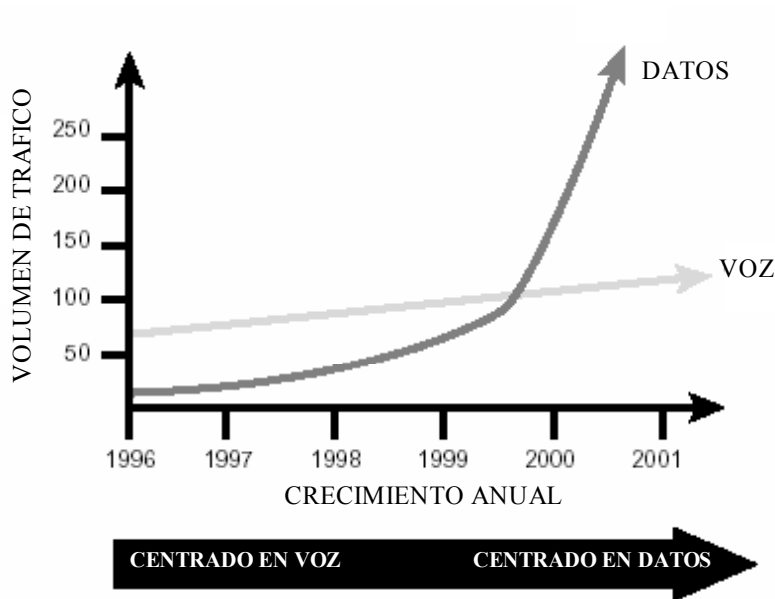


Figura 1-2 Tráfico del Datos contra tráfico de voz

## COMPETENCIA Y RENTABILIDAD

Mientras la demanda para el ancho de banda se maneja principalmente por las nuevas aplicaciones de datos, uso de Internet, y el crecimiento en las comunicaciones inalámbricas, dos factores adicionales entran en el escenario: la competencia y disponibilidad de la red.

El sector de las telecomunicaciones, un gran beneficiario de la regulación gubernamental, es ahora una industria muy competitiva. La competencia se introdujo primero en el mercado de larga distancia en Estados Unidos hacia 1984, y desde 1996 el Acto de Reforma de las Telecomunicaciones está produciendo una serie nuevos operadores de banda ancha. Estos nuevos portadores están

esforzándose por copar toda su capacidad con la nueva demanda para los servicios adicionales.

Hay dos efectos principales en la industria en la competencia:

- Los servicios mejorados son creados por empresas nuevas que intentan competir con los ya posicionados. En el mercado metropolitano, por ejemplo, hay banda ancha inalámbrica y DSL para el hogar y negocios pequeños y medianos, la línea privada de gran velocidad y VPN para a las corporaciones, y servicios LAN transparente para a clientes de redes empresariales.
- Nuevos portadores que llegan a la escena e instalan su infraestructura nueva para no tener que arrendar de los operadores existentes. Usando esta estrategia, ellos tienen más control sobre aprovisionamiento y fiabilidad.

Como las telecomunicaciones y servicios de datos son ahora en extremo críticos para las operaciones de negocios, se han exigido a los proveedores de servicios asegurar que sus redes en tolerantes a fallas. Para reunir estos requisitos, los proveedores han tenido que construir rutas de respaldo, mientras usan a menudo la redundancia simple en anillo 1:1 o las configuraciones de punto a punto, logrando el nivel requerido de fiabilidad, sin embargo, esto significa que reservan capacidad específica para el failover( tolerancia a fallas). Esto puede doblar la necesidad de ancho de banda para una infraestructura mas fuerte (vea Figura 1-3).

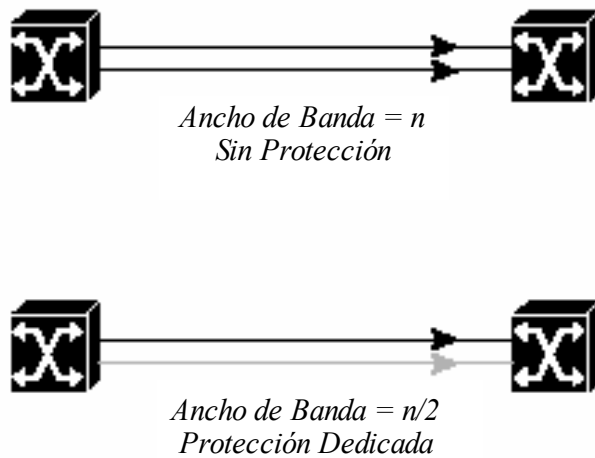


Figura 1-3: Ancho de banda Reservado Reduce la Capacidad Global

## OPCIONES PARA EL CRECIENTE ANCHO DE BANDA DEL PORTADOR

Enfrentado con el desafío dramático de sostener capacidad creciente mientras se mantienen los costos, los portadores tienen dos opciones: Instalar nueva fibra o aumentar el ancho de banda eficaz en la fibra existente. Tender nueva fibra es el método tradicional usado por los portadores para extender sus redes. Desplegar nuevas redes de fibra, sin embargo, es una opción costosa. Se estima que el costo es de aproximadamente US \$70,000 por milla, la mayoría en costos de permisos y construcción. El instalar la nueva fibra puede ser considerado cuando se desee expandir la infraestructura base.

Aumentar la capacidad eficaz de la fibra existente puede lograrse de dos maneras:

- Aumentar la velocidad de tráfico binario de los sistemas existentes.
- Aumentar el número de longitudes de onda disponible en una fibra.

## **AUMENTAR LA VELOCIDAD DE TRÁFICO BINARIO**

Usando TDM, los datos se transmiten a 2.5 Gbps (OC-48) e, incrementalmente, a 10 Gbps (OC-192); los recientes adelantos han producido velocidades de 40 Gbps (OC-768). La circuitería electrónica que hace esto posible, sin embargo, es compleja y costosa de comprar y mantener.

Hay problemas técnicos significantes que pueden restringir la implantación de este método. La transmisión a OC-192 encima de fibra monomodo(SM), por ejemplo, es 16 veces más afectado por la dispersión cromática que la velocidad próxima más baja agregada, OC-48. El poder de la transmisión mayor, también requerido por las velocidades de tráfico binario superiores, introduce efectos no lineales que pueden afectar la calidad de la forma de onda. Finalmente, la dispersión en modo de polarización, otro efecto que limita la distancia que un pulso ligero puede viajar sin degradación, también es un problema.

## **AUMENTAR EL NÚMERO DE LONGITUDES DE ONDA**

En este método, se combinan muchas longitudes de onda hacia una sola fibra. Usando tecnología de Multiplexado por división de longitud de onda (WDM), varias longitudes de onda, o colores de luz, pueden ser simultáneamente multiplexados desde 2.5 hasta 40 Gbps cada uno sobre una sola fibra. Sin tener que tender nuevas fibras, la capacidad eficaz de la planta de fibra existente puede aumentarse por un factor de 16 o 32. No se conocen los límites específicos de esta tecnología todavía.

## MULTIPLEXADO POR DIVISION DE TIEMPO

Multiplexado por división de tiempo (TDM) se desarrollo como una manera de aumentar al máximo la cantidad de tráfico de voz que podría llevarse en un medio. En la red telefónica antes de que TDM fuera inventado, cada llamada telefónica requería un enlace físico. Esto demostró ser una cara e inescalable solución. Usando Multiplexado, más de una llamada telefónica podría utilizar un solo enlace. TDM puede explicarse por una analogía al tráfico de la carretera. Transportar todo el tráfico de cuatro carriles a otra ciudad, se puede enviar todo el tráfico en una vía, mientras los afluentes alimentan la ruta y el tráfico se sincroniza. Así, si cada una de los cuatro afluentes alimenta un automóvil hacia la carretera cada cuatro segundos, entonces la carretera tendría un automóvil a razón de uno por segundo. Con tal de que la velocidad de todos los automóviles se sincronice, no habría ninguna colisión. En el destino los automóviles pueden salirse fuera de la carretera y pueden alimentar a los afluentes locales con el mismo mecanismo síncrono, en sentido contrario.

Éste es el principio usado en TDM síncrono al enviar los bits sobre un enlace. TDM aumenta la capacidad del enlace de la transmisión fraccionando el tiempo en intervalos menores para que puedan llevarse los bits de las fuentes de la entrada múltiples en el enlace, mientras se aumenta el número de bits transmitidos por segundo eficazmente (vea Figura 1-4).

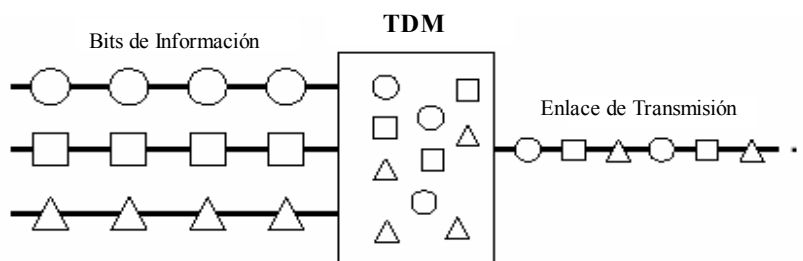


Figura 1-4 Concepto de TDM

Con TDM, las fuentes de entrada son ingresadas al sistema como el tambor de un revolver. A pesar de esto, este método produce ineficacia, porque cada slot de tiempo es asignado, incluso cuando no hay ningún dato para enviar. Este problema se reduce con el multiplexado estadístico usado en el Modo de Transmisión Asíncrono (ATM). Aunque ATM ofrece una mejor utilización del ancho de banda, hay límites prácticos de velocidad a los que puede llegarse debido a la electrónica requerida para la segmentación y reensamblaje (SAR) de células de ATM que llevan los datos del paquete.

## **SONET Y TDM**

La industria de las telecomunicaciones adoptó los estándares de Red Óptica Síncrona (SONET) o Jerarquía Digital Síncrona (SDH) para el transporte óptico de datos de TDM. SONET, usado en América del Norte, y SDH, usado en el resto del mundo, son dos normas estrechamente relacionadas que especifican los parámetros de la interfaz, ratas, formatos de fraccionamiento, métodos de multiplexado, y directivas de administración para TDM síncrono sobre de fibra.

SONET/SDH toma  $n$  streams de bits, los multiplexa y modula la señal ópticamente, mientras los envía usando un dispositivo emisor de luz sobre la fibra con una rata de velocidad de tráfico binario igual a la velocidad de tráfico binario entrante  $\times n$ . Así el tráfico que llega al multiplexor de SONET de cuatro slots a 2.5 Gbps saldrá como un solo stream a  $4 \times 2.5$  Gbps, o 10 Gbps. Este principio se ilustra en Figura 1-5 que muestra un aumento en la rata de velocidad de tráfico binario por un factor de cuatro en el slot  $T$ .

La unidad original usada en las llamadas telefónicas multiplexadas es 64 kbps, que representa una llamada telefónica. Veinticuatro (en América del Norte) o treinta y dos (fuera de América del Norte) de estas unidades son multiplexadas

usando TDM a una señal con mayor rata de bits con una velocidad agregada de 1.544 Mbps o 2.048 Mbps para la transmisión sobre líneas T1 o E1 respectivamente. La jerarquía para las llamadas telefónicas multiplexadas se muestra en tabla 1-1.

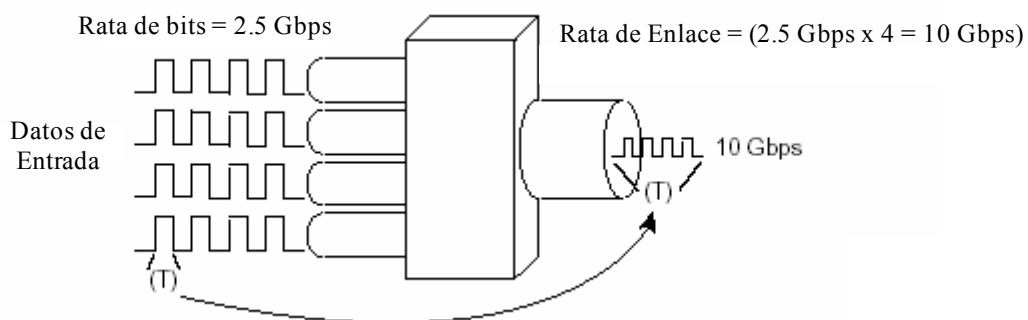


Figura 1-5 SONET TDM

SEÑAL	RATA DE BITS	SLOTS DE VOZ
DS0	64 kbps	1 DS0
DS1	1.544 Mbps	24 DS0
DS2	6.312 Mbps	96 DS0
DS3	44.736 Mbps	28 DS1

Tabla 1-1 Jerarquía en multiplexado Telefónico

Éstos son los bloques básicos usados por SONET/SDH para multiplexar en un estándar de jerarquía de velocidades, de STS-1 a 51.85 Mbps a STS-192/STM-64 a 10 Gbps. La Tabla 1-2 muestra la relación entre las ratas de señal y los niveles mas comúnmente usados en la jerarquía de SONET/SDH

PORTADOR OPTICO	SEÑAL SONET/SDH	RATA DE BITS	CAPACIDAD
OC-1	STS-1	51.84 Mbps	28 DS1 ó 1 DS3
OC-3	STS-3/STM-1	155.52 Mbps	84 DS1 ó 3 DS3
OC-12	STS-12/STM-4	622.08 Mbps	336 DS1 ó 12 DS3
OC-48	STS-48/STM-16	2488.32 Mbps	1344 DS1 ó 48 DS3
OC-192	STS-192/STM-64	9953.28 Mbps	5379 DS1 ó 192 DS3

Tabla 1-2 Jerarquía de multiplexado SONET/SDH

La figura 1-6 muestra este multiplexado y jerarquía de agregación. Usando una norma llamada afluentes virtuales para mapear canales de baja velocidad dentro de la carga útil de STS-1, las 28 señales de DS1 pueden trazarse en la carga útil de STS-1, o pueden ser directamente multiplexados a DS3 con un multiplexor M13 y colocados directamente en el STS-1. Notese que ATM y tráfico en Capa 3, puede alimentar a las terminales SONET desde switches equipados con interfaces SONET.

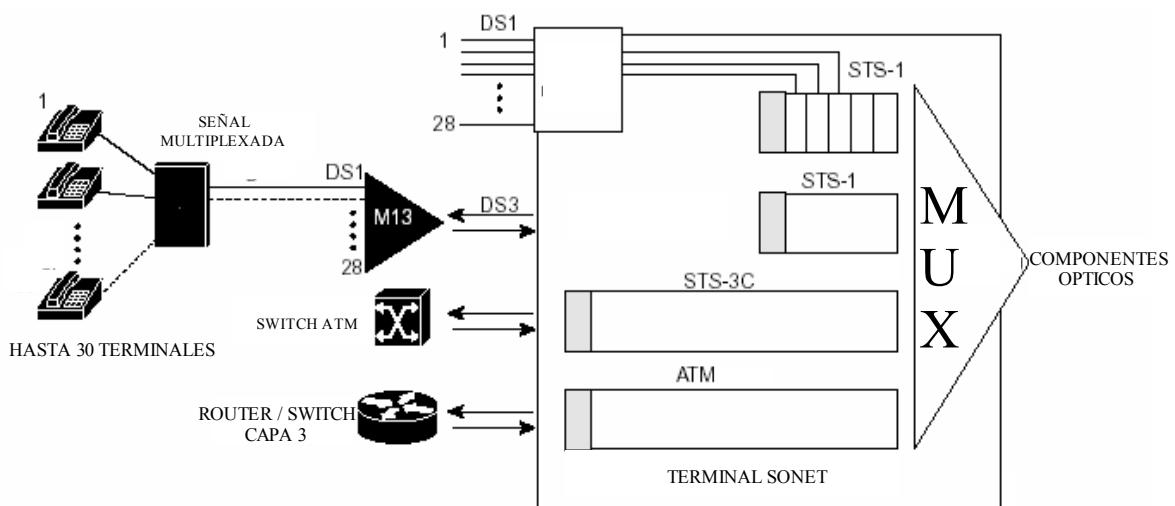


Figura 1-6 TDM y Agregación SONET

SONET/SDH tiene algunas desventajas. Como con cualquier TDM, las nociones de prioridad o congestión no existen en SONET o en SDH. También, la jerarquía del multiplexado es muy rígida. Cuando más capacidad se necesita, debe hacerse un salto al próximo múltiplo, produciendo la necesidad de más capacidad de la que se necesita inicialmente. Por ejemplo, el próximo paso incremental de 10 Gbps (STS-192) TDM es 40 Gbps (STS-768). También, desde que la jerarquía se optimiza para el tráfico de voz, hay ineficacias inherentes cuando se transportan datos en frames SONET. Algunas de estas ineficacias se muestran en Tabla 1-3. DWDM, por el contrario, puede transportar cualquier protocolo, incluso SONET, sin encapsulado especial.

ETHERNET	SEÑAL SONET/SDH	RATA DE BITS	ANCHO DE BANDA PERDIDO
10 Base-T(10 Mbps)	STS-1	51.8540 Mbps	80.709%
100 Base-T(100 Mbps)	STS-3/STM-1	155.520 Mbps	35.699%
1000 Base-T(1000 Mbps)	STS-48/STM-16	2488.32 Mbps	59.812%

Tabla 1-3 Ethernet en Ineficacias de SONET

Para resumir, la demanda puesta en la infraestructura de transporte por las necesidades de ancho de banda y el crecimiento explosivo de la Internet ha excedido los límites de TDM tradicional. La fibra que una vez prometió el ancho de banda aparentemente ilimitado está siendo agotada, y el costo, complejidad, y limitaciones de escalabilidad de la infraestructura SONET están convirtiéndose en un gran problema

## MULTIPLEXADO POR DIVISION DE LONGITUD DE ONDA (WDM)

WDM aumenta la capacidad de transporte del medio físico (fibra) usando un método completamente diferente de TDM. WDM asigna las señales ópticas entrantes a las frecuencias específicas de luz (las longitudes de onda, o  $\lambda$ ) dentro de una cierta banda de frecuencia. Este multiplexado se parece a la manera en que las estaciones de radio transmiten sus señales en sus longitudes de onda asignadas sin interferir entre ellas (vea Figura 1-7).

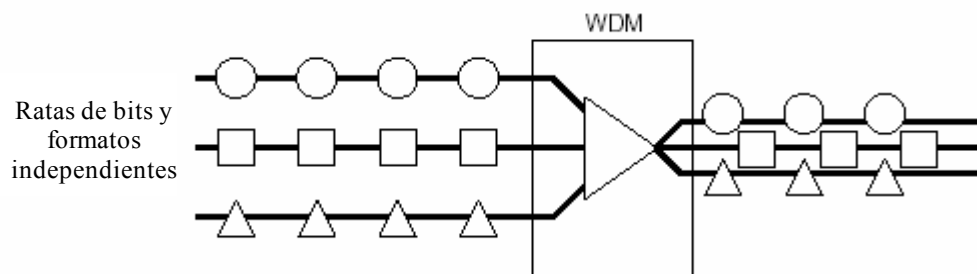


Figura 1-7 Capacidad Creciente con WDM

Como cada canal se transmite a una frecuencia diferente, se puede seleccionar cualquiera de ellos usando un sintonizador. Otra manera de pensar en WDM es que cada canal es un color diferente de luz; varios canales hacen entonces un “arco iris.”

*Note que el término longitud de onda se usa en lugar del término frecuencia para evitar la confusión con otros usos de frecuencia. La longitud de onda se usa a menudo intercambiabilmente con el  $\lambda$  y canal.*

En un sistema de WDM, cada una de las longitudes de onda es lanzada dentro de la fibra, y las señales son demultiplexadas en el receptor. Como TDM, la capacidad resultante es un agregado de las señales de entrada, pero WDM lleva

cada señal de entrada independientemente de las otras. Esto significa que cada canal tiene su propio ancho de banda dedicado; todas las señales llegan al mismo tiempo, en lugar de llegar en fracciones por slots de tiempo. La diferencia entre WDM y el multiplexado por división de densidad de longitud de onda (DWDM) es fundamentalmente de sólo grado. DWDM espacia las longitudes de onda más estrechamente que WDM, y por consiguiente tiene una capacidad global mayor.

No se conocen los límites de este espacio precisamente, y probablemente no se ha alcanzado, aunque los sistemas están disponibles desde mediados del 2000 con una capacidad de 128 lambdas en una fibra. DWDM tiene varios otros rasgos notables. Éstos incluyen la habilidad de amplificar todas las longitudes de onda a la vez sin convertirlos primero a señales eléctricas, y la habilidad de llevar señales de velocidades y tipos diferentes simultánea y transparentemente sobre la fibra (protocolo y rata de bits independientes).

*Es de anotar que WDM y DWDM usan fibra mono modo para llevar múltiples haces de luz de diferentes frecuencias. Esto no debe confundirse con la transmisión sobre fibra multi modo en el que la luz se lanza sobre la fibra a ángulos diferentes, resultando en diferentes "modos" de luz. Una única longitud de onda se usa en la transmisión multi modo.*

## **COMPARACION TDM Y WDM**

SONET TDM toma señales síncronas y asíncronas y las multiplexa en una sola rata de bits de alta velocidad para ser transmita con una sola longitud de onda sobre la fibra. Las señales origen podrían tener que ser convertidas de eléctrico a óptico, o de óptico a eléctrico y volver a óptico antes de ser el multiplexadas. WDM toma múltiples las señales ópticas, las traza en longitudes de onda individuales, y multiplexa las longitudes de onda encima de una sola fibra. Otra diferencia

fundamental entre las dos tecnologías es que WDM puede llevar los protocolos múltiples sin un formato común de señal, mientras SONET no puede. Algunas de las diferencias importantes entre TDM y WDM se ilustran gráficamente en Figura 1-8.

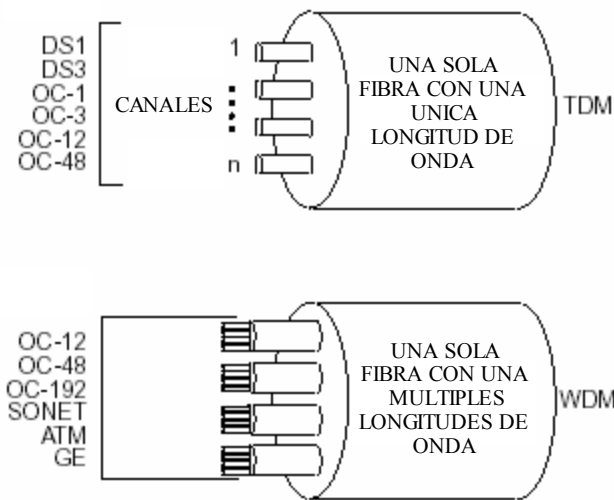


Figura 1-8 TDM e Interfaz WDM

## DRIVERS ADICIONALES EN REDES DE AREA METROPOLITANA

El ancho de banda, la clave principal en el mercado de larga distancia, también es un factor muy importante en las redes de área metropolitana, de acceso, y grandes redes empresariales (vea Figura 1-9). En estos tipos de redes las aplicaciones adicionales demandan ancho de banda incluyendo redes de almacenamiento (SANs), qué hace posible oficinas sin servidores, la consolidación de centros de procesamiento de datos, y transacciones en tiempo real.

También se presenta una creciente demanda en redes de acceso que funcionan para conectar a los usuarios finales sobre conexiones de la baja velocidad principalmente, como conexiones por línea conmutada, DSL, cable, y redes

inalámbricas, a un POP local. Estas conexiones típicamente son agregadas y se transportan sobre un anillo de SONET que en algún punto se conecta a un POP local que sirve como una entrada de Internet<sup>1</sup>. Ahora, la demanda creciente para los servicios de gran velocidad está incitando los proveedores de servicios para transformar el POP en un centro del servicio de entrega dinámico. Como resultado, se da un aumento de servicios en que un cliente obtiene directamente muchos servicios de gran velocidad del POP directamente, sin usar algún segmento del core de Internet.

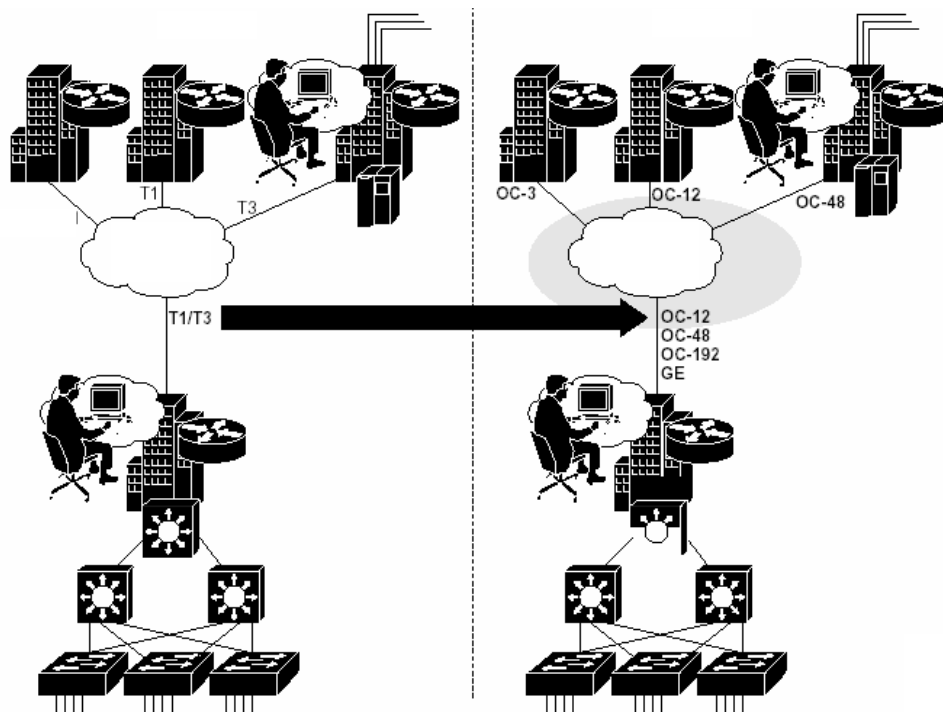


Figura 1-9 Migración a redes empresariales de alta velocidad

<sup>1</sup> Internet como el concepto de redes de larga distancia, inclusive como servicios de VPN a través de redes públicas y servicios WEB

## EL VALOR DE DWDM EN MAN

DWDM es el ganador en el backbone. Se desplegó primero en las redes de larga distancia hace algún tiempo de escasez de redes de fibra. Entonces las economías de equipo la adoptaron como la solución para las nuevas rutas de larga distancia, incluso cuando las redes grandes de fibra estaban disponibles. Mientras DWDM puede relevar la saturación de fibra en el área metropolitana, su valor en este mercado se extiende más allá de esta sola ventaja. Las alternativas para la mejora de capacidad existen, como tener nuevas redes cable en capas SONET, pero DWDM puede hacer más. Lo que se recibe como valor adicional en el mercado metropolitano con DWDM es la rapidez, facilidad y flexibilidad de aprovisionar protocolos y tasas de bits transparentes, centros de datos, servicios protegidos, junto con la posibilidad de ofrecer nuevos y mejores servicios de alta velocidad a menor costo.

La necesidad de aprovisionar muchos y variables servicios rápida y eficazmente en respuesta a las demandas cambiantes de clientes es una característica típica de las redes metropolitanas. Con SONET, que es el núcleo de la mayoría de las redes MAN, aprovisionar el servicio es un proceso largo y complejo. Análisis y planeación de la red, aprovisionamiento ADM, reconfiguración del sistema digital de interconexión (Digital Crossconnect System - DCS), verificación de rutas y circuitos, y creación de servicios pueden tomar varias semanas. Por el contrario, con el equipo de DWDM para aprovisionar el nuevo servicio puede ser tan simple como encender otra longitud de onda en un par de fibra existente.

Los proveedores potenciales de servicios basados en DWDM en áreas metropolitanas dónde la planta de fibra es abundante y ya existe o está construyéndose, incluyendo a los portadores de intercambio locales apoyados (ILECs), los portadores del intercambio locales competitivos (CLECs), portadores

de intercambio (IXCs), proveedores de servicios Internet (ISPs), compañías de cable, operadores de red privada, y compañías de utilidad. Tales portadores pueden ofrecer a menudo los nuevos servicios a menor costo que los más antiguos. Mucho del ahorro de costos es debido a la reducción de capas innecesarias de equipo que también bajan el costo de explotación y simplifica la arquitectura de la red. Los portadores actuales pueden renovar sus servicios proporcionando protocolos LAN transparentes, de alta velocidad y servicios SAN a las organizaciones grandes, así como una mezcla de servicios de la baja velocidad (Token Ring, FDDI, Ethernet) a las organizaciones pequeñas. Implementado una red óptica, están asegurando que pueden jugar en el campo competitivo del futuro de los servicios de red.

## **REQUISITOS EN MAN**

Los requisitos en el mercado metropolitano pueden diferir en algunos aspectos de aquéllos del mercado de la redes de larga distancia, las redes metropolitanas todavía son sólo un segmento geográficamente distinguido de la red global. Lo que pasa en el core debe soportarse en los bordes. Por ejemplo, el IP es el tipo de tráfico dominante, ya que el intercambio de datos con esta capa es un requisito, mientras no se ignore otro tráfico (TDM). La dirección de la red es ahora de preocupación primaria, y los esquemas de protecciones que aseguran la disponibilidad alta están dados.

Los requisitos importantes para los sistemas de DWDM en MAN incluyen lo siguiente:

- Soporte multiprotocolo
- Escalabilidad
- Confiabilidad y disponibilidad

- Apertura (las interfaces, manejo de la red, estándares de tipos de fibra, compatibilidad electromagnética)
- La facilidad de instalación y administración
- El tamaño y consumo de potencia
- La efectividad del costo

### ¿POR QUÉ DWDM?

De las perspectivas técnicas y económicas, la habilidad de proveer potencialmente una capacidad de transmisión ilimitada es la ventaja más obvia de tecnología DWDM. La inversión realizable en la planta de fibra no sólo puede conservarse, también puede optimizarse por un factor de por lo menos 32. Cuando la demanda cambie, más capacidad puede agregarse, y las actualizaciones del equipo son mas simples o simplemente aumentan el número de lambdas en la fibra, son actualizaciones o ampliaciones con un muy bajo costo. La capacidad puede obtenerse del costo del equipo y la inversión de planta de fibra existente se sostiene.

Desde el ancho de banda de DWDM, las ventajas técnicas pueden resumirse así:

- **Transparencia:** Como DWDM es una arquitectura de la capa física, puede apoyar TDM transparentemente y formatos de datos de ATM, Gigabit Ethernet, ESCON, y Fibre Channel con interfaces abiertas sobre una capa física común.
- **Escalabilidad:** DWDM utiliza la abundancia de fibra oscura en muchas MAN y redes corporativas para rápidamente satisfacer la demanda en capacidad de los enlaces punto a punto y en los enlaces de anillos de SONET/SDH existentes.

- **Aprovisionamiento Dinámico:** El aprovisionamiento dinámico, la rapidez y la simpleza de conexiones de red dan la posibilidad a los proveedores de proveer servicios de gran alto ancho de banda en días en lugar de meses.

## **SONET CON DWDM**

Usando DWDM como transporte para TDM, las inversiones en equipos SONET existentes pueden ser conservadas. A menudo las nuevas aplicaciones pueden eliminar capas de equipo. Por ejemplo, los equipos de multiplexado SONET pueden ser evitados en total uniendo directamente al equipo de DWDM de ATM y los conmutadores de paquetes dónde las interfaces de OC-48 son comunes (ver Figura 1-10). Adicionalmente, las actualizaciones no tienen que conformar interfaces específicas de tasa de bits, como con SONET dónde la agregación de afluentes se asegura en los valores específicos.

Las señales ópticas se atenúan cuando viajan a través de fibra y deben regenerarse periódicamente en las redes de Core. En SONET/SDH las redes ópticas antes de a la introducción de DWDM, cada fibra separada lleva una única señal óptica, típicamente a 2.5 Gbps, requiriendo un regenerador eléctrico separado cada 60 a 100 km (37 a 62 mi). Cuando las fibras adicionales eran “regresadas” en una red de Core, el costo total de regeneradores podría hacerse muy grande, porque no sólo el costo de los mismos regeneradores debe tenerse en cuenta, también los medios para alojarlos y potenciarlos deben ser considerados. La necesidad de agregar los regeneradores aumenta el tiempo necesario para colocar en funcionamiento las nuevas redes de fibra.

La parte superior de Figura 1-11 muestra la infraestructura exigida para transmitir a 10 Gbps (4 x OC-48 SR) en un tramo de 360 km (223 mi) usando equipo SONET;

la parte baja de la figura 1-11 muestra la infraestructura requerida para la misma utilización de la capacidad DWDM.

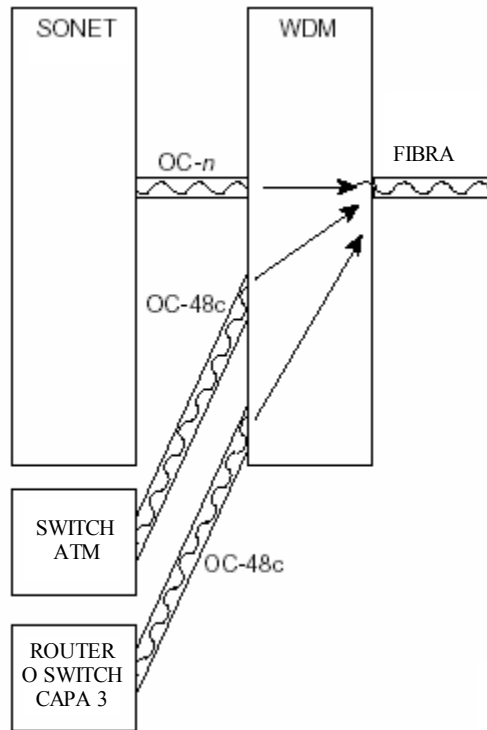


Figura 1-10 Interfaz directa SONET desde el Switch a DWDM

Mientras pudieran usarse los amplificadores ópticos en el caso de SONET para extender la distancia entre tramos antes de tener que amplificar el poder de la señal, allí todavía se necesitaría tener un amplificador para cada fibra. Con DWDM las cuatro señales pueden transportarse en un solo par de fibra (contra cuatro de SONET), se requiere menos unidades de equipo electrónico, eliminando el gasto de regeneradores (RPTR) requerido para obtener los mismos resultados de SONET, arroja como resultado ahorros considerables en equipo.

Un solo amplificador óptico puede amplificar todos los canales en una fibra de DWDM sin demultiplexarlos y procesarlos individualmente, con un costo que se acerca eso de un solo regenerador. El amplificador óptico solamente amplifica las

señales; no reforma o retransmite como lo hace un regenerador; esto no significa que las señales no necesiten ser regeneradas periódicamente. Pero dependiendo del diseño de sistema, ahora es posible transmitir en cualquier parte señales desde 600 hasta miles de kilómetros sin regeneración.

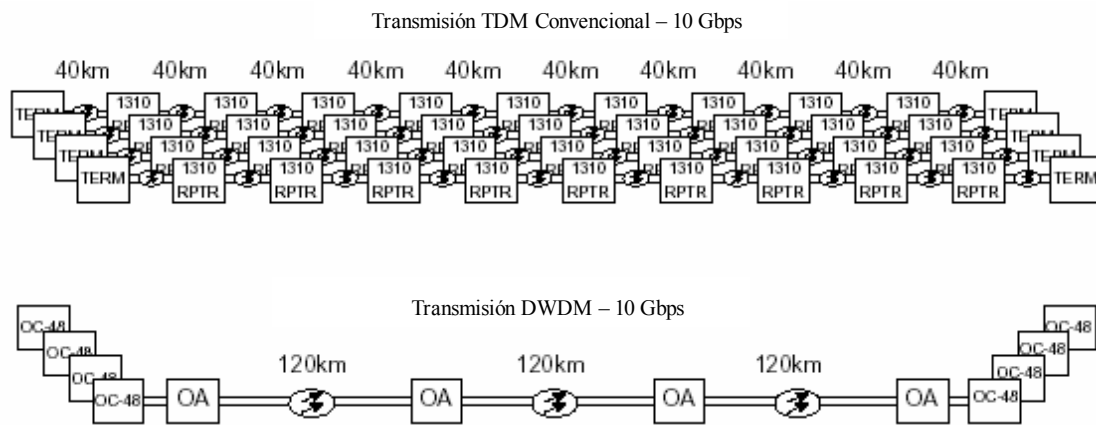


Figura 1-11 DWDM Elimina los Regeneradores

Además de reducir dramáticamente el costo de regeneradores, los sistemas DWDM simplifican la expansión de capacidad de la red. El único requisito es actualizar o instalar nuevas interfaces de tasa de bits en los sistemas de DWDM a cualquier extremo de la fibra. En algunos casos será sólo necesario aumentar el número de lambdas en la fibra desplegando las interfaces existentes, como se muestra en la mitad superior de la Figura 1-12. Los amplificadores ópticos existentes amplifican el nuevo canal sin los regeneradores adicionales. En el caso de agregar las interfaces de tasa de bits, como se muestra en la mitad de la Figura 1-12, el tipo de fibra debe tenerse en consideración.

Aunque los amplificadores son de gran beneficio en el transporte de larga distancia, ellos son a menudo innecesarios en las redes MAN. Donde la distancia entre los elementos de la red es relativamente corta, la integridad de los datos y la

potencia de la señal pueden ser adecuadas sin necesidad de amplificación. Pero con la expansión de MAN dentro de las redes de larga distancia, los amplificadores podrían ser utilizados.

## **AMPLIANDO LA CONFIABILIDAD Y EL RENDIMIENTO**

Las redes MAN y las redes corporativas soportan muchas aplicaciones críticas que requieren de una alta disponibilidad, como pagos y contabilidad en sistemas main frames o las instalaciones cliente servidor en los centros de procesamiento de datos. Copias de seguridad y procesamiento de datos descentralizado son esenciales. Estas aplicaciones, que soportan procesamiento en paralelo y recuperación de desastres, son aplicaciones que tienen un alto nivel de requerimientos para su óptimo rendimiento y confiabilidad.

Con DWDM, la red de transporte, es en teoría, limitada por la velocidad de la electrónica disponible. No hay necesidad de realizar conversión óptico-eléctrico-óptico (OEO) al usar los amplificadores ópticos, en lugar de los regeneradores en el link físico. Aunque no es prevaeciente, las interfaces ópticas directas al equipo DWDM también pueden eliminar la necesidad de una función OEO. Mientras los amplificadores ópticos son el mayor factor en la habilidad de extender el rango eficaz DWDM, otros factores también entran en la obra. Por ejemplo, DWDM está sujeto a la dispersión y efectos no lineales ópticos.

Muchos componentes, como el multiplexor óptico add/drop (OADM), son elementos pasivos, es decir, no requieren de alimentación eléctrica para funcionar. Adicionalmente, estos componentes tienden a tener un tiempo entre fallas (MTBF) muy alto. Los esquemas de protección implantados en los equipos DWDM y en el diseño de la red, son por lo menos tan robustos como los implementados en SONET.

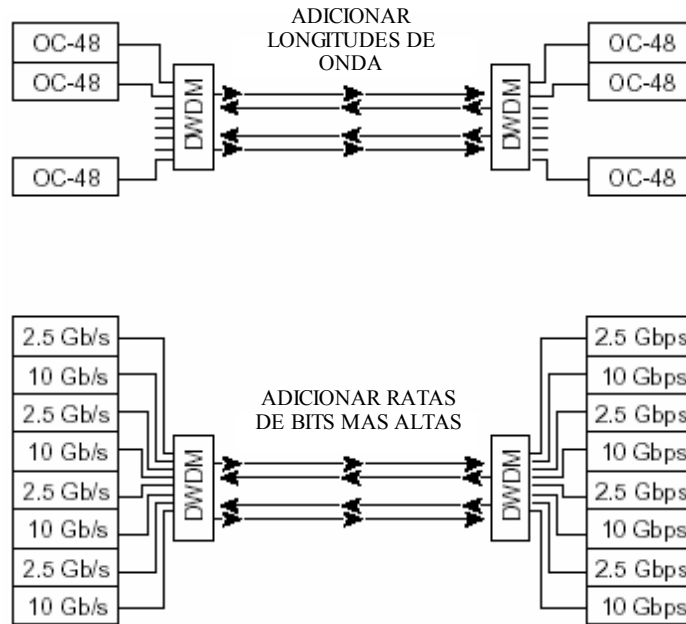


Figura 1-12 Actualizando a DWDM

Todos estos factores contribuyen al mejor rendimiento y bajo mantenimiento en la red óptica.

## CAPACIDAD DE ADMINISTRACION DE RED

Una de las ventajas ofrecidas por la tecnología SONET es la capacidad del canal de comunicación de datos (DCC). Usado para las funciones de operación, los DCCs envían señales como alarmas, datos de administración, señales de control de información, y mensajes de mantenimiento. Cuando SONET se transporta sobre DWDM, los DCCs continúan realizando estas funciones entre los elementos de la red SONET. Además, un sistema DWDM puede tener su propio canal de administración para la capa óptica. Una longitud de onda adicional (por ejemplo, la longitud de onda #33 en un sistema de 32 longitudes de onda) puede usarse como un canal de supervisión óptico. Para la administración de bandas, una cantidad pequeña de ancho de banda (por ejemplo, 8 kHz) puede reservarse para la base de administración por canal.

## **BENEFICIOS ADICIONALES**

El cambio en la composición de tráfico de la voz a los datos tiene implicaciones importantes para el diseño y funcionamiento de redes de portadoras. La introducción de tecnologías de conmutación por celda como ATM y Frame Relay demuestran las limitaciones de la banda estrecha y las redes basadas en conmutación de circuitos. Los datos no son más que un complemento a las redes orientadas a voz, pero es central a ellas. Hay requisitos fundamentalmente diferentes de las redes orientadas a datos; dos de éstos son el modelo de agregación y las interfaces abiertas versus las propietarias

La agregación en redes orientadas a voz consiste en multiplexar los numerosos tiempos hacia los medios de la transmisión y a muchos puntos en la red. La agregación en redes orientadas a datos, por el contrario, tiendan a pasar al borde. Con OC-48 (y superiores) las interfaces rápidamente están disponibles en la célula y en los conmutadores de paquetes, es posible eliminar el multiplexado costoso de SONET y los equipos de interconexión digital. Las conexiones de OC-48 pueden trabajar directamente en equipos DWDM.

Finalmente, los proveedores de servicios y las empresas pueden responder más rápidamente al mercado cambiante asignando ancho de banda según la demanda. La habilidad de aprovisionar rápidamente al proporcionar longitudes de onda a la demanda, crea nuevas oportunidades de arrendar longitud de onda (una alternativa a arrendar enlaces físicos o túneles limitados de rata de bits), servicios de recuperación de desastres, y VPNs ópticas.

# 2

## LOS PRINCIPIOS DE LA TECNOLOGÍA DWDM

El surgimiento de DWDM es uno de los más recientes e importantes fenómenos en el desarrollo de tecnología de transmisión sobre fibra óptica. Se examinarán las funciones y componentes de un sistema DWDM, incluso las tecnologías en desarrollo, y se concluirá con una descripción de alto nivel del funcionamiento de un sistema DWDM.

Este capítulo trata los siguientes temas:

- La evolución de la Transmisión sobre Fibra óptica
- Componentes y Funcionamiento
- Fibras ópticas
- Fuentes de Luz y Detectores
- Amplificadores ópticos
- Los multiplexores y Demultiplexores
- Interfaces DWDM
- El funcionamiento de un Transponder Basado en Sistemas DWDM

## LA EVOLUCIÓN DE LA TRANSMISIÓN SOBRE FIBRA ÓPTICA

En realidad, la transmisión sobre fibra óptica había sido experimentalmente probada en el siglo XIX, pero la tecnología empezó a avanzar rápidamente en la segunda mitad del siglo XX con la invención del fibroscopio, que encontró aplicaciones en la industria y medicina como en la cirugía del laparoscopia.

Después de descubrir la posibilidad de transmitir la luz sobre fibra óptica, el próximo paso en el desarrollo de fibras ópticas era encontrar una fuente de iluminación lo suficientemente poderosa y coherente. El diodo emisor de luz (LED) y el diodo láser demostraron ser capaces de reunir estos requisitos. Los láser pasaron por varias generaciones en los años sesenta, culminando con los láser semiconductores que se hoy se usan más ampliamente en las fibras ópticas.

La luz tiene una capacidad de transportar información 10,000 veces mayor que las radiofrecuencias más altas. Las ventajas adicionales de fibra sobre el cobre incluyen la capacidad de llevar señales a largas distancias, con una tasa de error muy baja, inmunidad a la interferencia eléctrica, seguridad, y bajo peso.

Consciente de estas características, a mediados de los 60 los investigadores en el tema propusieron que la fibra óptica podría ser un medio de la transmisión muy conveniente. Sin embargo había un obstáculo, y era la pérdida de fuerza de la señal, o atenuación. Finalmente, en 1970, Corning produjo las primeras fibras de vidrio con calidad adecuada para las comunicaciones. Con una atenuación menor a 20 decibeles por kilómetro (dB/km), esta fibra de vidrio purificada, excedió el umbral de hacer fibras ópticas con la tecnología disponible en ese momento.

Esta tecnología tuvo un avance lento en sus principios, AT&T estandarizó la primera transmisión a velocidad DS3 (45 Mbps) para las fibras multi modo.

Después de esto, se mostraron fibras mono modo capaces de proporcionar transmisiones 10 veces mas rápidas. A principios de los 80, MCI, seguido por Sprint, adoptaron las fibras mono modo para sus redes de larga distancia en Estados Unidos.

Desarrollos posteriores en fibra óptica, están estrechamente relacionada al uso de las regiones específicas en el espectro óptico, dónde la atenuación óptica es baja. Estas regiones, llamadas ventanas, quedan entre las áreas de absorción alta. Los primeros sistemas fueron desarrollados para operar alrededor de 850 nm, la primera ventana en la fibra óptica basada en silicio. Una segunda ventana (Banda S), a 1310 nm, pronto demostró ser superior debido a su más baja atenuación, seguido por una tercera ventana (Banda C) a 1550 nm con una menor atenuación.

Hoy, una cuarta ventana (banda L) cerca de 1625 el nm está en desarrollo. Estas cuatro ventanas se muestran relativas al espectro electromagnético en la Figura 2-1.

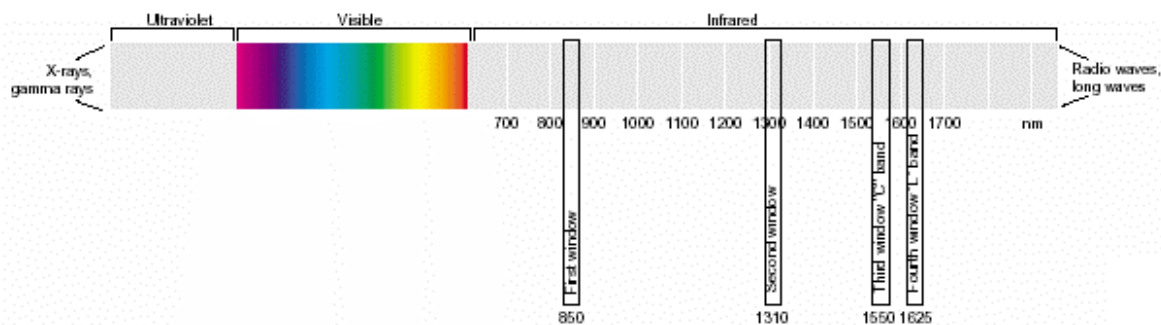


Figure 2-1 Regiones de Longitud de onda

## EL DESARROLLO DE LA TECNOLOGÍA DWDM

El desarrollo WDM empezó a finales de los 80 usando regiones en dos longitudes de onda ampliamente espaciadas; en los 1310 nm y 1550 nm (o 850 nm y 1310

nm), a veces llamadas *ancho de banda WDM*. La Figura 2-2 muestra un ejemplo de esta forma simple de WDM. Note que se usa una fibra del par de fibras para transmitir y uno se usa para recibir. Éste es el arreglo más eficaz y el mas encontrado en los sistemas DWDM.

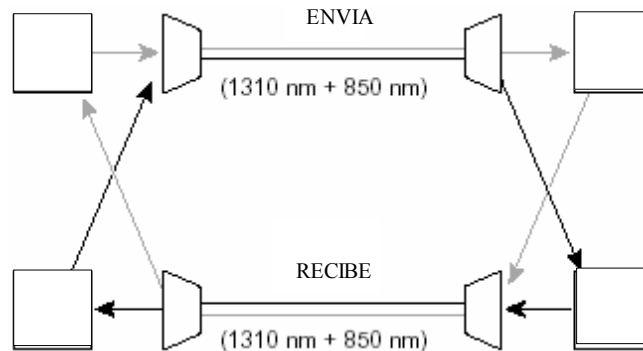


Figura 2-2 WDM con Dos Canales

A principios de los 90 viene la segunda generación de WDM, la banda estrecha a veces llamada WDM en que se pasaron de dos a ocho canales. Estos canales se espaciaron ahora a un intervalo de aproximadamente 400 GHz en la ventana de 1550 nm. A mediados de los 90, sistemas de densidad WDM (DWDM) estaban surgiendo desde 16 hasta 40 canales y estaban espaciados de 100 a 200 GHz. A finales de los 90, los sistemas de DWDM habían evolucionado al punto dónde ellos eran capaces trabajar de 64 a 160 canales paralelos, densamente empaquetados en intervalos de 50 o incluso 25 GHz.

Como se muestra en la Figura 2-3, la progresión de la tecnología puede verse como un aumento en el número de longitudes de onda acompañado por una disminución en el espacio de las mismas. Junto con la densidad aumentada de longitudes de onda, los sistemas avanzaron también en su flexibilidad de configuración, a través de las funciones modulares, y capacidades de dirección.

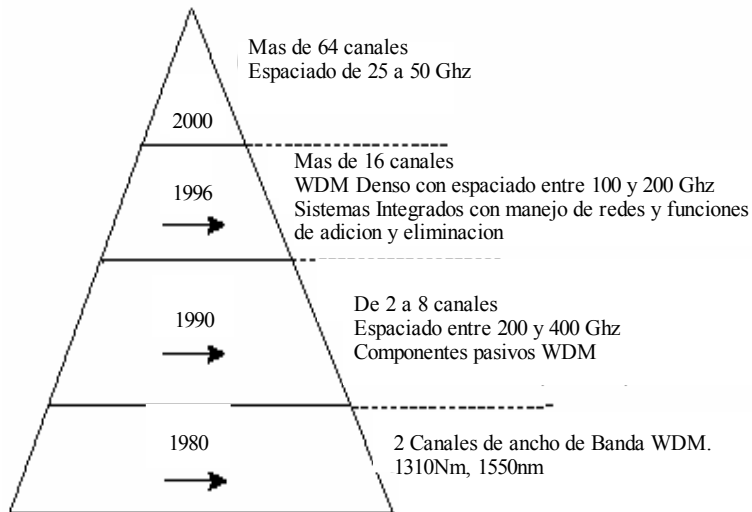


Figure 2-3 Evolución de DWDM

El incremento en la densidad del canal como resultado de la tecnología DWDM ha tenido un dramático impacto en las capacidades de transporte de la fibra. En 1995, cuando los primeros 10 sistemas de Gbps fueron demostrados, la tasa de expansión en la capacidad fue de un múltiplo lineal de cuatro cada cuatro años (ver Figura 2-4).

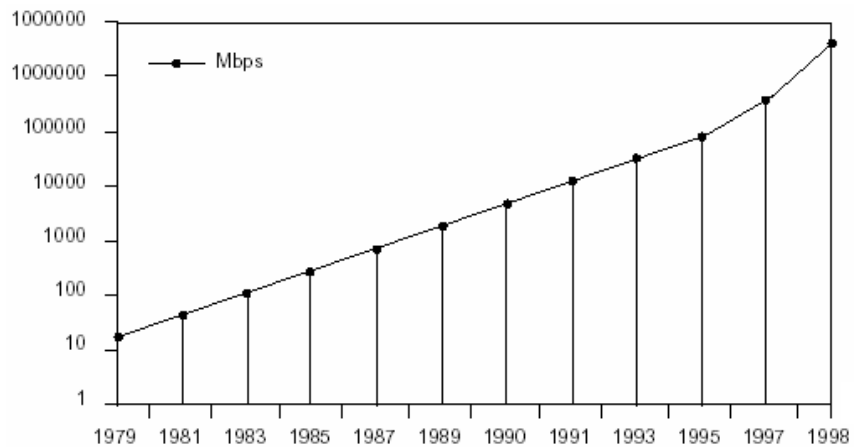


Figure 2-4 Crecimiento en la Capacidad de Fibra

## FUNCIONES DEL SISTEMA DWDM

En su núcleo, DWDM involucra un número pequeño de funciones de la capa física. Éstos se muestran en Figura 2-5 donde se muestra un DWDM esquemático de cuatro canales. Cada canal óptico ocupa su propia longitud de onda.

*NOTA: La Longitud de onda se expresa (normalmente en nanometers) como un punto absoluto en el espectro electromagnético. La luz efectiva a una longitud de onda dada se confina estrechamente alrededor de su longitud de onda central.*

El sistema realiza las siguientes funciones principales:

- **Transmisores:** La fuente, un láser de estado sólido, debe proporcionar la luz estable dentro de un ancho de banda específico, un ancho de banda estrecho que lleva los datos digitales, modulados como una señal analógica.
- **Combinadores:** Los sistemas modernos DWDM emplean los multiplexores para combinar las señales. Existe alguna pérdida inherente asociada con el multiplexado y demultiplexado. Esta pérdida es dependiente en el número de canales pero puede reducirse con amplificadores ópticos que amplifican todas las longitudes de onda directamente sin la conversión eléctrica.
- **Canal de transmisión:** El Efecto de diafonía y degradación de la señal óptica o pérdida deben tenerse en cuenta en la transmisión sobre la fibra óptica. Estos efectos pueden minimizarse controlando las variables como los espacios del canal, tolerancia de la longitud de onda, y niveles de poder de láser. Sobre de un enlace de transmisión, la señal puede necesitar ser amplificada ópticamente.
- **Separación de las señales recibidas:** En el receptor, las señales multiplexadas deben separarse. Aunque esta tarea parecería simplemente ser lo inverso de combinar las señales, es realmente más difícil técnicamente.

- Receptores de la señal: La señal demultiplexada se recibe por un detector óptico (Foto detector). Además de estas funciones, un sistema DWDM debe equiparse también con las interfaces del cliente para recibir la señal de entrada. Esta función es realizada por el transponder. En el lado de DWDM hay interfaces de la fibra óptica que se une directamente a los sistemas DWDM.

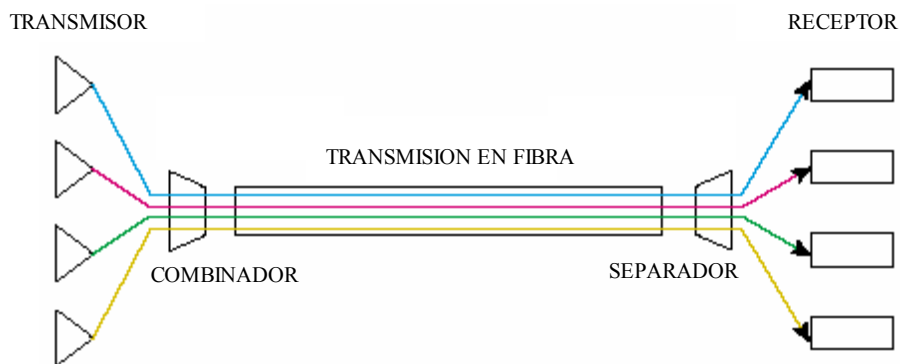


Figura 2-5 Esquema de un DWDM Funcional

## IMPLEMENTANDO LA TECNOLOGIA

La gestión de redes ópticas, diferentes a SONET/SDH, no se basan en el procesamiento de datos eléctricos. Como tal, este desarrollo está más estrechamente relacionado a la óptica que con la electrónica. WDM es capaz de transportar señales sobre dos longitudes de onda ampliamente espaciadas, y para una distancia relativamente corta. Para moverse más allá de este estado inicial, WDM necesita mejorar las tecnologías existentes y la invención de nuevas tecnologías. Las mejoras en los filtros ópticos y láseres de la banda estrecha le permitieron a DWDM combinar más de dos longitudes de onda de señal en una fibra. La invención del amplificador óptico de ganancia lineal, junto con la transmisión en línea sobre fibra para amplificar la señal óptica, aumentó

dramáticamente la viabilidad de sistemas DWDM extendiendo la distancia de la transmisión.

Otras tecnologías importantes en el desarrollo de DWDM son la fibra óptica mejorada de baja pérdida y mejores características de transmisión óptica, EDFAs, y dispositivos como fibra de Bragg usados en los multiplexores ópticos add/drop.

## COMPONENTES Y FUNCIONAMIENTO

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

- En el lado de transmisión, los láseres con precisas y estables longitudes de onda.
- En el enlace, la fibra óptica con baja pérdida y buen rendimiento de transmisión en los espectros de longitud de onda específicos, además de los amplificadores ópticos de ganancia lineal para empujar la señal en los tramos más largos
- En el lado del receptor, detectores ópticos y demultiplexores ópticos que usan filtros de película delgados o elementos difractivos
- Los multiplexores ópticos de add/drop y los componentes de interconexión.

Mientras mucha de esta información, particularmente los pros y contras de las tecnologías compitiendo, pueden ser de más importancia para un diseñador de sistema que a un usuario final o diseñador de la red, puede ser también de interés a otros lectores.

## LAS FIBRAS ÓPTICAS

El trabajo principal de las fibras ópticas es guiar longitudes de onda con un mínimo de atenuación (pérdida de señal). Las fibras ópticas están compuestas de hilos finos de vidrio en capas, llamados el core o núcleo, y el revestimiento, que pueden transmitir la luz a aproximadamente dos terceras partes de la velocidad de luz en el vacío. Aunque es una simplificación del efecto, la transmisión de luz en la fibra óptica se explica comúnmente usando el principio de reflexión interior total. Con este fenómeno, se refleja el 100% de la luz que golpea una superficie.

Comparativamente, un espejo refleja aproximadamente el 90% de la luz que lo golpea. La luz o se refleja (rebota) o se refracta (su ángulo es alterado mientras atraviesa un medio diferente) dependiendo de su ángulo de incidencia.

La reflexión interior total sucede cuando se reúnen las siguientes condiciones:

- Los haces de luz pasan de un material más denso a un material menos denso. La diferencia entre la densidad óptica de un material dado y un vacío es el índice refractivo del material.
- El ángulo incidente es menor que el ángulo crítico. El ángulo crítico es el ángulo de incidencia en donde la luz deja de ser refractada y es totalmente reflejada

El principio de reflexión interior total dentro de un núcleo de fibra se ilustra en la Figura 2-6. El núcleo tiene un índice refractivo superior que el revestimiento, permitiendo que el haz de luz que golpea la superficie con un ángulo menor que el ángulo crítico sea reflejado. El segundo haz no reúne el requisito del ángulo crítico y es refractado.

Una fibra óptica consiste en dos tipos diferentes de materiales, vidrio sólido muy puros (silica), el núcleo, compuesto son mixtos con los elementos específicos, el llamado dopaje, ajustar su índices refractivo.

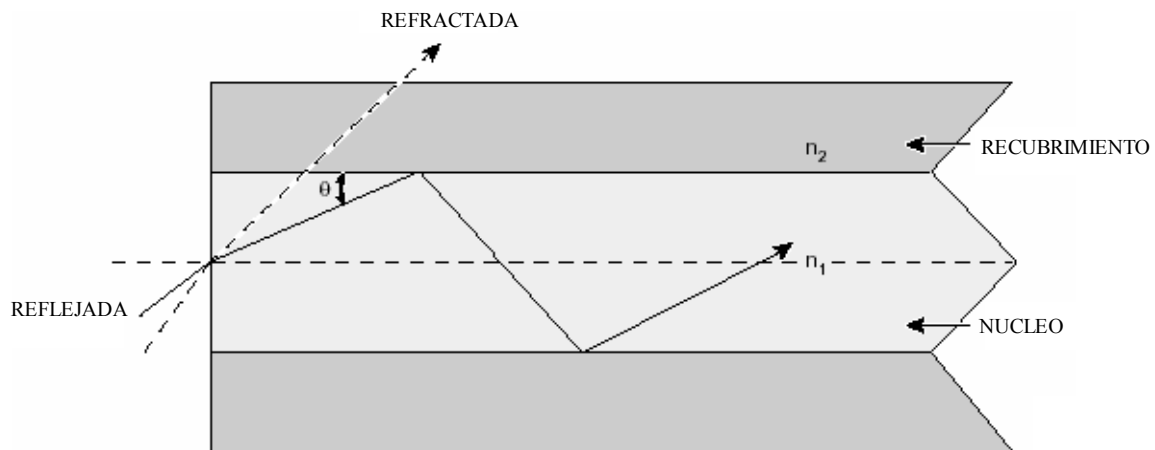


Figura 2-6 Principio de Reflexión Interior Total

La diferencia entre el índice refractivo de los dos materiales causa la mayoría de la luz transmitida para hacer botar fuera del revestimiento y quedarse dentro del centro. El requisito angular crítico se reúne controlando el ángulo a que la luz se inyecta en la fibra. Dos o más capas de revestimiento protector alrededor del revestimiento aseguran que del vaso puede ocuparse sin el daño.

## FIBRAS MONOMODO Y MULTIMODO

Hay dos categorías generales de fibra óptica en el uso hoy, fibra multimodo y fibra del monomodo. Multimodo, fue el primer tipo de fibra ser mercantilizado, tiene un centro más grande que fibra del monomodo. Recibe su nombre del hecho que los numerosos modos, o los rayos ligeros, puede llevarse simultáneamente a través del guía de onda. La figura 2-7 muestra un ejemplo de luz transmitido en el primer tipo de fibra multimodo, el llamado índice de paso. El índice de paso se refiere al hecho que hay un índice uniforme de refracción a lo largo del centro; hay un paso

así en el índice refractivo dónde el centro e interfaz del revestimiento. Aviso que los dos modos deben viajar las distancias diferentes para llegar a sus destinos. Esta disparidad entre las veces que los rayos ligeros llegan se llama la dispersión modal. Este fenómeno produce la calidad dla señal pobre al fin receptor y finalmente los límites la distancia de la transmisión. Esto es por qué la fibra multimodo no se usa en las aplicaciones de área extensa.

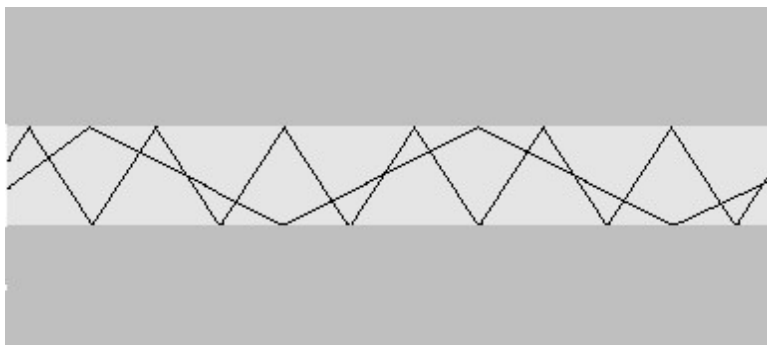


Figure 2-7 Luz Reflejada en el índice de paso en Fibra Multimodo

Para compensar para la desventaja de dispersión de índice de paso la fibra multimodo, las fibras de índice graduable fueron inventadas. El índice graduable se refiere al hecho que el índice refractivo del centro es gradualmente degradado entre los extremos disminuyendo hacia el centro. La refracción superior en el centro de la fibra retarda la velocidad de algunos rayos de luz, mientras permite a todos los rayos alcanzar su destino en el mismo tiempo y reduciendo la dispersión modal.

El segundo tipo general de fibra, el monomodo, tiene un centro de fibra mucho menor que permite sólo un modo de luz en un instante a través del centro (vea Figura 2-8). Como resultado, se retiene bien la fidelidad dla señal en las distancias más largas, y la dispersión modal es reducida. Estos factores se atribuyen como una capacidad de ancho de banda superior que las fibras multimodo. Por poseer

una capacidad de transporte de información grande y una pérdida intrínseca baja, se prefieren fibras de monomodo para larga distancia y aplicaciones de ancho de banda superiores, incluso DWDM.

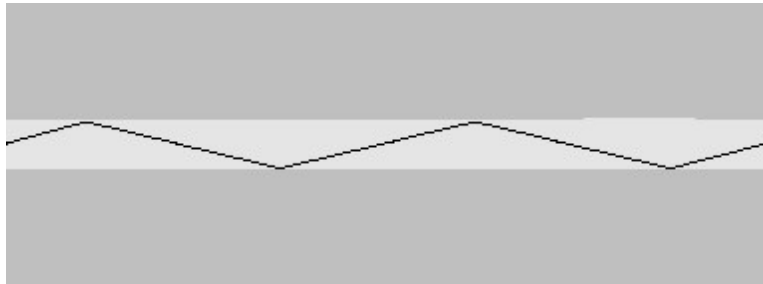


Figure 2-8 Luz Reflejada en Fibra Monomodo

## DISEÑO DE FIBRA MONOMODO

El diseño de fibra monomodo ha evolucionado durante varias décadas. Los tres principios y las características ITU de la fibra monomodo son:

- Non-dispersion-shifted fiber (NDSF), G.652
- Dispersion-shifted fiber (DSF), G.653
- Non-zero dispersion-shifted fiber (NZ-DSF), G.655

Como se muestra en la Figura 2-1, hay cuatro ventanas dentro del espectro infrarrojo que se ha explotado para la transmisión de fibra. La primera ventana, cerca de 850 nm, se usó casi exclusivamente para las aplicaciones de corto alcance en fibras multimodo. Las fibras Non-dispersion-shifted monomodo normal normalmente llamado SM , se diseñaron para el uso en la segunda ventana, cerca de 1310 nm. Para perfeccionar la actuación de la fibra en esta ventana, la fibra fue diseñada para que la dispersión cromática estuviera cercana a cero cerca de los 1310 nm.

Cuando el uso de fibra fue más común y las necesidades para el ancho de banda mayor y distancia se aumentaron, una tercera ventana, cerca de 1550 nm, se explotó para la transmisión en monomodo. La tercera ventana, la C, ofreció dos ventajas: tenía mucha más baja atenuación, y su frecuencia de operación estaba cercana a los nuevos amplificadores de fibra dopados con erbio (EDFAs). Sin embargo, sus características de dispersión estaban limitadas. Esto se superó hasta cierto punto usando láseres de mayor potencia.

Como la tercera ventana tiene menor atenuación que la ventana de 1310 nm, los fabricantes de fibra migraron sus esfuerzos al diseño de fibra Dispersion-shifted que tuviera el punto de cero dispersión en la región de los 1550 nm. Aunque esta solución significó que la atenuación óptica más baja y los puntos de cero dispersión coincidieran en la ventana de 1550 nm, se descubrieron no linealidades destructivas en la fibra óptica cerca del punto de cero dispersión sin que hubiera una compensación efectiva. Debido a esta limitación, este tipo de fibras no son convenientes para las aplicaciones DWDM.

El tercer tipo, las fibras Non-zero dispersion se diseñan específicamente para satisfacer las necesidades de aplicaciones de DWDM. El objetivo de este tipo de fibra es hacer la dispersión tan baja como sea posible, pero no cero en la región de los 1550 nm. Esta estrategia introduce eficazmente una cantidad controlada de dispersión que se opone a los efectos no lineales y efectúa como mezclador de 4 ondas que puede impedir la implementación de sistemas de DWDM.

## **LOS DESAFÍOS DE LA TRANSMISIÓN**

La transmisión de luz en la fibra óptica presenta varios desafíos con que deben tratarse. Estos caen dentro de estas tres categorías principales:

- Atenuación o pérdida de poder cuando la señal propaga a través de la fibra,
- Dispersión cromática de pulsos de luz cuando ellos viajan por la fibra.
- No linealidades, cambios acumulativos de la interacción de la luz con el material por el que se transporta resultan en cambios y/o interferencias en las longitudes de onda .

Cada uno de estos efectos tiene varias causas, no todos afectan DWDM. La discusión en las siguientes secciones se dirige esas causas que son pertinentes a DWDM.

## LA ATENUACIÓN

La atenuación en la fibra óptica es causada por los factores intrínsecos, principalmente dispersión y absorción, y por los factores extrínsecos, incluso la tensión del proceso industrial, el ambiente, y el empaque físico. La forma mas común de dispersión el Haz de luz, es causa por las variaciones pequeñas en la densidad del medio. Estas variaciones son menores que las longitudes de onda usadas y por consiguiente actúan como objetos de dispersión (vea Figura 2-9). La dispersión afecta las longitudes de onda cortas mas que a las longitudes de onda más largas y limita el uso de longitudes de onda por debajo de 800 nm.

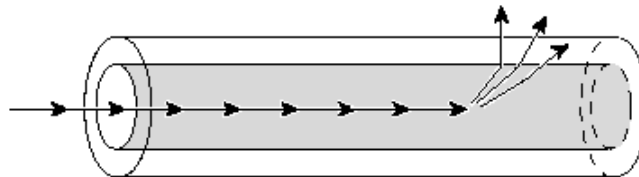


Figure 2-9 Dispersión

La atenuación debido a la absorción se causa por las propiedades intrínsecas del propio material, las impurezas la fibra, y cualquier defecto atómico en el cristal.

Estas impurezas absorben la energía óptica, generando una atenuación de la intensidad de la luz (vea Figura 2-10). Mientras el Haz de luz es importante en las longitudes de onda más cortas, la absorción intrínseca es un problema en las longitudes de onda más largas y aumenta dramáticamente sobre 1700 nm.

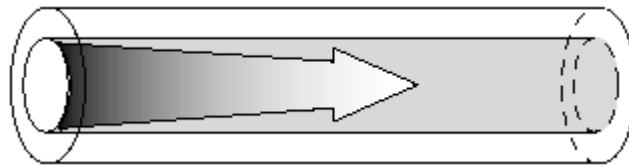


Figura 2-10 Absorción

El principal factor de atenuación en fibras ópticas obedece a la longitud de la fibra y las longitudes de onda utilizadas.

Para compensar la atenuación se utilizan principalmente amplificadores ópticos

## LA DISPERSIÓN

La dispersión es el ensanchado de los pulsos de luz cuando viajan a través de la fibra óptica. La dispersión produce distorsión de la señal (vea Figura 2-12) lo cual limita el ancho de banda de la fibra.



Figura 2-11 Principio de Dispersión

Dos tipos generales de dispersión afectan los sistemas de DWDM. La dispersión cromática, es lineal mientras que la dispersión de modo de polarización (PMD), es el nonlinear.

## LA DISPERSIÓN CROMÁTICA

La dispersión cromática ocurre porque las longitudes de onda diferentes se propagan a las velocidades diferentes. El efecto de dispersión cromática aumenta como el cuadrado de la velocidad de tráfico binario. En fibra monomodo, la dispersión cromática tiene dos componentes, dispersión material y dispersión de la guía de onda.

La dispersión material ocurre cuando las longitudes de onda viajan a velocidades diferentes a través del material. Una fuente de iluminación, emite varias longitudes de onda dentro de un rango. Así, cuando este rango de longitudes de onda viajan a través de un medio, cada longitud de onda individual llega en un momento diferente.

El segundo componente de dispersión cromática, la dispersión por guía de onda, ocurre debido a los índices refractivo diferentes entre el centro y el revestimiento de la fibra. El índice refractivo eficaz varía con la longitud de onda como sigue:

- A las longitudes de onda cortas, la luz se confina bien dentro del centro. Así el índice refractivo eficaz está cerca del índice refractivo del material del centro.
- A las longitudes de onda media, la luz se dispersa levemente por el revestimiento. Esto disminuye el índice refractivo eficaz.
- A las longitudes de onda largas, mucha información lumínica se dispersa en el revestimiento. Esto trae el índice refractivo eficaz cerca al del revestimiento.

Este resultado del fenómeno de dispersión de guía de onda es un retraso de la propagación de una o mas longitudes de onda con respecto a las otras.

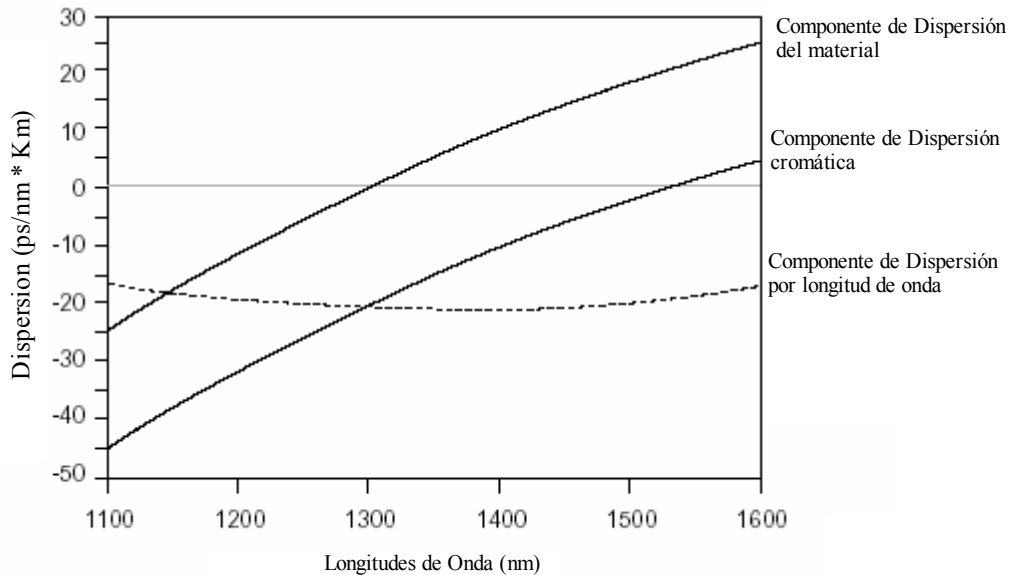


Figure 2-12 Dispersión Cromática

El total que la dispersión cromática, junto con sus componentes, es mostrada en la Figura 2-12 para la fibra dispersion-shifted. Para la fibra non-dispersion-shifted, la cera longitud de onda de dispersión es 1310 nm.

Aunque la dispersión cromática generalmente no es problema en las velocidades debajo de OC-48, aumenta con las velocidades de tráfico binario superiores debido a la anchura espectral requerida. En los Nuevos tipos de fibras zero-dispersion-shifted se reducen estos efectos. El fenómeno también puede controlarse con los compensadores de dispersión.

## LA DISPERSIÓN DE MODO DE POLARIZACIÓN

Más fibras del monomodo soportan dos modos de la polarización perpendiculares, uno vertical y uno horizontal. Como éstos estados de la polarización no se sostienen, ocurre una interacción entre los pulsos que resultan y la señal.

La dispersión de modo de polarización (PMD) se causa por la ovalación de la fibra como resultado del proceso industrial o de factores externos. Como la tensión puede variar con el tiempo, PMD, la dispersión cromática es diferente, esta sujeta a cambiar con el tiempo.

## OTROS EFECTOS NO LINEALES

Además de PMD, hay otros efectos no lineales. Porque los efectos no lineales tienden a manifestarse cuando la potencia óptica es muy alta, estos deben ser considerados en DWDM. Pueden compensarse efectos lineales como la atenuación y dispersión, pero los efectos del no lineales aumentan.

Estos son los mecanismos limitadores fundamentales a la cantidad de datos que pueden transmitirse en la fibra óptica. Los principales efectos no lineales son el esparcimiento estimulado Brillouin, esparcimiento estimulado Raman, modulación en la misma fase, y mezclado de cuatro ondas. En DWDM, mezclado de cuatro ondas es el más crítico de estos tipos.

El mezclado de cuatro ondas se causa por la naturaleza no lineal del índice refractivo de la fibra óptica. Las interacciones de no lineales entre los canales de DWDM diferentes crean bandas laterales que puede causar la interferencia entre canales. En la Figura 2-14 tres frecuencias actúan recíprocamente para producir

una cuarta frecuencia, mientras produciendo interferencia y degradación de la señal-a-ruido.

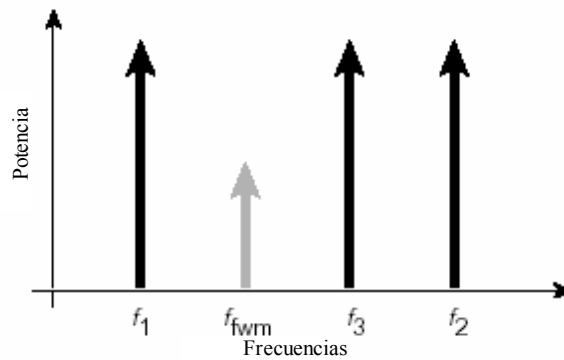


Figura 2-14 Mezclado a 4 ondas

El efecto del mezclado de cuatro ondas es limitar la capacidad del canal de un sistema de DWDM. El mezclado de cuatro ondas no puede filtrarse óptica o eléctricamente, y aumenta con la longitud de la fibra. Debido a estar propenso a generar mezclado, DSF no son recomendadas en aplicaciones WDM. Esto incitó la invención de NZ-DSF que se aprovecha del hecho que una cantidad pequeña de dispersión cromática puede usarse para disminuir el mezclado.

En las redes de larga distancia la mayoría de la fibra instalada es monomodo estandar (G.652) con alta dispersión en la ventana de los 1550nm que limita la distancia para la transmisión de OC-192. La dispersión puede reducirse usando los compensadores de dispersión. Fibra Non-zero dispersion-shifted puede desplegarse para OC-192 , pero el poder óptico superior introduce los efectos no lineales.

En las redes de corto distancia, PMD y efectos no lineales no son tan críticos como en los sistemas de larga distancia dónde las velocidades superiores (OC-192 y

superior) son mas comunes. Sistemas de DWDM que usan señales ópticos de 2.5 Gbps o menos no están sujetos a estos efectos no lineales en cortas distancias.

La mayoría de las fibras monomodo y sus aplicaciones pueden ser resumidas así:

- La fibra Non-dispersion-shifted fiber (SM normal) es utilizada en el 95 por ciento de las redes tendidas; esto es muy conveniente para TDM (canal simple) usando la region de 1310-nm, o DWDM usando la region de 1550-nm (con los compensadores de dispersión). Este tipo de fibra también puede apoyar 10 Gigabit Ethernet normal a las distancias hasta de 300 metros.
- Fibra Dispersion-shifted para TDM usando la region de 1550 nm, pero impropio para DWDM en esta región.
- Fibra Non-zero dispersion-shifted, Buena para TDM y DWDM usando la region de 1550 nm.
- Nuevos tipos de fibra que permiten que la energía para viajar más allá en el revestimiento, mientras crea una cantidad pequeña de dispersión al contador de mezclado de 4 ondas, y fibras dispersion-flattened que permiten uso de longitudes de onda más lejos de la longitud de onda óptima sin ensanchamiento del pulso.

NOTA: Como las velocidades de tráfico binario aumenta a 40 Gbps más allá, la interdependencia entre el diseño de sistema y el diseño de la fibra se aumentara en importancia en la planificación estratégica.

## **LAS FUENTES DE ILUMINACIÓN Y DETECTORES**

Las fuentes de luz y detectores de luz son los dispositivos activos en los extremos de un sistema de la transmisión óptico. Las fuentes de iluminación, o fuentes de luz, son dispositivos que convierten las señales eléctricos para convertirlos a señales lumínicas . El proceso de esta conversión, o modulación, puede lograrse modulando una onda continua de luz externamente o usando un dispositivo que

pueda generar luz modulada directamente. Los detectores de luz realizan la función opuesta. Son dispositivos Opto electrónicos que convierten los pulsos de luz en señales eléctricos.

## **EMISORES DE LUZ: LEDS Y LASER**

La fuente de iluminación usada en el plan de un sistema es una consideración importante porque puede ser uno de los elementos más costosos. Sus características son a menudo un factor muy fuerte al limitar el rendimiento del link óptico. Dispositivos emisores de luz usados en la transmisión óptica deben ser compactos, monocromos, estables, y duraderos.

NOTA: Monocromo es un término relativo; en la práctica hay sólo fuentes de iluminación dentro de un cierto rango. La estabilidad de una fuente de iluminación es una medida de que tan constante y estable es su intensidad y longitud de onda.

Se usan dos tipos generales de dispositivos emisores de luz en la transmisión óptica, mientras los diodos emisores de luz (LEDs) y diodos del láser, o los láser semiconductores. Los LED son los dispositivos relativamente lentos, conveniente para el uso a las velocidades de menos de 1 Gbps, ellos exhiben una anchura del espectro relativamente ancha, y ellos transmiten la luz en un cono relativamente ancho. Estos dispositivos baratos se usan a menudo en las comunicaciones de fibra multimodo. Por otro lado los láser semiconductores, tienen mejores las características de rendimiento acordes a las aplicaciones de fibra de monomodo.

Figure 2-15 muestra los principios generales de lanzar la luz de láser en fibra. El chip de diodo de láser emite la luz en una dirección para ser enfocado por la lente hacia la fibra y en la otra dirección hacia un fotodiodo. El fotodiodo que es orientado para reducir las reflexiones en la cavidad del láser proporciona una

manera de supervisar el rendimiento de los láser y proporcionar la regeneración para que puedan hacerse los ajustes.

Los requisitos para los láser incluyen una longitud de onda precisa, anchura del espectro estrecha, poder suficiente, y controlar del cambio en la frecuencia de un señal con el tiempo (*Chirp*). Los láser semiconductores satisfacen los primeros tres requisitos. Chirp, sin embargo, puede afectarse por la forma de modulación de la señal. En los láser modulados directamente, la modulación de la luz para representar los datos digitales se hace internamente.

Con la modulación externa, la modulación es realizada por un dispositivo externo. Cuando se modulan los láser semiconductores directamente, el Chirp puede volverse un factor limitando a las velocidades de tráfico binario altas (sobre 10 Gbps). La modulación externa, por otro lado, ayuda limitar el chirp. El esquema de la modulación externo se muestra en Figura 2-16.

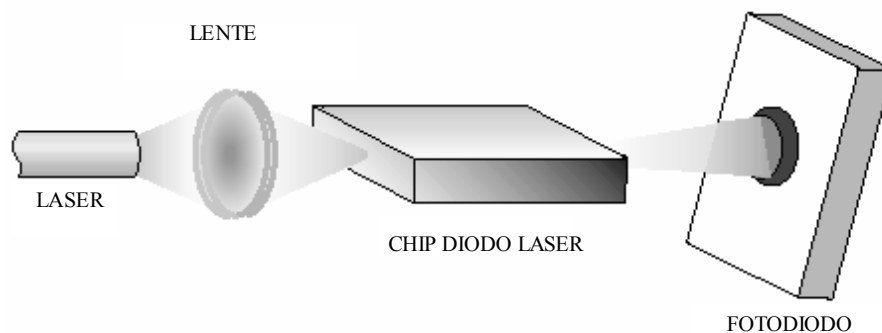


Figura 2-15 Diseño típico de laser

Se usan dos tipos de láser semiconductores, los láseres de Fabry-Perot monolíticos, y los láseres de realimentación distribuida (DFB). Este último tipo presenta muy buenas características para las aplicaciones de DWDM, como él es capaz de emitir luz casi monocroma, es capaz de llegar a velocidades altas, tiene

una proporción de la señal-a-ruido favorable, y tiene una linealidad superior. Los láser de DFB también tienen las frecuencias centrales en las regiones de 1310 nm, y de 1520 a 1565 nm. El último rango de la longitud de onda es compatible con EDFAs. Hay muchos otros tipos y subtipos de láser. Los láser sintonizables de espectro estrecho están disponibles, pero su rango de sintonía se limita a aproximadamente 100-200 GHz. Se encuentran en desarrollo láser sintonizables de espectro más anchos que serán importantes en las redes ópticas que cambian dinámicamente.

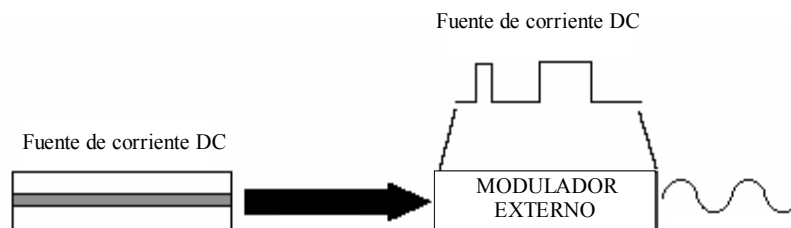


Figure 2-16 Modulación Externa de un Láser

## LA TABLA ITU

Los láser de DFB refrigerados están disponibles en las longitudes de onda precisamente seleccionadas. El proyecto de estándar ITU G.692 define una rejilla del láser para sistemas de WDM de punto a punto basados en espacios de longitud de onda de 100-GHz, con una longitud de onda central de 1553.52 nm (Tabla 2.1).

Mientras esta rejilla define una norma, los usuarios son libres de usar las longitudes de onda de las maneras arbitrarias y escogerlas de cualquier parte del espectro. Además, los fabricantes pueden desviarse de la rejilla extendiendo los límites superiores e inferiores o espaciando las longitudes de onda más estrechamente, típicamente a 50 GHz, para doblar el número de canales. Entre más pequeña sea

la separación entre canales, mas se presentara la diafonía de canal. Además, el impacto en las no linealidades de la fibra, como FWM, aumentan. También el espaciado a 50 GHz limita que los datos máximos por la longitud de onda sean 10 Gbps. Las implicaciones de la flexibilidad en la aplicación son dobles: no hay garantía de compatibilidad entre dos sistemas terminales de vendedores diferentes, y tampoco existe una norma para el diseño de las separaciones de longitud de onda y la velocidad del trafico binario máximo.

Frecuencia (THz)	Longitud de Onda (nm)	Frecuencia (THz <sup>1</sup> )	Longitud de Onda (nm <sup>2</sup> )	Frecuencia (THz <sup>1</sup> )	Longitud de Onda (nm <sup>2</sup> )
196.1	1528.77	194.6	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	192.5	1557.36
195.4	1534.25	193.9	1546.12	192.4	1558.17
195.3	1535.04	193.8	1546.92	192.3	1558.98
195.2	1535.82	193.7	1547.72	192.2	1559.79
195.1	1536.61	193.6	1548.51	192.1	1560.61
195.0	1537.40	193.5	1549.32	192.0	1561.42
194.9	1538.19	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

Tabla 2.1 Tabla ITU

## LOS DETECTORES DE LUZ

En la Terminal del receptor, es necesario recuperar las señales transmitidos por las diferentes longitudes de onda en la fibra. Como los fotodetectores son por naturaleza dispositivo de banda ancha, las señales ópticos son demultiplexados antes de alcanzar el detector.

Se utilizan dos tipos de fotodetectores, el fotodiodo positivo-intrínseco-negativo (el PIN) y el fotodiodo de avalancha (APD). Los fotodiodos NIP trabajan con los mismos principios de los LED pero en reversa. Es decir, la luz se absorbe tal como fue emitida y cada foton se convierte en electrón en una relacion 1:1. APD son dispositivos similares a los fotodiodos PIN, pero proporciona la ganancia a través de un proceso de amplificación: Un fotón que actúa en el dispositivo suelta muchos electrones. Los fotodiodos PIN tienen muchas ventajas, ya que tienen bajo costo y confiabilidad, pero los APD son mas sensibles y exactos. Sin embargo, APD son más caros que el fotodiodos PIN, requieren mucha corriente y son sensibles a la temperatura.

## LOS AMPLIFICADORES ÓPTICOS

Debido a la atenuación, hay límites a cuánto tiempo un segmento de fibra puede propagar un señal con la integridad antes de que tenga que ser regenerado. Antes de la llegada de amplificadores ópticos (OEA), se debía tener un repetidor para cada señal transmitido. El OA ha hecho posible amplificar todas las longitudes de onda directamente y sin conversión óptico-eléctrico-óptico (OEO). Además de usarse en los links ópticos, también pueden usarse para elevar la potencia de la señal después del multiplexado o antes de demultiplexado, pero ambos métodos pueden introducir la pérdidas en el sistema.

## EL AMPLIFICADOR DE FIBRA CON DOPAJE ERBIUM

Para hacer posible llevar grandes cargas que DWDM y ser capaz de transmitir a largas distancias, el EDFA fue una tecnología importante. Al mismo tiempo, ha sido una fuerza importante en el desarrollo de otros elementos y tecnologías de red.

El Erbium es un elemento de las tierras raras que, cuando es excitado, emite luz alrededor de 1.54 micras de longitud de onda, la de mas baja perdida para fibras ópticas usadas en DWDM. La Figura 2-17 muestra un diagrama simplificado de un EDFA. Una señal débil entra en la fibra erbiom cuya luz esta en en 980 nm o 1480 nm. Esto inyecta luz que estimula los átomos del erbiom para soltar su energía guardada como luz adicional a 1550-nm. Cuando este proceso continúa dentro de la fibra, la señal se hace más fuerte. Las emisiones espontáneas en el EDFA también agregan el ruido a la señal; esto determina la figura del ruido de un EDFA.

Los parámetros de rendimiento importantes en amplificadores ópticos son la ganancia, rango de ganancia plana, nivel del ruido, y potencia de salida. EDFAs son típicamente capaces de ganancias de 30 dB o más y una potencia de salida de +17 dB o más. Los parámetros a tomar en cuenta para seleccionar un EDFA, sin embargo, son ruido bajo y la ganancia plana. La ganancia debe ser plana porque todas las señales deben amplificarse uniformemente. Mientras la ganancia señalada proporcionada con la tecnología EDFA es inherentemente dependiente a la longitud de onda, puede corregirse con filtros de ganancia plana.

El ruido bajo es un requisito porque el ruido, junto con la señal, es amplifica. Como este efecto es acumulativo, y no puede filtrarse, la relacion señal-a-ruido es un factor limitante en el número de amplificadores que pueden encadenarse y, por consiguiente, la longitud de un solo link de fibra. En la práctica, las señales pueden viajar para hasta 120 km (74 mi) entre los amplificadores. Para distancias más

largas de 600 a 1000 km (372 a 620 mi) la señal debe regenerarse. Eso debe realizarse porque el amplificador óptico solo amplifica las señales ópticas y no realiza las funciones 3R (reshape, retime, retransmit). EDFAs están disponibles para banda C y banda L.

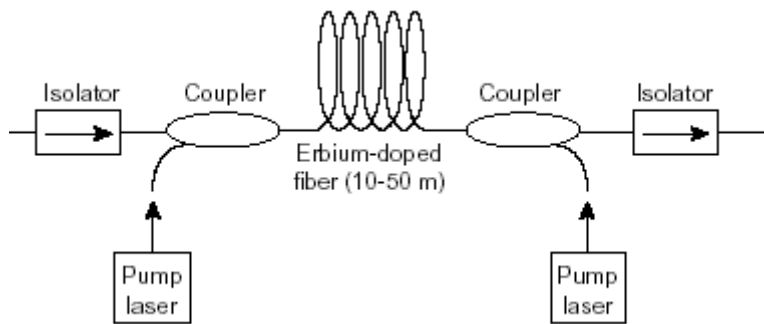


Figura 2.17 Diseño de un amplificador de fibra dopado con erbio

## MULTIPLEXORES Y DEMULTIPLEXORES

Como los sistemas DWDM envían las señales de varias fuentes sobre una sola fibra, ellos deben incluir algunos medios para combinar las señales entrantes. Esto se hace con un multiplexor que toma las longitudes de onda ópticas de las múltiples fuentes y los converge en un único haz. En el otro extremo, el receptor del sistema debe separar los componentes de la luz para que ellos puedan detectarse discretamente. Los demultiplexores realizan esta función separando el haz de luz recibido en sus componentes de longitud de onda y acoplándolos a las fibras individuales. El demultiplexado debe hacerse antes de la luz que sea detectada, porque los fotodetectores son dispositivos de banda ancha que no pueden descubrir una sola longitud de onda selectivamente.

En un sistema unidireccional (vea Figura 2-18), hay un multiplexor en el emisor y un demultiplexor en el receptor. Dos sistemas son requeridos a cada extremo para la comunicación bidireccional, y se necesitarían dos fibras separadas.

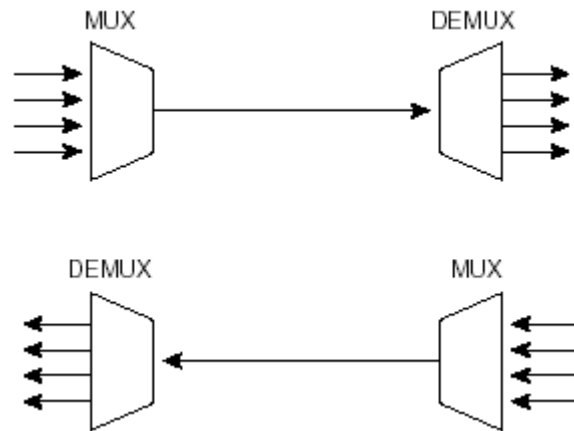


Figura 2.18 Multiplexado y Demultiplexado en un Sistema Unidireccional

En un sistema bidireccional, hay un multiplexor/demultiplexor a cada extremo (Figura 2-19) y la comunicación está sobre un solo par de fibra

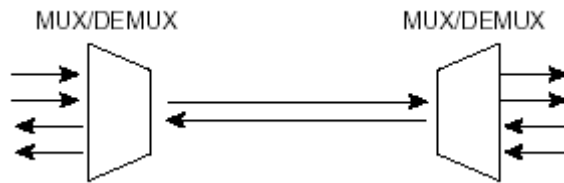


Figura 2.19 Multiplexado y Demultiplexado en un Sistema Bidireccional

Los multiplexores y demultiplexores pueden ser pasivos o activos. Los diseños pasivos son basados en prismas, difracción, o filtros, mientras los diseños activos combinan los dispositivos pasivos con los filtros sintonizables. La primer meta en estos dispositivos es minimizar la interferencia y aumentar al máximo la separación del canal. La interferencia es una medida de cuanto estan serparados

los canales, mientras la separación del canal se refiere a la habilidad de distinguir cada longitud de onda.

## LAS TÉCNICAS PARA MULTIPLEXADO Y DEMULTIPLEXADO

Una forma simple de multiplexado o demultiplexado de luz se puede lograr utilizando prismas. La figura 2.20 demuestra el caso del demultiplexado. Un haz paralelo de luz policromática choca con una superficie del prisma; cada longitud de onda del componente se refracta diferentemente. Esto es el efecto “el arco iris”. En la luz de salida, cada longitud de onda está separada de la siguiente por un ángulo. Un lente enfoca cada longitud de onda al punto donde necesita entrar en la fibra. Los mismos componentes pueden usarse en reversa para extraer las longitudes de onda sobre una fibra.

Otra tipo de tecnología se basa en los principios de difracción y de interferencia óptica. Cuando una fuente de iluminación policromática choca con una superficie de difracción (vea Figura 2-21), cada longitud de onda es difractada a un ángulo diferente y por consiguiente a un punto diferente en el espacio. Usando una lente, estas longitudes de onda pueden enfocarse hacia las fibras individuales.

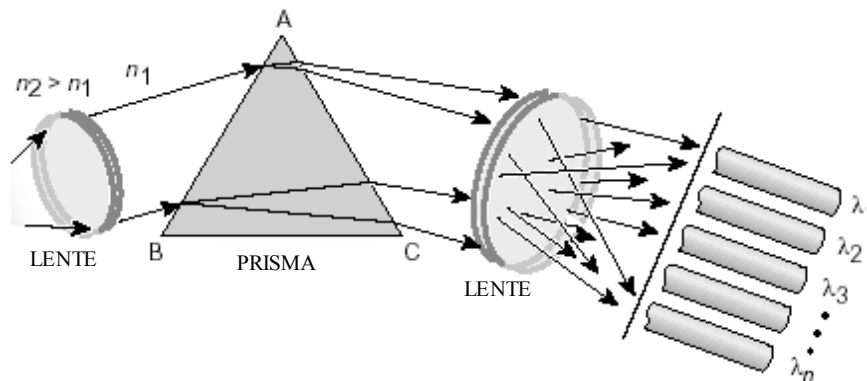


Figura 2.20 Demultiplexado por Refracción del Prisma

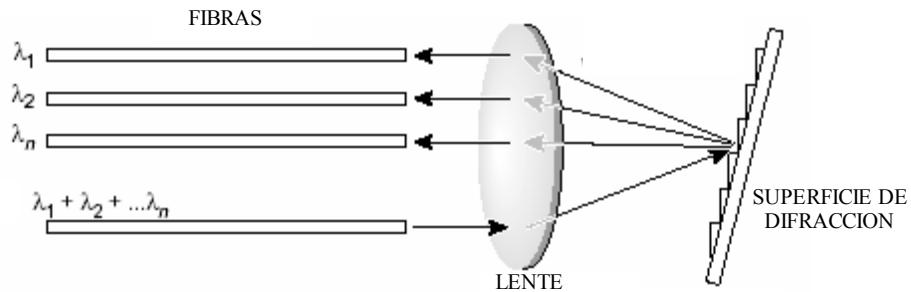


Figura 2.21 Guia de onda por Difracción

Los Arrayed waveguide gratings (AWG) también se basan en los principios de la difracción. Un dispositivo de AWG, a veces llamado enrutador de guía de onda óptica, consiste en una serie de guías de ondas del canal curvado con una diferencia fija en la longitud de la ruta entre los canales adyacentes (Figura 2.22). Las guías de ondas se conectan a las cavidades a la entrada y salida. Cuando la luz entra en la cavidad de entrada, es difractada y entra en la serie de guías de onda. Allí la diferencia de longitud óptica de cada guía de onda introduce los retrasos de fase en la cavidad del rendimiento donde las fibras son acopladas. El proceso produce longitudes de onda diferentes que tienen la interferencia máxima en diferentes lugares que corresponden a los puertos de salida.

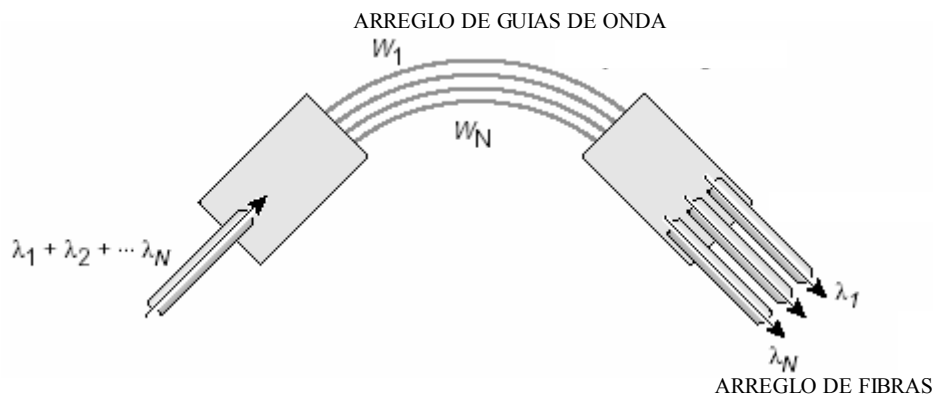


Figura 2.22 Arreglo de Guía de onda

Una tecnología diferente usa filtros de interferencia, llamados filtros de película delgada o filtros de interferencia multicapa. Al posicionar los filtros, que consisten

en películas delgadas, en el camino óptico, las longitudes de onda pueden ordenarse (demultiplexado). La propiedad de cada filtro es tal, que transmite una longitud de onda mientras reflejando las otras. Al colocarlos en cascada, estos dispositivos, pueden demultiplexar muchas longitudes de (Figura 2.23).

De estos diseños, los AWG y los filtros de película delgados son mas prometedores. Los filtros ofrecen buena estabilidad y aislamiento entre los canales a costo moderado, pero con una pérdida de la inserción alta. AWGs dependen de la polarización (qué ser puede compensada), tienen una respuesta espectral plana y una pérdida de la inserción baja. Una desventaja potencial es que son sensibles a la temperatura, por esto no son prácticos en todo los ambientes. Su gran ventaja es que ellos pueden diseñarse para realizar multiplexado y demultiplexado simultáneamente. Los AWG también son buenos para canales grandes dónde el uso de filtros de película delgados en cascada es impráctico.

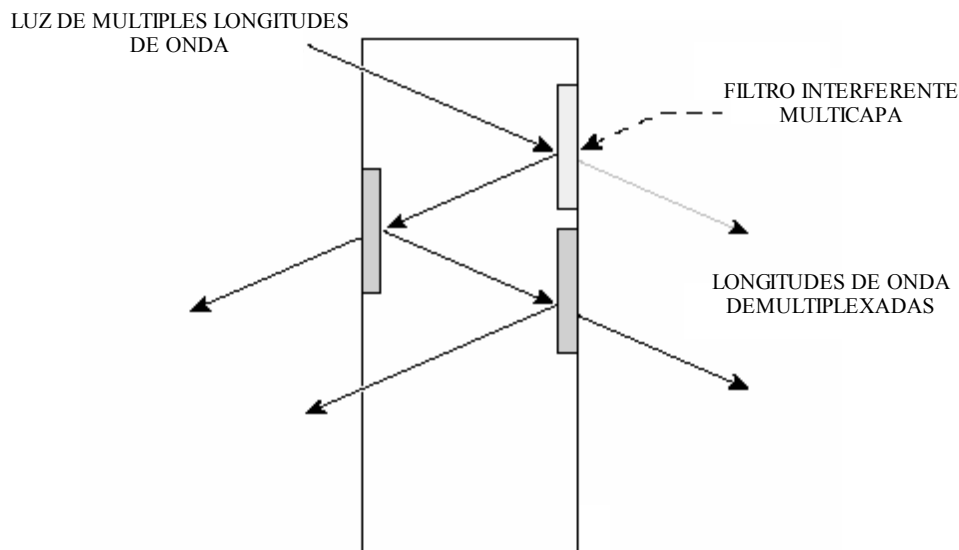


Figura 2.23 Filtros de Interferencia Multicapa

## LOS MULTIPLEXORES DE ADD/DROP ÓPTICOS

Entre el multiplexado y el demultiplexado apunta un sistema DWDM, como se muestra en Figura 2.18, hay un área donde existen muchas longitudes de onda. A menudo se desea poder quitar o insertar una o más longitudes de onda en algún punto a lo largo del enlace. Un multiplexor del add/drop óptico (OADM) realiza esta función. En lugar de combinar o separar todas las longitudes de onda, el OADM puede quitar algunas y dejar pasar las otras. OADMs son una parte importante para lograr redes totalmente ópticas

OADMs son similares en muchos respetos a SONET ADM, solo que se agragan o retiran longitudes de onda, y no existe ninguna conversión de señal de óptico-electrico-optico. La figura 2.24 es una representación esquemática del proceso de agragación. Este ejemplo incluye los dos procesos pre y post amplificación; estos componentes pueden o no estar presente en un OADM, dependiendo de su diseño.

Hay dos tipos generales de OADMs. La primera generación es un dispositivo fijo que se configura para eliminar longitudes de onda predeterminadas específicas físicamente mientras agrega otras. La segunda generación es reconfigurable y capaz de seleccionar dinámicamente qué longitudes de onda se agregan y cuales se dejan caer. Los filtros de película delgada han surgido como la tecnología para OADM en sistemas MAN con DWDM debido a su bajo costo y estabilidad. Para el surgimiento de la segunda generación de OADMs, otras tecnologías como los accesos de fibra sintonizables y los circuladores, se hacen prevalecientes.

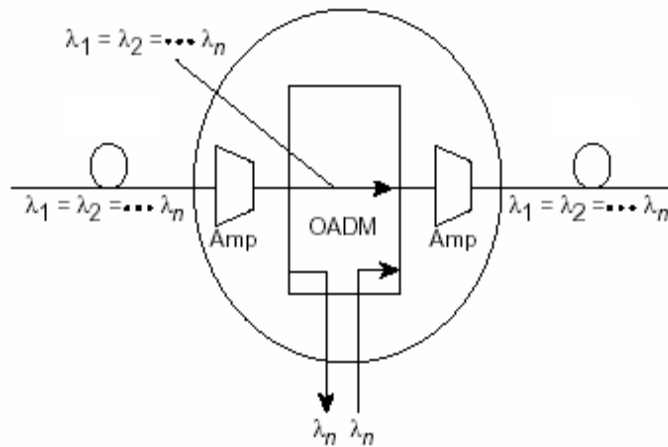


Figura 2.24 Quitando y agregando longitudes de onda selectivamente

## LAS INTERFACES DWDM

La mayoría de los sistemas DWDM se apoya en interfaces ópticas SONET/SDH que el dispositivo del cliente pueda reconocer. En los sistemas de WDM de larga distancia, ésta es el más a menudo una interfaz de OC-48c/STM-16c que opera en longitud de onda de 1310 nm. Además, otras interfaces importantes en el área metropolitana y redes de acceso son soportadas: Ethernet (incluso Fast Ethernet y Gigabit Ethernet), ESCON, Cronómetro de Sysplex y enlaces de facilidad Sysplex Coupling, y Canal de Fibra. El nuevo estándar 10 Gigabit de Ethernet es soportado utilizando interfaces (VSR) OC-192 sobre fibra y entre 10 Gigabit Ethernet y el equipo DWDM.

En el lado del cliente puede haber terminales SONET/SDH o ADMs, switches ATM, o enrutadores. Para Convertir las señales ópticas entrantes (Estándar ITU) en sus longitudes de onda precisas para ser multiplexados, los transponders son actualmente una llave determinante para la apertura de sistemas DWDM.

Un transponder convierte la señal óptica del cliente en un señal eléctrico dentro del sistema de DWDM y realiza las funciones 3R (Figura 2.25). Esta señal eléctrica se

usa para manejar el láser WDM. Cada transponder dentro del sistema convierte la señal de su cliente a una longitud de onda ligeramente diferente. Entonces las longitudes de onda de todo el transponder en el sistema son óptimamente multiplexadas. En el otro extremo del sistema DWDM, se realiza el proceso inverso. Se filtran las longitudes de onda individuales de la fibra multiplexadas y se alimentan a transponders individuales que convierte la señal a eléctrico y lo lleva a la interfaz del cliente.



Figura 2.25 Funciones del Transponder

Los nuevos diseños incluyen interfaces pasivas que aceptan la luz directamente del switch o enrutador con una interfaz óptica.

## EL FUNCIONAMIENTO DE UN TRANSPONDER BASADO EN DWDM

La Figura 2.26 muestra el funcionamiento punto a punto de un sistema DWDM unidireccional.

Los siguientes pasos describen el sistema mostrado en Figura 2.26:

1. El transponder acepta la entrada en el formato del laser monomodo o multimodo. La entrada puede venir de los medios de comunicación físicos diferentes, y diferentes protocolos y tipos de tráfico.
2. La longitud de onda de cada señal de entrada se mapea en una longitud de onda de DWDM.

3. Las longitudes de onda de DWDM del transponder son multiplexadas en una única señal óptica y se lanza sobre la fibra. El sistema también podría incluir la capacidad de recibir las señales ópticas directos al multiplexor; tales señales podrían venir de un nodo del satélite, por ejemplo.
4. Un post amplificador eleva la potencia de señal óptica sin insertar cantidades considerables de ruido (Opcional).
5. Se usan amplificadores ópticos a lo largo del tramo de fibra como sean necesarios (Opcional).
6. Un pre-amplificador eleva la señal antes de que entre en el sistema de salida (Opcional).
7. La señal entrante es demultiplexada en el lambdas de DWDM individuales (o longitudes de onda).
8. Los lambdas de DWDM individuales se mapean al tipo de salida requerido (por ejemplo, fibra monomodo OC-48) y enviado a través del transponder

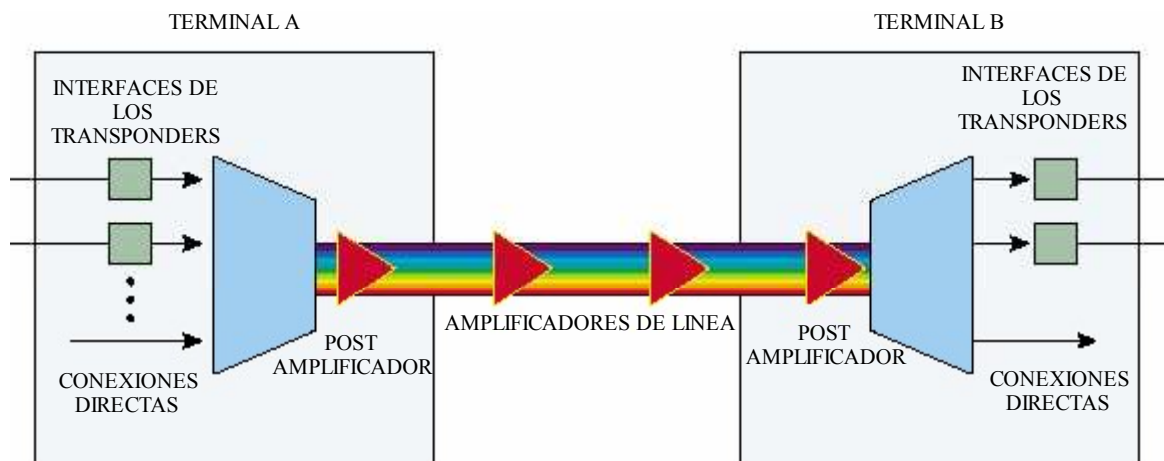


Figura 2.26 Esquema de un Sistema basado en DWDM

# DWDM EN REDES DE ÁREA METROPOLITANA

Las largas distancias hacen posible mediante avances tecnológicos como amplificadores ópticos, compensadores de dispersión, y diferentes tipos de fibras, resultados en el despliegue inicial de la Tecnología DWDM en larga distancia transoceánico y redes terrestres. Una vez estas tecnologías fueron comercialmente viables en el mercado, fueron el siguiente paso lógico para desplegarlas en el área metropolitana y, eventualmente, en el acceso a redes utilizando arquitecturas híbridas de fibra y coaxial. Comenzamos la siguiente discusión considerando el principal transporte y las principales tecnologías utilizadas en las redes metropolitanas. Entonces, resumidamente exploramos algunas de las aplicaciones potenciales de DWDM en estas redes, y examinamos las topologías que pueden ser desplegadas. Continuamos examinando los mecanismos de protección y los esquemas que están disponibles para asegurar confiabilidad, y concluimos con un vistazo al futuro de las Redes Ópticas.

Este capítulo contiene las siguientes secciones:

- Tecnologías en el mercado metropolitano
- Aplicaciones y servicios en MAN

- Topologías y esquemas de protección para DWDM
- Consideraciones prácticas en el despliegue DWDM
- El Futuro de DWDM

## **TECNOLOGÍAS EN EL MERCADO METROPOLITANO**

Numerosas tecnologías para el transporte y encapsulación de datos han sido defendidos en el mercado metropolitano. Una característica de estas redes, como lo mencionamos anteriormente, son llamadas para soportar una variedad de viejos y nuevos tipos y ratas de tráfico, sin embargo, hay una tendencia a utilizar la capa óptica para el transporte de datos digitales.

### **SONET/SDH**

SONET/SDH ha sido la base para redes MAN durante la última década., sirviendo como la capa de transporte fundamental para redes basadas en TDM y sobre todo para redes de datos. Mientras SONET/SDH se ha desarrollado dentro de una tecnología muy elástica, permanece como una herramienta costosa. Ineficiencias inherentes en la adaptación de servicios optimizados de jerarquía de voz y una jerarquía inflexible al multiplexado de datos se convierte en un problema.

### **ATM**

Muchos proveedores de servicio prefieren ATM porque puede encapsular diferentes protocolos y tipos de tráfico dentro de formato común para la transmisión sobre una infraestructura SONET. Sin embargo el mundo de las redes de datos, el cual es irresistiblemente orientado a IP, favorece nuevamente el paquete SONET (POS), el cual obvia la costosa capa intermedia ATM. Avances en IP, combinados con la capacidad de escalado de rutas de gigabits y multigigabits,

hacen posible considerar una IP basada en redes, que es bien soportada en el transporte del tráfico de datos primordialmente, y de voz secundariamente.

No obstante, ATM sigue siendo fuerte en el área metropolitana. Puede acomodar interfaces de línea de alta velocidad y provee el manejo de circuitos virtuales mientras que ofrece mayor capacidad para el manejo del tráfico. Así la ventaja de los dispositivos ATM son usadas comúnmente para terminar el tráfico, incluyendo VoIP, DSL, y Frame Relay.

### **Gigabit Ethernet**

Gigabit Ethernet (GE) es una tecnología de fácil migración e integración dentro del Ethernet tradicional. Esto es relativamente menos costoso comparado con otras tecnologías que ofrecen la misma ruta de transmisión, pero no provee calidad de servicio (QoS) o tolerancia a fallas en si mismo. Cuando se juntan topologías de punto a punto, las colisiones y el acceso de transporte en múltiples sentidos (CSMA), no son de mucha importancia, resultando mucho más efectivo el uso total del ancho de banda. Porque la capa óptico-física puede soportar distancias mucho más largas que el tradicional cable de VTP, de nuevo la fibra Gigabit Ethernet (1000BASE-LX, por ejemplo) puede ser extendida dentro del reino de ancho de área utilizando DWDM.

Los últimos adelantos en la tecnología Ethernet , 10 Gigabytes Ethernet, está siendo manejado por la necesidad de interconectar redes Ethernet LAN operando en 10, 100, a 1000 megabytes por segundo. 10 Gigabytes Ethernet pueden ser utilizados para agregar links de acceso mas lentos, en las redes firmes y para acceder a las redes WAN. Utilizando láser seriales de 1550-nm distanciados de 40 a 80 Km (25 a 50 mi ), es posible proveer 10 Gigabit Ethernet sobre la fibra estándar SM. Con dicha tecnología, los proveedores de servicio pueden construir

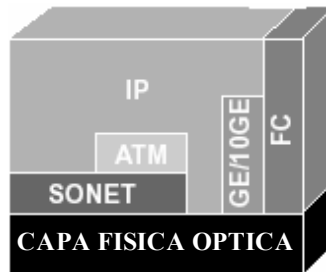
redes Ethernet simples sobre fibras ocultas sin SONET o ATM, y una provisión de alta velocidad 10/100/1000 Mbps, y servicios a un costo muy bajo. Además una muy corta extensión de interfaz (VSR) OC-192 puede ser usada para conectar 10 Gigabit Ethernet a un equipo DWDM sobre fibra MM.

Ethernet ofrece las ventajas técnicas de una tecnología probada, adaptable, confiable y descomplicada, y el costo es mucho menor que el de SONET y ATM. Arquitectónicamente hablando.

Las ventajas de Ethernet están en el emergente potencial de servir como una solución estable extremo a extremo. El manejo de la red también puede ser improvisado mediante la utilización de Ethernet a través de las redes MAN y WAN.

## IP

Claramente, como un tradicional circuito interrumpido, el migrar servicios a redes IP estas debieron evolucionar para acomodarse al tráfico. Sin embargo, IP puede necesitar llegar a ser tan compleja como ATM para reemplazar su funcionamiento. Así, tanto ATM como IP son candidatos para transportar directamente sobre DWDM. En cualquier caso, el resultado es una infraestructura de red simplificada, debido a la disminución del costo de algunos de los elementos de la red y menos fibra, abre interfaces e incrementa la flexibilidad y estabilidad. La pregunta es, ¿en cuál formato viajará IP sobre una red óptica: IP sobre ATM sobre SONET, IP sobre SONET (como POS), o IP sobre Gigabit Ethernet o 10 Gigabit Ethernet? (*figura 3-1*)



*Figura 3.1. Link de datos y protocolos de red sobre la capa óptica.*

## CANAL DE FIBRA (FIBRE CHANNEL)

El canal de fibra es la tecnología de enlace de datos predominante usada en SAN. El canal de fibra es un reemplazo económico para el Small Computer System Interface (SCSI), interfaz de protocolos de alta velocidad para aplicaciones como copias de seguridad, recuperación y reprovisión de datos. Las interfaces de canal de fibra hoy en día están disponibles en 100 Mbps; las interfaces de 200 Mbps deben estar disponibles en un futuro cercano, y se están estudiando las interfaces de 400 Mbps.

**Nota.** Por convención, las rutas de transferencia por depósitos son especificadas en Megabits por segundo (Mbps)

El canal de fibra viene sin las limitaciones de muy corta distancia que tiene SCSI; también las restricciones de terminación de SCSI porque cada nudo actúa como un repetidor óptico. El canal de fibra puede ser implementado en punto-a-punto, circuito cerrado, o topologías de malla utilizando un switch. Como se puede apreciar en la figura 3.1, el canal de fibra, al igual que otros protocolos, puede ser transportado directamente sobre la capa óptica utilizando DWDM.

## TRANSPORTE DINÁMICO DE PAQUETES

El transporte dinámico de paquetes (DPT) es un protocolo CISCO, que brinda una alternativa a SONET para mayor eficiencia en el transporte de datos en arquitecturas de anillo. DPT soporta el paquete básico de procesamiento, imparcialidad, multireparto, Protección Inteligente de Switches (IPS), resolución de topologías, protocolo de resolución de Direcciones (ARP), manejo de enrutamiento y redes. DPT puede correr sobre fibra oscura, SONET, o WDM. La principal ventaja de DPT sobre SONET, es su capacidad de reutilizar ancho de banda que en otras circunstancias se hubiese perdido.

El ancho de banda es consumido solamente en segmentos transversales, y múltiples nodos pueden transmitir concurrentemente. DPT esta basado en un contador bidireccional de anillos rotando (figura 3.2). Los paquetes son transportados sobre los dos anillos en carga útil concatenada, mientras el control de mensajes es llevado en la dirección opuesta a la de los datos.

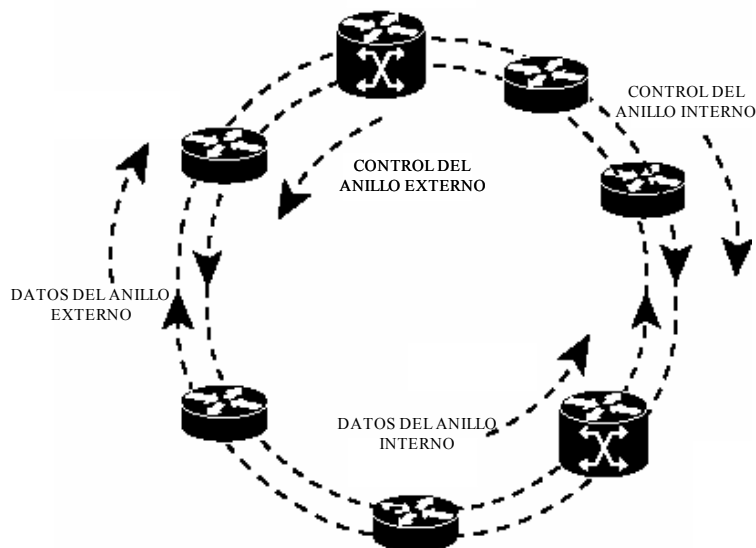


Figura 3.2. Arquitectura de anillos DPT

## **FDDI**

En este punto FDDI es una Tecnología legado. Siendo una necesidad tecnológica hace algún tiempo, este ha sido reemplazado por tecnologías de avanzada. Aunque FDDI es capaz de escalar en el área metropolitana, esta es también un medio de tecnología repartida, con baja capacidad para los estándares actuales. Esta limitación, con fallas en la disponibilidad de las interfaces FDDI en la infraestructura de redes, es la causante de que FDDI sea reemplazado por Gigabit Ethernet, o ATM.

Sin embargo, este es también un protocolo que puede ser transportado transparentemente sobre la capa óptica utilizando DWDM.

## **SOPORTE PARA EL TRÁFICO DE LEGADO.**

A pesar del crecimiento desproporcionado del tráfico de datos contra el de voz, el tráfico de voz no desaparecerá repentinamente. Las redes deben soportar diversas conexiones de baja velocidad además de nuevas conexiones de datos de alta velocidad. Así, DWDM debe ser complementado por multiplexores eléctricos (TDM/FDM), para asegurar el uso eficiente de ondas de luz. Al mismo tiempo, el tráfico de legado debe ser aumentado con transporte de datos de alta capacidad, sin impactar la eficiencia del transporte IP.

La situación para el ISP es diferente: todo su tráfico es IP. El ISP necesita redes de salida rápida, y prefiere enviar sus paquetes sobre ondas de luz o Gigabit Ethernet, antes que ATM o SONET. Otros requerimientos de este mercado incluyen la carga de estrategias compartidas para el resiliencia, ventaja de fibra oscura, y simplificación del manejo, de datos de control.

## **APLICACIONES Y SERVICIOS EN LA MAN**

El mercado de red metropolitano esta siendo manejado por la demanda para nuevas aplicaciones de servicio y la introducción de accesos de alta velocidad. Tomadas ambas fuerzas, están creando un cuello de botella en la MAN. Nuevas aplicaciones, incluidas transacciones e-commerce, paquetes de voz y streaming multimedia. Nuevos servicios, principalmente empresariales, que incluyen interconexión y consolidación de centros de datos, extensión transparente de la LAN a lo largo de la MAN conectando geográficamente locaciones distantes, utilizando longitudes de onda sobre fibra oscura, enrutamiento hacia redes SAN, granjas de servidores y transacciones en tiempo real, copias de seguridad y alta velocidad en la recuperación de desastres. Para los proveedores de servicio, nuevos servicios incluyen soporte para acceso a tecnologías tales como DSL, cable e inalámbrico (el cual todavía requiere una infraestructura basada en transporte terrestre), y arrendamiento de longitudes de onda, o longitudes de onda en demanda.

## **REDES DE ÁREAS DE ALMACENAMIENTO (SAN)**

Las redes de área de almacenamiento (SAN) representan la etapa más reciente en la evolución del almacenamiento masivo de datos para empresas y otras grandes instituciones. En ambientes cliente-servicio, además de los datos, las aplicaciones eran concentradas y manejadas centralmente. Con la ventaja de los ambientes cliente-servidor, la información que fue previamente centralizada se distribuyó a través de la red. El manejo de los problemas creados por esta descentralización son dirigidos en dos caminos principales: redes adheridas de almacenamiento (NAS), donde los dispositivos de almacenamiento son adheridos directamente a la LAN, y a SANs.

Servidores compuestos, dispositivos de almacenamiento (cintas, discos, arrays), y dispositivos de red (multiplexores, cubos, enrutadores, switches, y así sucesivamente), una SAN constituye una red enteramente separada de la LAN (figura 3-3). Como una red separada, la SAN puede aliviar cuellos de botella en la LAN soportando recursos para las aplicaciones tales como espejos de datos, transacciones de procesamiento, y copias de seguridad y restauración.

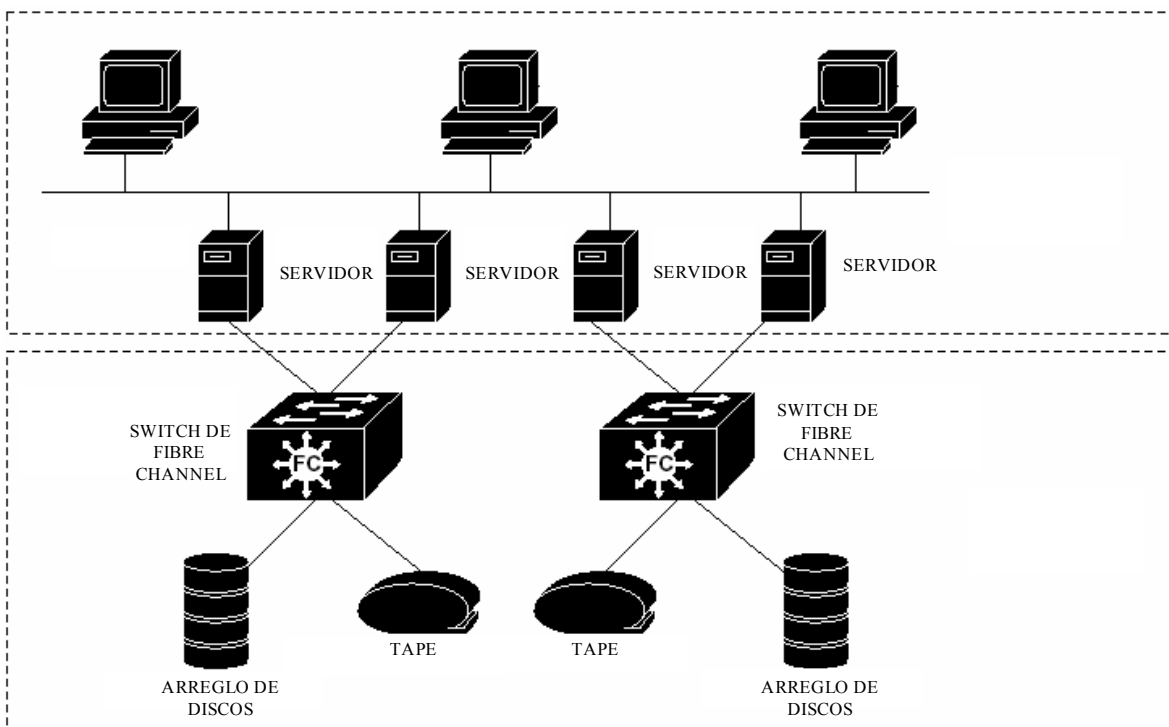


Figura 3.3 Arquitectura SAN

Un número de tipos de interfaces han sido utilizados para conectar servidores a dispositivos en la SAN. Lo más común es el Sistema de Conexión de Entretenimiento de IBM, un protocolo Half-Duplex de 17MBps sobre fibra. El canal de fibra en el cual está basado FICON de IBM es también frecuentemente empleado en SANs y tiene una capacidad mucho más alta que el ESCON ambas tecnologías, sin embargo, tienen significantes limitaciones de distancia. Por

ejemplo, el máximo estándar de distancia sin repetidores es de alrededor de 3 Km (1.9 mi), para el ESCON Half Duplex, y alrededor de 10 Km (6.2 mi) para el canal de fibra doble de 100-MBps.

Esta limitación de distancia pueden ser superadas transportando datos entre una o más ubicaciones de la empresa y una o más SAN sobre la capa óptica utilizando DWDM. En la figura 3-4, por ejemplo, la distancia que separa la ubicación de la empresa y los sitios SAN puede ser gratamente extendida. El acceso al anillo es mediante el “satélite” OADM con canal de fibra o interfaces ESCON en cada ubicación SAN (uno de estos puede proveer espejo de datos). Estas interfaces también pueden soportar contador de tiempo Sysplex e interfaces acopladoras de Link Sysplex, usados en ambientes IBM para distribuir cargas a través de los miembros de un servidor complejo.

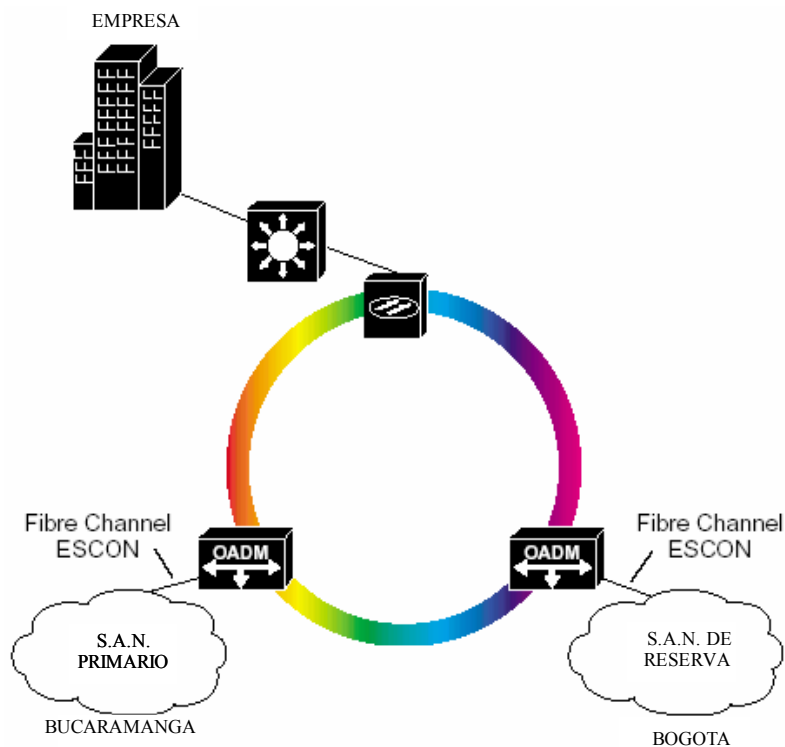


Figura 3.4 Acceso SAN sobre capa óptica.

Además de superar las limitaciones de distancia, DWDM también puede reducir el requerimiento de fibra en SANs. Ambos, ESCON y FICON requieren un par de fibras para cada canal.

## **MIGRACIÓN DESDE SONET/SDH**

Como una tecnología de transporte, SONET es un protocolo transparente, que puede transportar todo tipo de datos, mientras que ofrece interoperatividad, esquemas de protección, manejo de redes, y soporte para una jerarquía TDM. Aunque SONET puede continuar siendo la interfaz estándar y protocolo de transporte opcional dentro de un futuro previsible, mejorar su calidad es costoso, como un tipo de línea específica, los elementos de la red son requeridos en cada punto de la entrada o salida de tráfico.

Utilizando DWDM para incrementar la capacidad de encajar la fibra, mientras que se preserva la infraestructura SONET, ofrece una alternativa para mejorar la calidad de un SONET costoso. La migración desde SONET hacia DWDM puede en hecho ser la aplicación más sencilla e importante. En general, esta migración comienza reemplazando núcleos con DWDM, y luego moviéndonos hacia los extremos de la red

En un escenario común, el ancho de banda sobre un anillo SONET puede ser incrementado considerablemente reemplazando SONET ADMs con equipo DWDM. En el ejemplo mostrado en la figura 3-5, hay tres opciones para el mejoramiento del anillo

- Reemplazar o mejorar el equipo; por ejemplo, de OC-48 a OC-192.
- Instalar un nuevo anillo sobre una fibra nueva o existente.
- Instalar uno o más anillos nuevos desplegando DWDM.

La tercera opción es mostrada en la figura 3-6. Utilizando DWDM para incrementar la capacidad del anillo existente, una fibra puede actuar esencialmente como muchas.

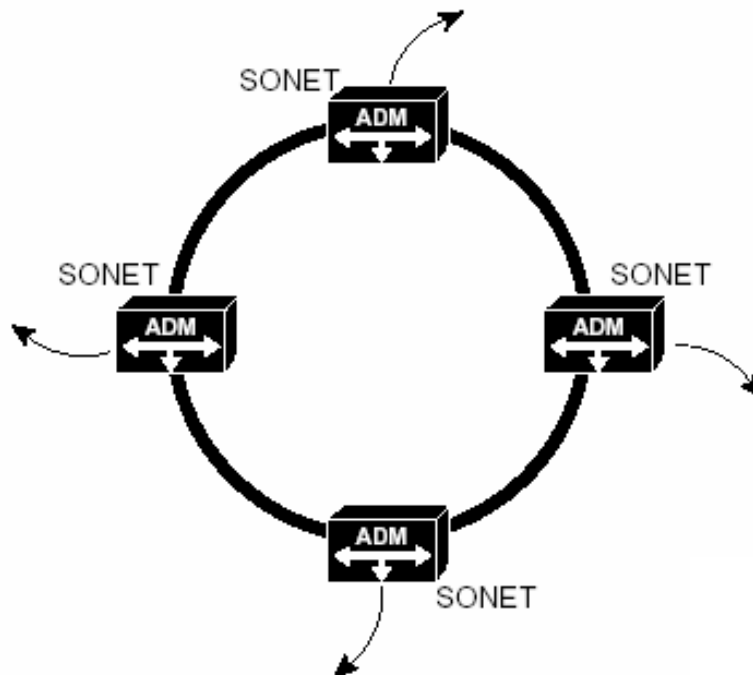


Figura 3-5. Migración del anillo SONET hacia DWDM

En un segundo tipo de escenario, DWDM se puede usar para remover una clase entera de equipo, el SONET ADMs.

Este cambio, el cual puede constituir una segunda fase de la migración SONET, deja los enrutados y otros dispositivos para desviar el equipo SONET y la interfaz directamente hacia DWDM, mientras se simplifica el tráfico desde IP/ATM/SONET hacia POS para eventualmente direccionar IP sobre la capa óptica. (Figura 3-7).

En esta fase de la migración, los sitios de usuario son servidos por OADMs antes de SONET ADMs. En esta forma los anillos DWDM y las mallas de redes pueden

eliminar el aumento del costo de introducir más elementos SONET dentro de la red para responder a la demanda. Aquí, la ventaja para el transporte es la habilidad de ofrecer servicios de velocidad independiente liberándolos del marco DS1/DS3/OC-*n*. Tal esquema también permitiría que el acceso a LAN sea extendido a través de la MAN o WAN sin una infraestructura SONET.

Una ventaja adicional en la migración desde SONET a la capa óptica es que la protección y restauración se vuelve menos susceptible a fallas de componentes electrónicos, una plataforma común de supervivencia para todos los servicios de redes es creada, incluyendo aquellas sin protección en estructura.

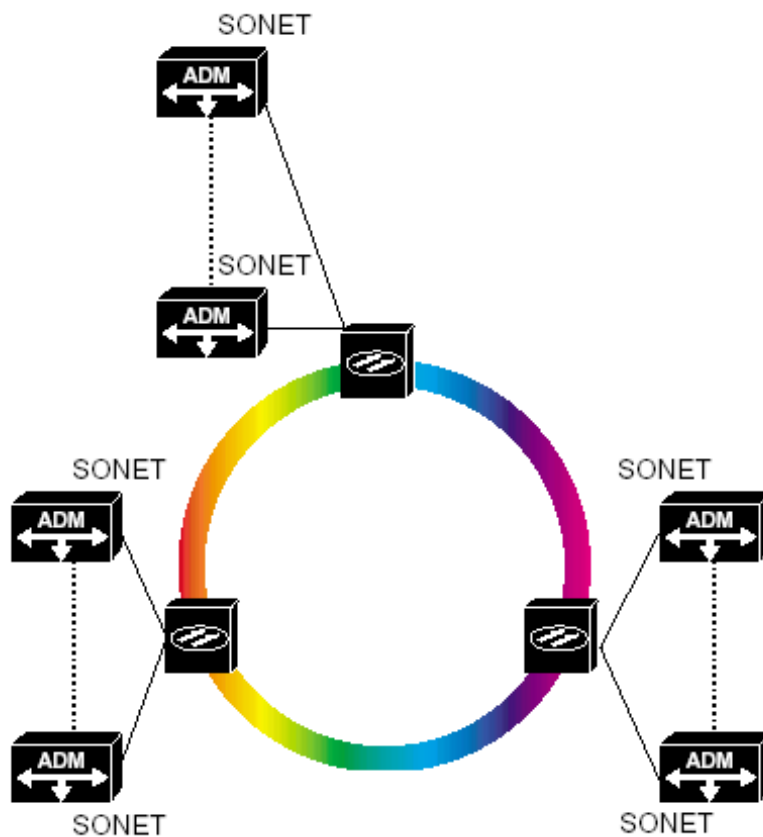


Figura 3.6 Migrando el anillo SONET a DWDM - Primer etapa.

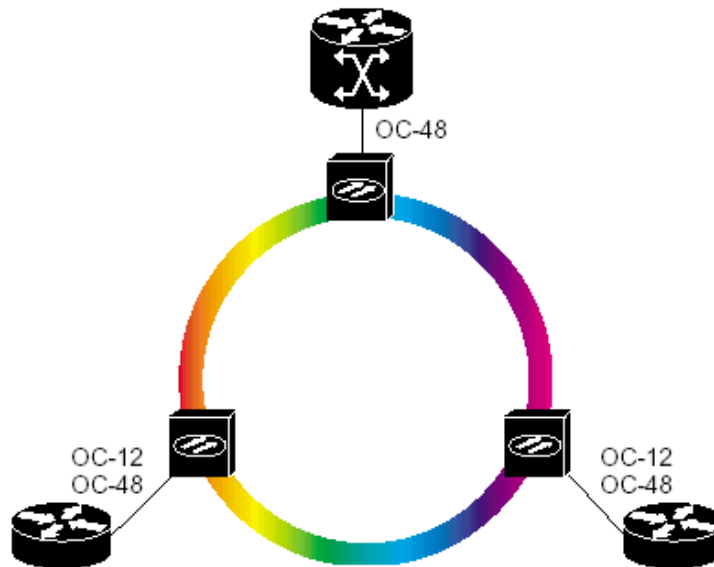


Figura 3.7. Migrando el anillo SONET hacia DWDM - Segunda etapa.

## TOPOLOGÍAS Y ESQUEMAS DE PROTECCIÓN PARA DWDM

Las arquitecturas de redes están basadas en muchos factores, tipos de aplicaciones y protocolos, distancias, uso y patrones de acceso, y legados de topologías de redes. En el mercado metropolitano, por ejemplo, las topologías punto a punto pueden ser usadas para conectar la ubicación de empresas; las topologías de anillo para conectar redes Inter.-oficina (IOFs) y acceso residencial; y, las topologías de malla pueden ser usadas para conexiones Inter.-POP y conexiones de largo-recorrido hacia o desde backbones. En efecto, la capa óptica debe ser capaz de soportar muchas topologías y, debido a los impredecibles desarrollos en esta área, esas topologías deben ser flexibles.

Hoy en día, las principales topologías en despliegue son las de punto a punto y de anillo. Con links punto a punto sobre DWDM entre grandes sitios de empresas, solamente se necesita un dispositivo cliente para convertir el tráfico de una aplicación en longitudes de onda específicas y multiplexores. El alcance de las topologías de línea - anillo pueden evolucionar hacia anillos completos basados en

OADM's. Mientras que los conectores ópticos cruzados configurables e switches son comunes, estas redes de anillo y punto a punto serán interconectadas dentro de mallas, transformando las redes ópticas metropolitanas en plataformas completamente flexibles.

## **TOPOLOGÍAS PUNTO A PUNTO.**

Las topologías punto a punto pueden ser implementadas con, o sin OADM's. Estas redes están caracterizadas por canales de extrema velocidad (10 a 40 Gbps), señal de alta integridad y confiabilidad, y rápida trayectoria de restauración. En redes de largas trayectorias, la distancia entre los transmisores y receptores pueden ser de varios cientos de kilómetros, y el número de amplificadores requeridos entre los extremos de puntos es típicamente menos de 10. En la MAN, los amplificadores muchas veces no son necesarios.

La protección en las topologías punto a punto pueden ser suministrados en un par de maneras. En los equipos de la primer generación la redundancia está al nivel del sistema. Links paralelos conectados en sistemas redundantes en cualquier fin. Sin embargo, en caso de que falle, es la responsabilidad del equipo del cliente (un switches o rutas, por ejemplo), mientras que los sistemas DWDM justamente proveen su propia capacidad.

En equipo de segunda generación, la redundancia es a nivel de tarjeta. Los links paralelos conectados a en cualquiera de los sistemas sencillos en que contienen transponders redundantes, multiplexores, y CPUs. Aquí la protección ha emigrado al equipo DWDM, con las decisiones de interrupción de control local bajo. Un tipo de implementación, por ejemplo, usa un sistema de protección 1 + 1 basado en la protección automática de interrupción (APS) SONET. Figura 3-8.

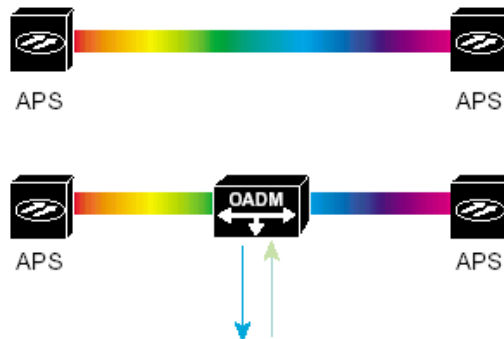


Figura 3.8 Arquitectura punto a punto

## TOPOLOGÍAS DE ANILLO

Los anillos son la arquitectura más común encontrada en las áreas metropolitanas y de extensión completa en unos cuantos cientos de kilómetros. La fibra de anillo puede contener más o menos cuatro canales de longitud de onda, y típicamente algunos nodos que canales. La tasa está en el rango de 622 Mbps a 10 Gbps por canal.

Las configuraciones de anillo pueden ser desplegadas con uno o más sistemas DWDM, soportando tráfico Full duplex, o, también pueden tener una estación central y uno o más nodos OADM, o satélites (figura 3-9).

En los nodos OADM, las longitudes de onda escogidas se son add/drop, mientras que otras atraviesan transparentemente (canales expresos). En esta forma, las arquitecturas del anillo permiten nodos sobre el anillo, para proveer acceso a los elementos de las redes tales como enrutadores, switches o servidores, adicionando o bajando los canales de longitud de onda en el dominio óptico. Con el incremento del número de OADMs, sin embargo, la señal está sujeta a perderse, y puede ser necesaria la amplificación de la misma.

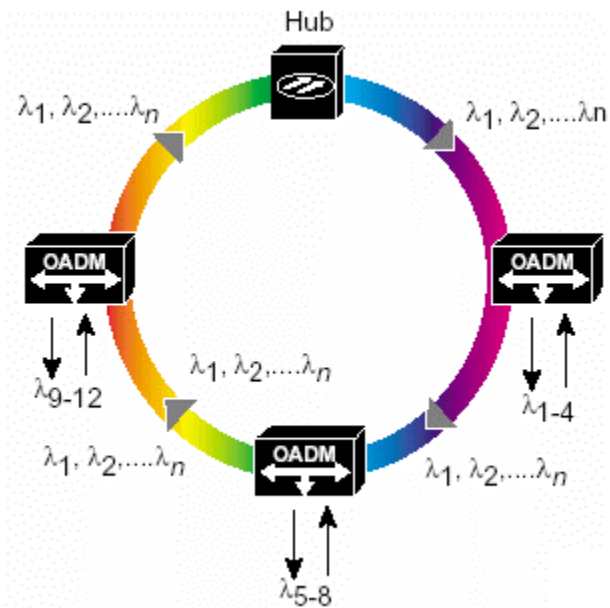


Figura 3.9 DWDM central y satélite de la Arquitectura de anillo.

Las redes candidatas para la aplicación DWDM en el área metropolitana a veces son ya basadas en estructuras de anillo SONET, con protección de fibra 1+1. Esquemas como el Patrón de anillo de interrumpido unidireccionalmente (UPSR), o, Línea de anillo interrumpido bidireccionalmente (BLSR) pueden ser rechazados para implementaciones DWDM.

La figura 3-10 muestra un esquema UPSR con dos fibras. Aquí, central y nodos envían en dos anillos rotando en sentido contrario, pero la misma fibra esta siendo usada normalmente para todos los equipos que reciben la señal; de aquí el nombre unidireccional. Aunque esto provee redundancia total al curso, es posible no reutilizar el ancho de banda, como la fibra redundante siempre debe estar lista para transportar el tráfico de trabajo. Este esquema es comúnmente más usado en el acceso a redes.

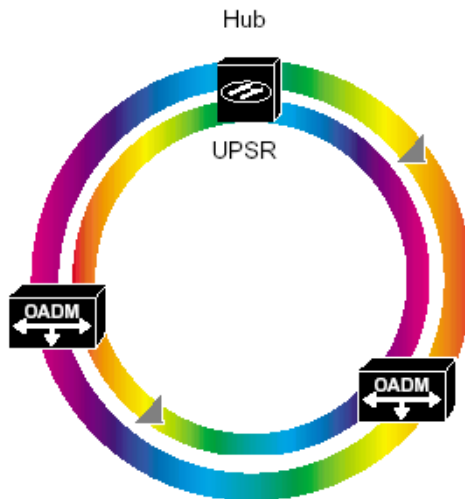


Figura 3.10. Protección UPSR sobre un anillo DWDM.

Otros esquemas, tales como la Línea Bidireccional de Anillo Interrumpido (BLSR), permite al tráfico viajar desde el transmisor hacia el nodo receptor por la ruta más directa. Por esto, BLSR es seleccionado como corce de redes SONET, especialmente cuando se ha implementado con cuatro fibras, las cuales ofrecen redundancia completa.

## TOPOLOGÍAS DE MALLA

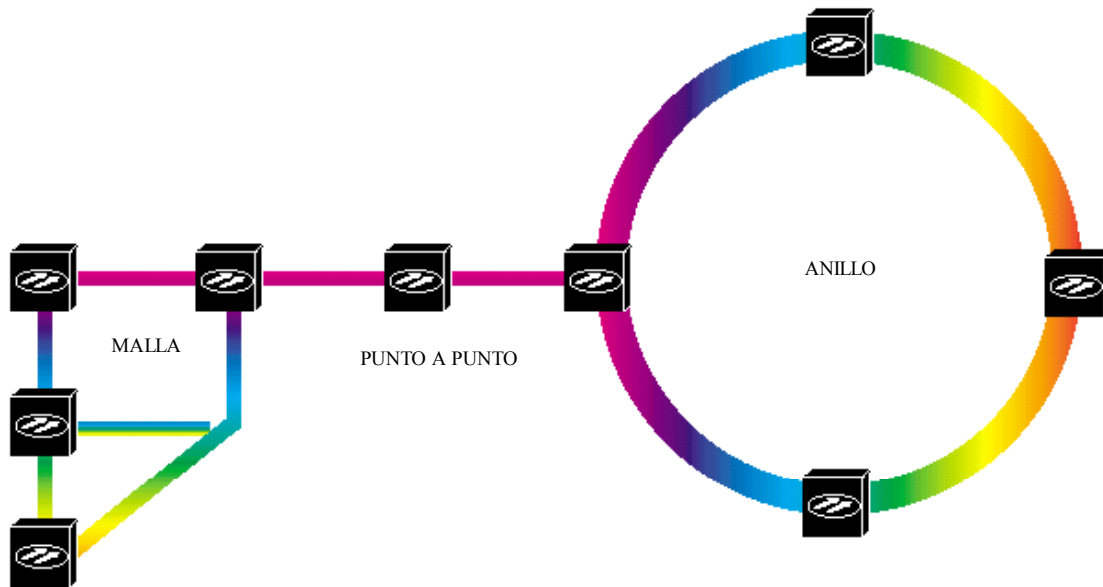
Las topologías de malla son el futuro de las redes ópticas. Con el desarrollo de las redes, las arquitecturas de anillo y de punto a punto, todavía tendrían un lugar; pero, las de malla prometen ser las topologías más robustas. Este desarrollo estará habilitado por la introducción de conectores cruzados de configuración óptica e switches que en algunos casos serían reemplazo y en otros casos suplemento fijo para los dispositivos DWDM.

Desde un punto de vista de diseño, hay un curso evolutivo disponible desde las topologías punto a punto hasta las de malla. Empezando con los links punto a

punto, equipados con nodos OADM al principio por flexibilidad y conectándolos posteriormente; la red puede evolucionar a una malla sin un rediseño completo. Adicionalmente, las topologías de malla y de anillo, pueden ser unidas por links punto a punto. ( figura 3.11).

Las redes de malla DWDM, consisten en interconectar todos los nodos ópticos; la siguiente generación requerirá de protección. Cuando los anteriores esquemas de protección relevaron sobre la redundancia en el sistema, tarjeta o nivel de fibra; la redundancia ahora migraría al nivel de longitud de onda. Esto significa, entre otras cosas, que un canal de datos puede cambiar longitudes de onda como hace su propio camino a través de la red; a un enrutador o a un switch in longitud de onda por causa de una falla. Esta situación es análoga a que por un circuito virtual a través de una nube ATM, la cual puede experimentar cambios en su identificador de curso virtual (VPI)/ identificador de canal virtual (VCI) valorados en puntos de interrupción. En redes ópticas, este concepto a veces es llamado un *curso de luz*, *curso ligero*.

Por tanto, las redes de malla requieren un alto grado de inteligencia para ejecutar las funciones de protección y el manejo del ancho de banda; incluyendo switches de fibra y de longitud de onda. Sin embargo, los beneficios en flexibilidad y eficiencia son potencialmente excelentes. El uso de fibra, el cual puede ser bajo en las soluciones de anillo, porque los requerimientos para la protección de fibras en cada anillo pueden ser improvisados en un diseño de malla. La protección y restauración pueden estar basadas en cursos partidos, así, los requerimientos de pares de fibras disminuyen para la misma cantidad de tráfico y sin desperdiciar longitudes de onda inutilizadas.



*Figura 3-11. Arquitecturas de anillo, malla y punto a punto.*

Finalmente, las redes de malla serán altamente dependientes sobre el software para el manejo. Un protocolo basado en Etiqueta de Multiprotocolo Interrumpido (MPLS) esta por debajo del desarrollo para soportar cursos enrutados a través de una red toda-óptica. Además, el manejo de las redes requerirá hasta ahora un canal desestandarizado para transportar mensajes entre los elementos de la red.

### CONSIDERACIONES PRÁCTICAS EN LA IMPLEMENTACION DE DWDM

Al implementar una red basada en DWDM, hay algunas consideraciones que afectarán algunas de las opciones del vendedor; tipo de equipo, diseño, y así sucesivamente. Las siguientes son algunas de esas preguntas:

- Es el sistema DWDM es compatible con la planta de fibra existente? Como se discutió en el capítulo de "Fibras ópticas", algunos tipos de fibra mas vieja no son convenientes para usar en DWDM; las que son NZ-DSF, son optimizadas para DWDM. La fibra SM estándar (G. 652), relacionada actualmente con la mayoría de la fibra instalada, puede soportar DWDM en el área metropolitana. Si

una fibra nueva debe ser tendida, un tipo que debe ser escogido para permitirle crecimiento futuro; que, particularmente se expande a los sistemas DWDM dentro nuevas regiones de longitud de onda y tasas de bit más altas.

- Como es mi migración y estrategia de aprovisionamiento? DWDM es capaz de soportar crecimiento masivo en demandas de ancho de banda sobre tiempo sin actualizaciones; esto representa una inversión a largo tiempo. Como se discutió en “Topologías de Malla”, las dos, topologías de anillo, y punto a punto pueden servir como fundaciones para el futuro crecimiento dentro de las topologías de malla. Planeando que se permitiera adiciones flexibles de nodos, tales como OADMs, que cumplan con las demandas cambiantes de los clientes y usuarios.
- Qué herramientas puedo usar para el manejo de redes? Un completo manejo de herramientas de red será necesario para el aprovisionamiento, monitoreo del funcionamiento, identificación de fallas y aislamiento; y acción correctiva. Tales herramientas deberían estar basadas en estándares (SAMP, por ejemplo) y ser capaces de interactuar con los otros sistemas operativos existentes.
- Cuál es la estrategia para protección y restauración? Diseñar una estrategia de protección es un proceso complejo que debe tomar en cuenta dentro de muchas variables. Hay algunas fallas difíciles (equipo de fallas; tales como un láser o foto detector, y fibras rotas); y fallas leves como degradación de la señal (por ejemplo, VER inaceptable). Aquel debe ser direccionado por el sistema a través de un monitoreo inteligente y manejo de longitud de onda. Las estrategias de protección y supervivencia dependen del tipo de servicio, sistema, y arquitectura de redes. En muchas redes, también dependen de los protocolos de transporte.

Dos consideraciones adicionales e importantes son el cálculo de la acumulación del poder óptico y la interoperabilidad.

## ACUMULACIÓN DEL PODER ÓPTICO

Las acumulaciones de poder óptico, o acumulación de pérdida de links, son una parte crítica del diseño de una red óptica. Los vendedores deben proveer pautas o reglas de ingeniería a usar para sus equipos. En general, hay muchos factores que pueden resultar en la pérdida de señal óptica. Lo más obvio de esto es la distancia de la misma fibra; esto debe ser el factor más importante en el transporte de larga distancia. En las MAN, el número de nodos de acceso, tales como OADMs, es generalmente el contribuidor más significativo a la pérdida óptica. La clave para precisar el cálculo de la acumulación de poder óptico, es para obtener una lectura exacta sobre la fibra utilizando un reflector de tiempo de dominio óptico (OTDR). Utilizando un OTDR, usted puede obtener la siguiente información acerca de una extensión span:

- Largo de la fibra
- Atenuación en dB en todos los links, así como la atenuación de secciones separadas de la fibra( si la hay).
- Atenuación de las características de la fibra misma.
- Localizaciones de conectores, uniones, y fallas en el cable. La meta de calcular la pérdida óptica es asegurar que el total de la pérdida no exceda el span total. Los siguientes son valores para los elementos principales en un span:  
Conectores de pérdida juntos - Esto es 0.2 dB si los conectores son modernos y de conexión simple y del mismo fabricante. Si los fabricantes de los conectores son diferentes, entonces el promedio de la pérdida es de 0.35 dB.
- Pérdida de fibra - Esta es alrededor de los 0.25 dB/km debido a la atenuación.
- Envejecimiento de la fibra - Esto es alrededor de los 2 dB sobre la vida del sistema.

Como la pérdida de poder óptico (atenuación) o el realce del mismo (ganancia), es medida en un valor logarítmico, decibeles (dBs), los efectos combinados de todos los elementos pueden ser calculados utilizando adición simple. Si se asume una acumulación span de 25 dBm (un dBm es el nivel de señal de poder en relación a un milivatio), se puede realizar la siguiente suma: Pérdida total del sistema + (ancho de fibra \*.25) + margen de envejecimiento de fibra + conectores/pérdidas juntas.

Si la suma es menor que 25, entonces estamos dentro de la acumulación span. Si no, entonces se deben hacer algunos cambios. Esto podría incluir, adicionando un amplificador o reduciendo el número de elementos de pérdida/inducida sobre span. Las condiciones de la fibra, las cuales incluyen prueba de la fibra, aseo de conectores y así sucesivamente; pueden implementarse para reducir la pérdida.

Esto también es importante para asegurar que el lado del cliente o el equipo tributario no saturen la recepción del laser en el equipo DWDM. Esto significa que el cliente o equipo tributario debe actuar dentro de las especificaciones de la interfaz DWDM.

Aunque esto no es generalmente un problema en las distancias utilizadas en la MAN, recuerde que los amplificadores ópticos aumentan el consumo total, incluyendo el ruido. Así, con el tiempo, la relación señal-a-ruido se vuelve tan alta, que una señal clara no puede ser detectada en el receptor final. En este punto, los regeneradores deben utilizarse para ejecutar las funciones 3R.

## **PROBLEMAS DE INTEROPERABILIDAD**

Como DWDM utiliza longitudes de onda específicas para transmisión; las longitudes de onda usadas deben ser las mismas en los extremos de las

conexiones. Por esto, la ITU ha estandarizado sobre una rejilla con espacios de 100 GHz (tabla 2.1 y 2.15). Sin embargo, los vendedores pueden usar espacios más anchos, a veces en 200 GHz, o más estrechos. Además, los diferentes vendedores quienes usan la misma rejilla pueden no usar el mismo esquema de numeración lambda. Esto es, lambda 1 en el equipo de un vendedor puede ser asignado a longitudes de onda diferentes lambda 1 sobre el equipo de un vendedor B. De aquí, la importancia de darse cuenta de los potenciales problemas de interoperabilidad en las diferentes rejillas de alimentación.

Otros problemas de interoperabilidad incluyen los niveles de potencia, aislamiento dentro y fuera del canal, tolerancia PMD, y tipos de fibra. Todo esto contribuye a los retos de transmisión entre sistemas diferentes en la capa 1.

## **FUTURO DE DWDM**

DWDM continuará ofreciendo ancho de banda para grandes volúmenes de datos. De hecho, la capacidad de los sistemas crecerán como los avances tecnológicos permitan cerrar los espacios, y por tanto, aumentar el número de longitudes de onda. Pero DWDM está también moviendo más allá el transporte para convertirse en la base de las redes ópticas con aprovisionamiento de longitud de onda y protección basada en malla. Interrumpiendo en la capa fotónica se podrá dar esta evolución, así como los protocolos de enrutamiento que permitan a los patrones de luz atravesar en sus recorridos en la misma forma que los circuitos virtuales hoy en día.

Este y otros adelantos se están convirtiendo de tal manera que una infraestructura totalmente óptica pueda ser visualizada. La figura 312 muestra un ejemplo de tal infraestructura, usando topologías de malla, anillo, y de punto a punto, en la capa

óptica para soportar las necesidades de empresa, acceso metropolitano, y redes de características metropolitana.

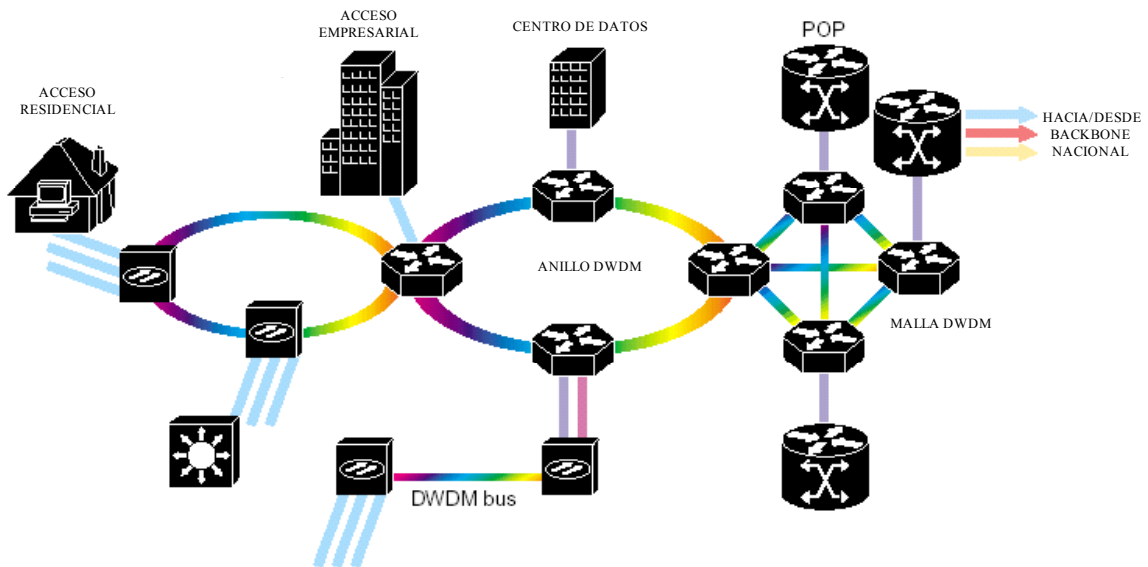


Figura 3.12. Próxima generación de Red Óptica Metropolitana.

# 4

## HIBRIDO FIBRA COAXIAL (HFC) Y REDES DWDM

La última generación de productos optoelectrónicos provee un mayor incremento en la capacidad de las redes de fibra híbrida coaxial (HFC), permitiendo la distribución de nuevos servicios de video interactivo, datos y de voz.

Como los proveedores de cable y telecomunicaciones hacen lo posible para introducir nuevos servicios, deben encontrar nuevas formas de aumentar la capacidad de sus redes en un costo razonable. Una solución excelente para este dilema es la implementación de optoelectrónicos en los sistemas HFC. La optoelectrónica está teniendo un impacto tremendo sobre la evolución de las redes HFC requeridas para alto volumen de tráfico interactivo y multimedia. La introducción de esta tecnología habilita las redes asignadas originalmente para los servicios de video para proveer un ancho de banda confiable para todos los tipos de servicios de video interactivo, de datos y de voz.

La tecnología optoelectrónica permite a los operadores manejar fibra más efectivamente hasta lo muy profundo de la red, haciendo mejor uso del ancho de banda existente, incrementando económicamente el ancho de banda, y programando placas de señal para áreas específicas. Lo más importante es que

optoelectrónica habilita el envío eficiente de muchos servicios interactivos generando renta, el cual puede hacer a los operadores más provechosos y competitivos.

Ambas industrias, la de computadores y la de telecomunicaciones, han mostrado un reciente interés por las redes DFC. Algunos grandes y sofisticados jugadores están apostándole a la viabilidad a largo plazo de las redes HFC para los servicios de broadband.

Este capítulo examina los efectos que los optoelectrónicos están teniendo en las redes HFC, y cómo esta tecnología puede ser aplicadas para liberar una variedad de exitosos servicios interactivos.

## USO EFECTIVO DE FIBRA

El prospecto en largo-rango de 1000 longitudes de onda por fibra prometido por la nueva fibra de Lucent ALLWAVE, brinda aún más posibilidades de incrementar el despliegue de servicios ofrecidos al cliente.

Con la migración a fibra mas profunda, la clave de los problemas de arquitectura se convirtió en cómo usar la última-milla más efectivamente, sea coaxial o basado en cobre. Gigahertz basado en conducto coaxial, con 1000 tiempos el ancho de banda de fabricación, puede ser efectivamente usada para ofrecer un ancho rango de video interactivo, datos y servicio de voz.

Las fibras ópticas han sido utilizadas en las redes de TV por cable desde 1991. Inicialmente, basados en transmisores ópticos de 1310 nm, los nodos de fibra fueron convertidos dentro del coaxial utilizando largas cascadas de amplificadores coaxiales de radio frecuencia (RF), de aquí, el término de *hibrido fibra coaxial*. La

figura 4.1 representa este tipo de televisión análoga, basada en redes de difusión con capacidades contra la corriente usadas para controles set-top y manejo de redes. La red de transporte HFC es limitada típicamente al uso de transmisores análogos de 1550 nm para extender el alcance de la planta de cable. Usualmente, cada nodo óptico sirve de 500 a 2000 puntos. La llave de los conductores de red es que son de bajo costo y buen funcionamiento de la señal de vídeo análogo en términos de ruido y distorsión. El usuario recibe cerca de 78 canales de video y control opcional a canales pagos adicionales y vía pague por ver en el terminal análogo.

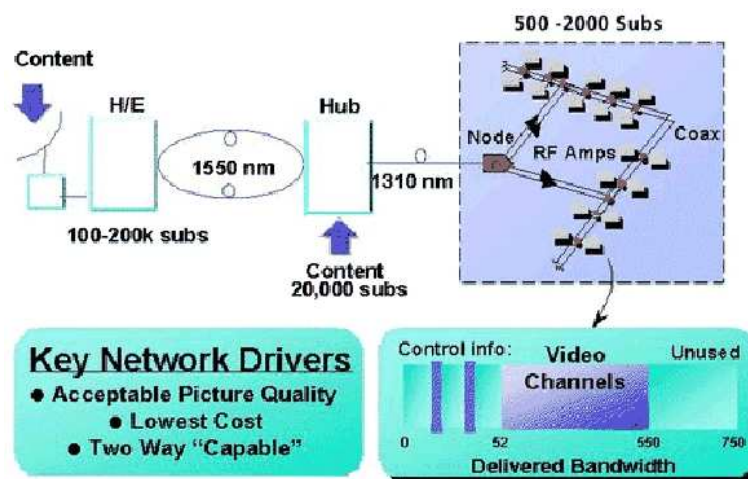


Figura 4-1. Una red basada en difusión de televisión con capacidades contra la corriente

¿Y si no hay señales de video en estas redes? Una de las ventajas claves de la arquitectura HFC, es la habilidad de llevar múltiples tipos de información en formatos múltiples compartidos por un escalable número de usuarios. Si el video es eliminado y los conductos son usados enteramente para datos a través de un espectralmente eficiente esquema de modulación como 256 QAM, el cual produce 7 Gigabits por hertz, es resultado es un conducto de 5 Gigabit. Hablando de coaxial para gigahertz produciría capacidades de datos de 7 gigahertz. Como el uso de video análogo declina, y este ancho de banda es rechazado para otras propuestas,

se hace disponible un potencial enorme para nuevos servicios, en cualquier medio o combinación. La flexibilidad de usar ancho de banda para diferentes servicios en múltiples formatos es una fuerza esencial de las redes HFC.

La razón de que hoy en día, el ancho de banda es utilizada para video análogo, una diferencia fundamental entre HFC y redes basadas en cobre. Casi 300 millones de televisores, muchos de los cuales son cable-ready están ya siendo usados solo en Estados Unidos. De hecho, más casas en este país tienen más televisores que teléfonos. HFC brinda ancho de banda suficiente para difundir servicios para estos dispositivos, produciendo un bajo costo en la distribución de video. Las limitaciones de ancho de banda del cobre, impulsaron significantes avances en la tecnología de subcriptor de línea (DSL), forzando un acercamiento interrumpido, el cual, aunque es técnicamente viable, resulta en un insostenible costo por los dispositivos de interfaz en los terminales de usuario, al menos en términos de despliegue masivo. Para expandir el juego de servicio ofrecido sobre HFC, son necesarios ciertos cambios en las redes, ambos en acceso y transporte.

## **INCREMENTO DEL ANCHO DE BANDA REUTILIZABLE**

Como nuevos servicios son añadidos en la difusión de series de video, la primer meta de la red es incrementar el ancho de banda reutilizable por el usuario. Esto puede ser realizado en dos formas: haciendo el conducto más grande y, como los servicios interactivos son compartidos, disminuyendo el número de usuarios sobre un nodo brindado (Vea figura 4.2). Conductos más grandes, en la forma de sistemas de 862-MHZ, actualmente están siendo desplegados en las grandes áreas metropolitanas. Las arquitecturas de fibra más profunda etán comenzando a desplegarse también, hablando del tamaño del nodo por debajo de 50 homes, el

cual produce por encima de 10 tiempos como ancho de banda interactiva por usuario.

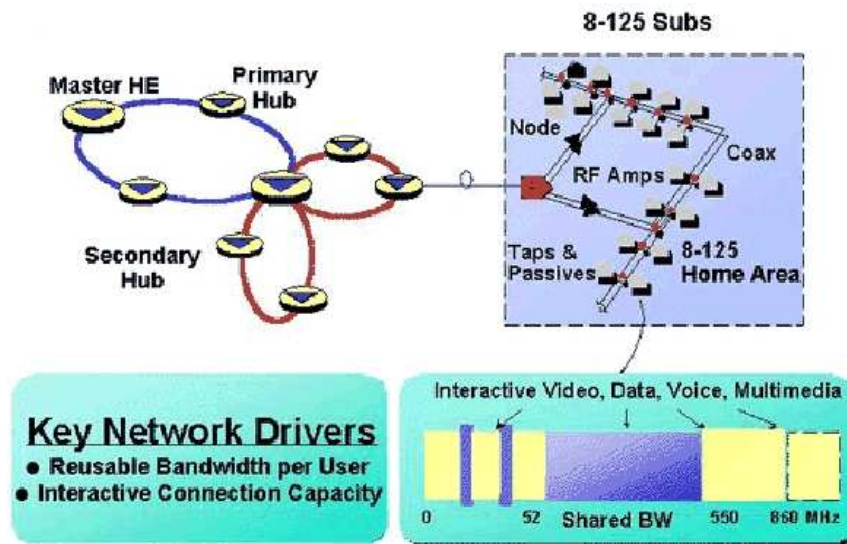


Figura 4.-2. Incremento del ancho de banda reutilizable.

Como el volumen del tráfico interactivo crece, la red de transporte debe ser ampliada para proveer flexibilidad y conexiones eficientes para servidores. Estos servidores pueden ser localizados en cualquier lugar de la red, pero típicamente empiezan en una manera centralizada en el extremo de la cabeza primaria, poniendo un esfuerzo significativo en las estructuras de transporte de hoy en día. Una consideración clave para los diseños de red es poder, tanto como sea posible, igualar el costoso despliegue del equipo con la renta esperada por el servicio.

Así, las metas de la evolución de redes son dos: una meta de acceso de la maximización del ancho de banda reutilizable por usuario, y una meta de transporte de una eficiente conexión flexible a los servidores en cualquier lugar de la red.

Cuatro claves tecnológicas son necesarias para direccionar estas metas:

1. Dispositivos ópticos de alto poder a 1550 nm pueden ser usados en el área de transporte para llevar los QAM para tráfico interactivo en el área de acceso para disminuir el costo de red y para facilitar las arquitecturas de fibra más profunda.
2. Transmisión digital, utilizando multiplexores SONET de video optimizado, es crítico para construir cuellos de botella de multimedia de alta velocidad.
3. Multiplexores de división de onda (WDM) no son usados solamente para incrementar el ancho de banda, también para enrutado óptico y reducción en el costo de acceso.
4. La tecnología óptica pasiva se convierte crítica para costo y funcionamiento; como lo es la cantidad de fibra en el crecimiento de redes.

La primer consideración para determinar la arquitectura de optimo acceso es el aumento del ancho de banda necesario. Una red HFC tiene cuatro dimensiones implícitas con el libramiento interactivo de ancho de banda: frecuencia, multiplexion espacial, eficiencia espectral y longitud de onda.

La frecuencia brinda a ambos la capacidad para decidir el tamaño del conducto (750 MHz, 862 MHz o 1 GHz) y determinar qué tipo de señal ofrece un subtransporte dado. Cada frecuencia puede ser reutilizada sobre tiempo como el servicio de cambios de configuración, ofreciendo una flexibilidad única en comparación con otras arquitecturas. El multiplexado espacial determina cuantas fibras corren en la migración sobre tiempo para las técnicas de modulación tales como 256 contra 64 QAM, el cual, efectivamente incrementa el ancho de banda. Finalmente, longitudes de onda múltiples, dispositivos DWDM en combinaciones 1310/1550 nm, pueden ser usados dentro de fibra dada para incrementar la capacidad.

## DETERMINANDO EL TAMAÑO DEL NODO

La figura 4.3 indica el rango típico de ancho de banda necesario, para un número de servicios como video, datos, publicidad, telefonía y multimedia; asumiendo un tamaño de nodo de 500 homes y rutas razonables de penetración. Esta figura indica que los 500 nodos home no sean suficientes en el largo recorrido, asumiendo que la difusión análoga no puede ser eliminada por algunos años venideros. La es entonces encontrar formas de conducir económicamente la fibra más profunda dentro de la red de acceso.

SERVICIO	RANGO DE ANCHO DE BANDA FRONTAL (MHz)	RANGO DE ANCHO DE BANDA POSTERIOR (Mhz)
Broadcast Análogo	500-700	2
Broadcast Digital	18-24	2
NVOD	36-96	2
VOD	24-36	2
WEBCV	6	2
Servicios de Datos basados en TV	6	2
Servicios de Datos Basados en PC	6	4
Puerta Mundial	---	2
Publicidad adquirida	12-36	TBD
Telefonía alambrada	12	12
Telefonía IP	3-6	1-3
Videoconferencia IP	3-6	6-12
Total	638-1000 Mhz	35-44 Mhz

Figura 4.3. Determinando el tamaño del nodo.

El asunto de mayor interés es la capacidad de trayectoria contraria de redes HFC para manejar el juego completo de servicio. Para direccionar los problemas de funcionamiento potencial, ambos Fabry Perot y uncooled lasers distribuidos de regeneración (DFB) son utilizados en las redes actuales, dependiendo de los servicios transportados. Cables módems de alta velocidad sobre 250.000 ya son ofrecidos en Norte América, brindando una larga escala de confianza para las formas de integración de las redes HFC.

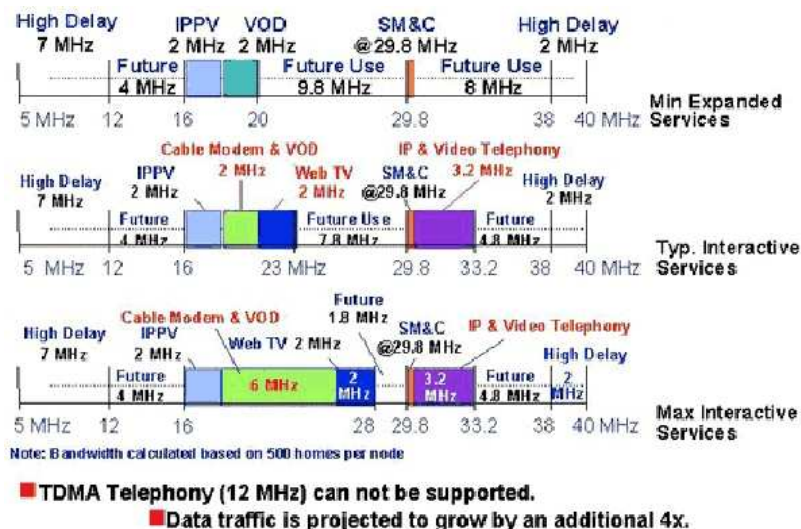


Figura 4.4. el cargamento de curso contrario

La figura 4.4 muestra el curso contrario, brindando 500 homes por nodo, para tres modelos diferentes de negocios. A no ser que la telefonía cableada esté siendo desplegada, desde un punto de vista de tráfico este tamaño de nodo es suficientemente razonable. Direccionar la dimensión de funcionamiento, sin embargo, como la fibra es empujada a lo más profundo para manejar el tráfico inical, la longitud de cascada RF es reducida en longitud, limitando el ingreso, perfeccionando la confiabilidad y disminuyendo los costos de potencia. Si el concepto de fibra más profunda es extendido a este límite lógico, se guía a uno muy interesante, el cuál será examinado a continuación.

## UTILIZANDO TRANSMISORES DE 1550nm

La utilización de transmisores de alta potencia de 1550 nm y tomando el tamaño del nodo por debajo de doce homes, la arquitectura HFC se fusiona muy bien con fibra basada en cobre en un sistema de circuito cerrado (FITL) para llegar a una poderosa arquitectura de servicio completo. Una capa sobrepuesta de video basada en HFC puede ser convenientemente adherida a una red FITL. Los transmisores a 1550 nm modulados externamente y un amplificador óptico de alta potencia son ubicados en la oficina central (CO), distribuyendo la señal broadband a 16 terminales remotas (RTs) o 32.000 suscriptores. Como los operadores utilizan transmisores de video a 1550 nm y datos y voz a 1310 nm, se puede utilizar una fibra sencilla. Con los alojamientos compartidos, fibra y el trabajo de instalación, la capa sobrepuesta de video puede ser adherida económicamente al sistema FITL.

Para disminuir los costos e incrementar la productividad del sistema, se hace crucial utilizar transmisores ópticos a 1550nm de alta potencia y receptores de video de bajo costo y baja potencia.

La figura 4.6 muestra como el costo relativo de tecnología de 1310 nm y 1550nm ha progresado en el tiempo. Este argumento muestra el costo regular en dólares de luces por milivatio contra la producción total de potencia en 1995, cuando las redes HFC comenzaron a desplegar 1550. Estos costos pueden parecer altos para operadores con redes banda base digitales; pero, estos transmisores pueden transportar por encima de 110 6-MHZ sobrecargas análogas con relaciones de transporte-a-ruido (CNRS); como se ha mostrado, la tecnología 1550nm fue típicamente muy costosa en las redes de transporte.

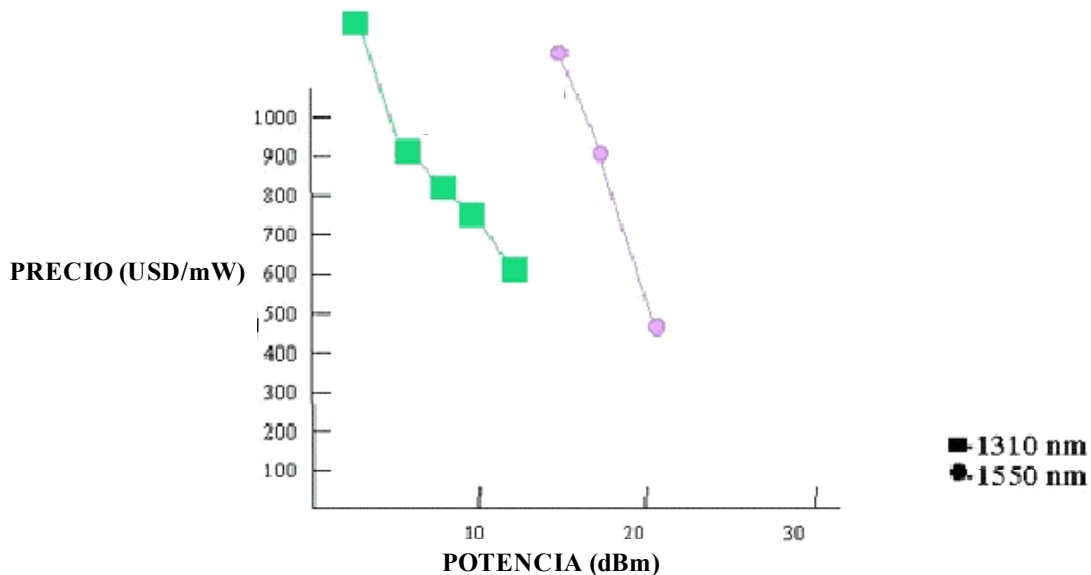


Figura 4-6. los costos de la tecnología 1310 y 1550

## ESTA TECNOLOGÍA OFRECE COSTOS MÁS BAJOS, Y GANANCIAS MÁS ALTAS

Hoy en día, las dos tecnologías, como se ha esperado, han disminuido en precio, pero la 1550 ha mejorado significativamente en valor relativo. El lado derecho de la curva en la figura 4.7 representa una extensión en capacidad sobre los amplificadores de erbio a 98 nm típicos, utilizando una tecnología codoped ytterbium-erbium. Esta tecnología aumenta la potencia de producción a 25 dBm, mientras que disminuye significativamente el costo por milivatio.

Además, para perfeccionar la capacidad de ópticos a 1550 nm y facilitar la penetración en la fibra más profunda, una siguiente generación de amplificadores que utilizan tecnología cladding pump están en desarrollo. Esta tecnología espera incrementar la potencia y reducir significativamente el costo, produciendo un costo

en dolares por milivatio en 30 dBm o 1 wat un poco menos de \$50, un mayor aprovechamiento en el costo puro de luz sobre la tecnología 1310 nm de hoy en día.

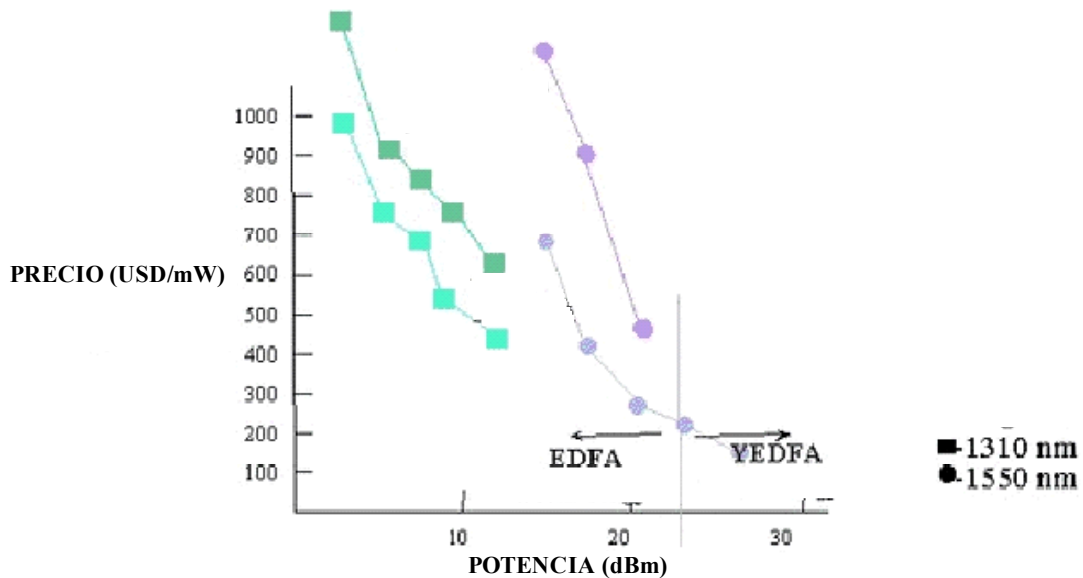


Figura 4-7 Extensión en capacidad sobre Amplificadores dopados con erbio

Esta tecnología se mostrada como solución a los problemas de espaciamento de amplificadores ópticos, siendo creada por los sistemas de larga distancia DWDM actualmente desplegados en las redes banda base de la actualidad. Utilizando estas tecnologías ópticas avanzadas, se disminuyen significativamente los costos de los servicios de difusión distribuida, habilitando así el acceso a redes de fibra más profunda.

### UTILIZANDO 1310 NM PARA NARROWCASTING

En el hub, en donde los servidores típicamente están por encima de 20.000 homes, las señales de difusión de video son recibidas sobre transmisión 1550nm, convertidas a RF, y luego liberadas en 1310nm. Los transmisores 1310

contienen dos salidas RF, uno común, o puerto de difusión, y un único o puerto narrowcast. De esta manera, video local, publicidad y algunos servicios interactivos, tales como datos y voz, pueden ser insertados.

La tecnología de alta potencia 1550 es utilizada para transportar solo la información de difusión. Como está indicado en la figura 4.9, un amplificador 22 dBm ytterbium erbium-doped fiber (YEDFA) puede golpear 64 nodos o 32.000 suscriptores, produciendo una disminución significativa en el costo de difusión. Para la información narrowcasting, se utiliza un transmisor 1310 de bajo costo, optimizado sólo para el transporte de canales QAM. Las dos longitudes de onda se combinan óptimamente para la liberación hacia el nodo.

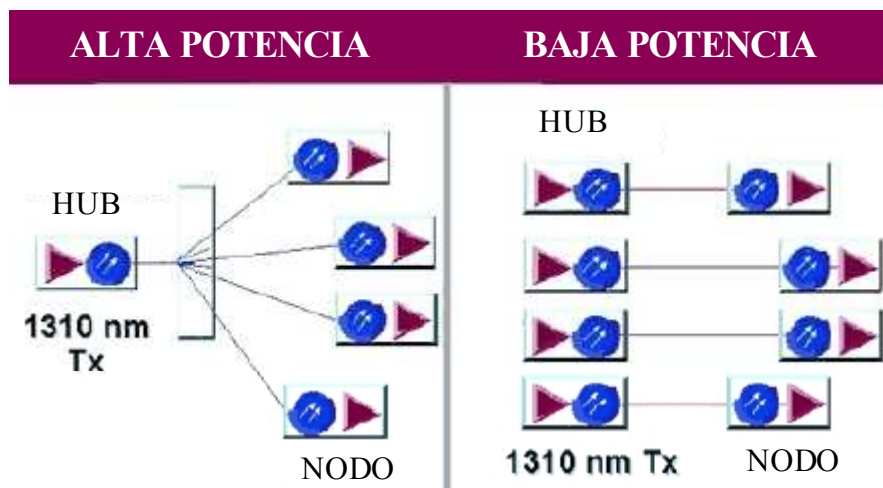


Figura 4.8. Rangos de potencia

Aparte de la disminución del costo del despliegue, esta arquitectura separa lógicamente los dos tipos de información, permitiendo a cada uno desarrollarse independientemente. El curso narrowcast ahora también se convierte en opcional, solo siendo desplegado por el mayor requerimiento. Aunque esta arquitectura apenas está empezando a ser desplegada por los grandes operadores de servicios múltiples (MSOs), es casi universalmente utilizada por los nuevos operadores de redes en Estados Unidos, así como en nuevas construcciones en

países como España, Italia, y China. Esta combinación de bajo costo de difusión , zero narrowcast cost , es lo que lleva a la viabilidad de las redes FITL integrada.

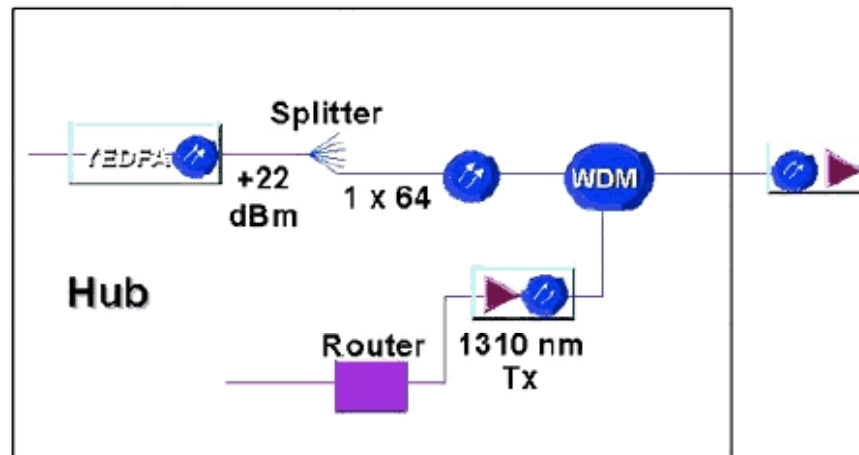


Figura 4-9 Tecnología YEDFA

## AUMENTANDO EL ANCHO DE BANDA MIENTRAS DISMINUYEN LOS COSTOS

La figura 4.10 indica como esas economías juegan fuera en la típica red de cable. Para el caso base, mostrando para arboles de muestra, el tamaño del nodo es de aproximadamente 900 homes, con 4 o 5 dispositivos activos por milla. En el medio del diagrama se muestra el despliegue de una cercana arquitectura pasiva, significando un amplificador RF. Esta arquitectura produce de 6 a 0 veces mas ancho de banda interactivo disponible, a un muy bajo costo en la inversión. Al mismo tiempo, la cuenta activa es cortada a la mitad, significando mayor confiabilidad con menor potencia y costo de mantenimiento. En una arquitectura pasiva, de 2 a 3 veces más ancho de banda es obtenido por un costo extra muy razonable. En este punto, un completo sistema interactivo va por encima de la mediana en la curva de costos.

Así, hoy en día la tecnología en despliegue permite la construcción de fibra-profunda, broadband de acceso flexible a redes capaces de manejar video interactivo, datos y servicios de voz. Nuevamente, la última meta es ser capaz de conectar a servidores en cualquier lugar de la red, eficientemente y flexible. Llevar a cabo esta meta requiere una red de firme transporte en multimedia capaz de transportar voz, datos, y las diferentes formas del tráfico de video.

		HUB A	HUB B	HUB C
CASO BASE	HOGARES	837	962	948
	COSTO POR	\$187	\$134	\$183
	HOGAR	4.3	5.3	4.5
	ACTIVIDADES			
CERCANO A PASIVO (100-150 HOGARES POR NODO)	COSTO POR	\$225	\$143	\$204
	HOGAR	21%	7%	11%
	% DE	2.1	2.4	2.6
	INCREMENTO ACTIVIDADES			
PASIVO (50 HOGARES POR NODO)	COSTO POR	\$264	\$200	\$278
	HOGAR	41%	49%	52%
	% DE	1.6	2.1	2.1
	INCREMENTO ACTIVIDADES			

Figura 4-10. Incrementando el ancho de banda mientras disminuyen los costos

## MULTIPLEXAR SONET HABILITA VOZ, DATOS Y VIDEO

Para voz y datos, la opción obvia, al menos en el temino cercano, es la tecnología SONET. Sin embargo, SONET tradicionalmente no hace un buen trabajo en el transporte de video. Los codificadores y decodificadores de video (CODECs), los

cuales comprimen una o más señales de video a servicio digital, modos de nivel 3 (DS-3), son costosos y producen relativamente pobre funcionamiento specs. Además, siendo un dispositivo fuera de borda, el manejo de la red SONET apenas refleja los circuitos DS-3; este no puede monitorear el funcionamiento de video. Consecuentemente, muchos operadores broadband instalan dos redes: un sistema SONET para voz y datos; y, un análogo, o sistema digital propietario para video. Desde dos perspectivas; una de arquitectura y una operacional, esta no es una solución óptima.

Para direccionar este esencial problema de transporte, un multiplexor optimizado de video OC-48 SONET ha sido desarrollado. (Vea figura 4.11), Los dispositivos de entrada y salida de video optimizado toman canales de video análogo en varios formatos y los mapean directamente en ranuras STS-3 SONET. Esto permite al operador transportar video análogo no comprimido con alto rendimiento. Para codificar el video, el operador puede utilizar muestras de 10 bits y mapearlos banda base y señales de video IF, a través de canales mezclados o limpios. Esta tecnología permite construir una verdadera multimedia firme en la cual un simple par de fibras transportan un rango completo de video, voz y servicios de datos. La eliminación de arquitecturas específicas crea la flexibilidad necesitada para incertidumbre inherente en el nuevo servicio rollouts.

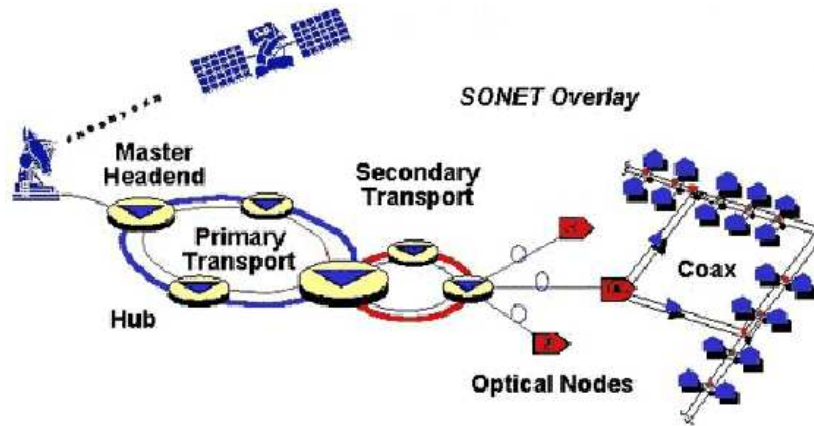
Una desventaja de transportar digitalmente señales de video análogas sin compresión, es la gran cantidad de ancho de banda necesario (16 canales análogos ocupan un OC-48 entero). Para direccionar esto, DWDM se usa para combinar más de 8 sistemas sobre una sola fibra. Esta combinación permite el transporte de 80 canales de video análogo y unos 100 de video digital, manteniendo 5 gigabites para los servicios de voz y de datos.

## UTILIZANDO LA RED ANÁLOGA PARA EL TRÁFICO INTERACTIVO

La red existente de transporte análogo también puede jugar un rol en el transporte de tráfico interactivo. Para video sobre demanda, por ejemplo, un hub típico puede necesitar recibir varios cientos de corrientes digitales para responder los requerimientos de tráfico para una penetración del 20% o 30%.

Liberar esta cantidad de ancho de banda por encima de ocho transmisores 155, cada uno transportando 200MHz de cargamento QAM puede ser multiplexado sobre una fibra sencilla y combinada en el hub con la difusión de señal (Vea figura 4.12). dependiendo de las arquitecturas escogidas, cualquier externamente modulado o transmisores directamente modulados pueden ser utilizados. Esta tecnología también está siendo utilizada en la dirección contra la corriente para llevar cursos de señales desde hubs hacia terminales de cabeza.

En grandes terminos, los sistemas necesitarán transportar sobre la misma fibra, no solamente en múltiples longitudes de onda o banda base digital, también múltiples canales QAM y en una fila análoga como tal. En esta forma, las firmes redes de área metropolitana (MANs) pueden ser construidas para responder la meta de conectividad eficiente de servicios multimedia en formatos múltiples, evitando conversión innecesaria y costos de procesamiento cuando se pueda.



Prisma DT is a multiservice OC-48 multiplexer optimized for regional interconnection and transport of:

- Linear Broadcast Video
- Interactive Data and Voice Services

Figura 4.11 Un Multiplexor de video optimizado SONET OC-48

## DWDM Forward

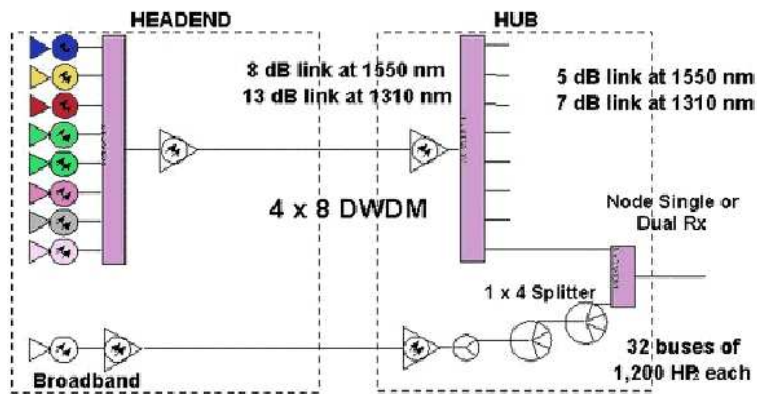


Figura 4-12. Utilizando la red analógica para el tráfico interactivo.

# 5

## ANÁLISIS DE OPTIMIZACIÓN DE RESULTADOS EN MULTIPERIODOS DEL DISEÑO DE LA RED DWDM

Los operadores de redes actualmente están desplegando transporte óptico de redes basadas en DWDM para responder a los tremendos requerimientos de ancho de banda causados por el crecimiento explosivo en el tráfico de Internet, aumentando la competencia, forzando a bajar las tarifas para las llamadas de voz, y redes privadas virtuales corporativas atravesando el globo terráqueo.

DWDM es visto como una solución efectiva para esta demanda extraordinaria de ancho de banda. Canales ópticos pueden ser levantados entre nodos basados en longitudes de onda dentro del sistema de transmisión. Diferentes tasas de señales del cliente también pueden ser acomodadas, e.g. 2.5 GHz y 10GHz, sobre la misma red, así como muchos tipos diferentes de servicios, e.g. SDH y Gigabit Ethernet. Esta estructura significa que las redes de transporte óptico no serán transparentes, como se pensó originalmente, pero, brinda la oportunidad de un

poderoso manejo del canal utilizando el cabezal óptico, y fortalecer por adelantado los errores de conexión para aumentar el máximo alcance de fibra y reducir los requerimientos de amplificadores ópticos.

Actualmente, los sistemas disponibles comercialmente pueden ofrecer más de 80 longitudes de onda ópticas sobre una fibra sencilla. Muchos sistemas de línea DWDM, incluyen componentes modulares, permitiendo un incremento del crecimiento de canales, aumentando la inversión de red sobre el tiempo de vida de la red.

Por esto se requiere de una cuidadosa optimización en el diseño de la red sobre los típicos cinco años de planeación para brindar un costo efectivo de la red, encontrando algunas restricciones presupuestarias para la instalación o mejoramiento de equipos en cada periodo anual. Esto resulta en el término diseño *multi-periódico*.

Hacia el fin del horizonte de planeación, los pronósticos del tráfico son un estimado mejor manejado. La flexibilidad de la red en términos de crecimiento del tráfico y agitación es una característica importante.

La disponibilidad de la red, es un factor clave para permitir el aprovisionamiento de los acuerdos de nivel del servicio. La protección y restauración de la capa óptica brinda una opción extra al cliente tradicional, con los protocolos de protección / restauración de la capa, como lo es la re-configuración del enrutado de la topología IP y los anillos SDH. Las atractivas técnicas de supervivencia de la capa óptica propuestas incluyen: rutas de protección del canal óptico 1+1, protección de anillos de secciones de multiplexores ópticos compartidos, y protección de la capa de canales ópticos (con cualquiera, protección compartida o dedicada), y restauración

utilizando conectores ópticos cruzados. Disminuir el tráfico prioritario puede ser enrutado sin protección en la capa óptica.

El tráfico es asignado para una típica red nacional de tamaño medio, asumiendo un crecimiento del tráfico de x10 sobre 5 años. Las salidas al proceso de diseño incluye la localización de nodos, disponiendo los canales de rutas entre nodos (links), y el pronóstico del tráfico para cada periodo.

## **DIFICULTADES DE CAPAS MÚLTIPLES Y ANILLOS ÓPTICOS**

Optimizar completamente el diseño de la red es necesario para considerar la señal del cliente más extendida, tráfico SDH (o SONET), e incluir mecanismos de supervivencia basados en las arquitecturas de anillos ópticos.

### **1) *Demandas de tráfico SDH/SONET***

Los anillos SDH de auto-recuperación reservan el 50% de la capacidad para la protección automática interrumpiendo mecanismos. Entonces es lógico evitar la capacidad duplicada sobrante, y la contención de protección multi- capa en una falla, por la corriente del tráfico desprotegido de capa-SDH en la red de transporte óptica entre los nodos que add/drop el tráfico SDH.

Mantener la supervivencia para la capa SDH, es vital que un anillo SDH esté enrutado a través de la capa óptica, y que el link óptico no esté usado más de una vez para el anillo SDH completo. Los puntos sencillos de fallas, deben ser anulados. En el ejemplo más abajo, en la fig. 5.1, el anillo SDH es especificado como un alimentador a los nodos A, B, C, E y retornando entonces a A ( nodos activos marcados en gris).

Los cursos más cortos de enrutado para cada 'salto' SDH, causan que el curso de la curva regrese a A, anteriormente fue extendido a E (mostrado en el rayado azul). El encierro debe ser obedecido, así un ciclo es utilizado en la capa óptica como si la capa SDH cliente. Ahora el curso seguirá la ruta más larga del esquema para visitar E antes de retornar a A.

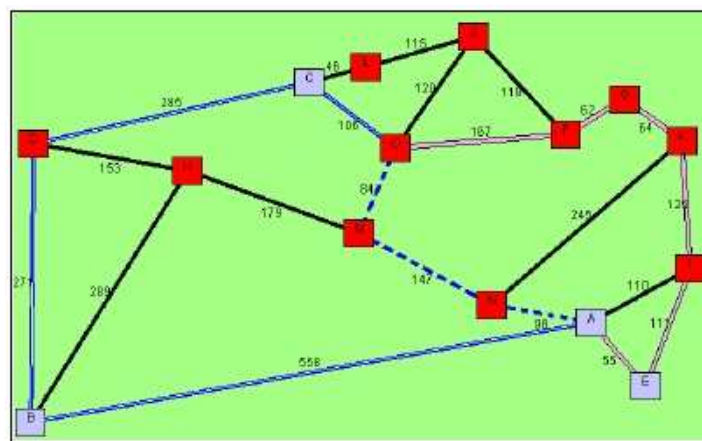


Figura 5-1 Dificultades de diseño DSH sobre DWDM: el anillo SDH debe ser enrutado en la capa óptica como un anillo distinto destorcido también. Las distancias se muestran en Km.

Otra solución a esto, es la optimización del empalme de las capas SDH y DWDM simultáneamente, antes que se especifique el tráfico SDH encaminado como una salida a las herramientas de la capa DWDM. Posibles soluciones incluyen un método interactivo esencial, o un método de empaque de longitud de onda.

## 2) Anillos ópticos y protección compartida.

El beneficio clave de utilizar arquitecturas de anillo óptico es simplemente que los multiplexores add-drop de longitud de onda (WADMa) pueden ser utilizados en nodos, antes que las costosas terminales DWDM o los conectores ópticos cruzados.

Una capacidad potencial económica beneficia las apariciones en la forma de anillos de protección compartida de capas de canales ópticos (Och- SPRings). Otras formas de protección de la capa óptica requieren que al menos el 50% de la capacidad sobrante sea reservada.

Para anillos OMS-SP y anillos Och-DP es exactamente el 50%.

Los anillos Och-SPR permiten que los canales en operación sean reutilizados mediante cursos de trabajo non-overlapping en una significativa capacidad económica de 20-40 %. Sin embargo, con anillos SDH MSSP, la figura actual depende fuertemente del tráfico de distribución, y también del número de nodos en el anillo. El diseño de anillo deberá así, enfocarse en la generación de anillos grandes con al menos 8 nodos, y con tantas demandas de rutas sobre ellos como sea posible (este es el accesorio óptimo de las demandas de tipo-adyacente que brindan los mejores resultados).

Las arquitecturas de red de anillos Och-SPR permiten la protección de demandas en un básico por-canal, antes que la anterior filosofía de anillo de interrumpir una sección completa de multiplexor para supervivencia. En una red de malla compuesta de adicionar y descargar anillos Och-SPR, esta técnica de supervivencia es un paso hacia la restauración de la malla.

Una desventaja de esta técnica puede causar problemas en el futuro de las redes IP. El tráfico corporativo de clase IP puede ser protegido en la capa óptica para incrementar la disponibilidad. Si dos enrutadores IP están conectados utilizando un anillo Och-SP, y la capa óptica ha sido optimizada para asegurar la capacidad utilizando las recomendaciones de arriba (anillos grandes para tráfico adyacente), el radio de distancia entre protección y cursos trabajando será bastante grande.

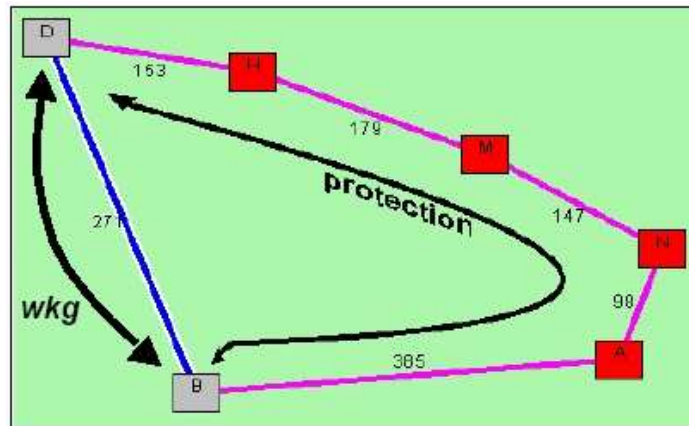


Figura 5.2 Planeando dificultades IP sobre DWDM: retrasar (distancia) puede convertirse en un factor

En la figura 5.2 una demanda de cliente IP desde B a D es protegida utilizando un anillo largo vía A, N, M y H. Esta demanda es ideal para ayudar a perfeccionar la utilización de la capacidad del anillo Och-SP. El curso trabajado es de 271 Km y el curso de protección alrededor del anillo es de 962 Km. En el caso de una falla en el link B a D, La protección activará el curso más largo. Cualquier conexión TCP/IP establecida estará severamente impactada por que las ventanas de transmisión TCP decrecerán debido al gran retardo de propagación (latencia). La cantidad de ancho de banda disponible para tráfico TCP/IP en este enrutador dividirá por un factor de  $962/271 = 3.5$  aproximadamente. Además, este deterioro persistirá hasta que el cable cortado sea reparado.

Los circuitos interrumpidos de tráfico bajo protección basada en anillo recupera el 100% de la comunicación interrumpida. Para la corriente de tráfico basada en TCP/IP sobre los canales DWDM, ahora solo es posible recuperar un porcentaje del ancho de banda disponible para los usuarios finales. Esto entonces estará por encima de la restauración de la capa IP para ajustar estas tablas de enrutamiento en los links de menor capacidad. Note que esta degradación en el funcionamiento será aplicada también a rutas interconectadas por cursos de protección 1+1, pero es probable que el efecto sea menos problemático.

## TÉCNICAS DE DISEÑO MULTI-PERÍODO

El diseño multi-periódico de redes está planeando a lo largo de varios años, con vista en producir incrementalmente una red capaz de transportar todo el tráfico previsto más arriba del límite del horizonte de diseño, en una forma de costo efectivo.

La optimización de la red permite al tráfico re-enrutado ir lejos del curso más corto en orden para evitar o retrasar el despliegue de ciertos sistemas de Línea óptica sobre un link. Esto también es conocido como Balanceo de carga.

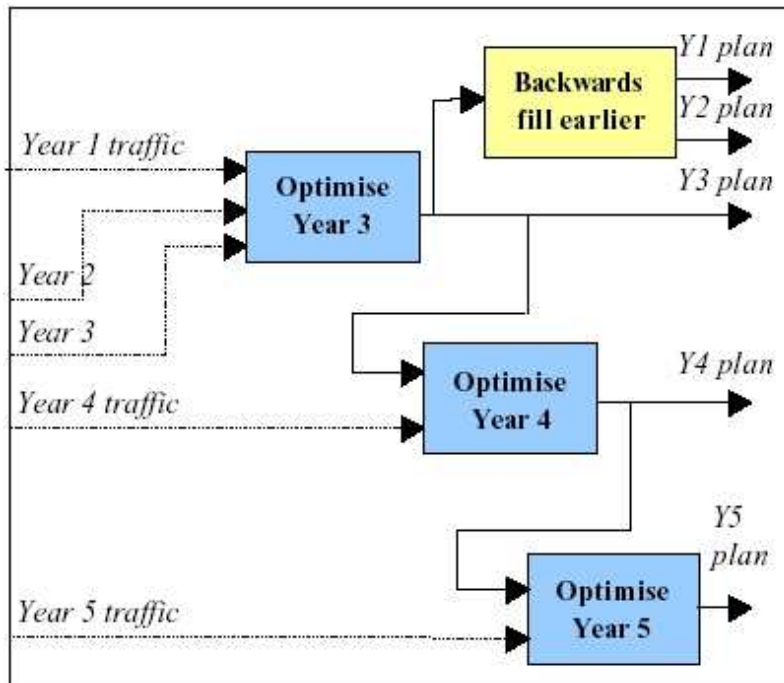


Figura 5.3 Ejemplo de un método 03+ para un plan de 5 años.

## CASO DE ESTUDIO DE RED

Un caso de estudio de red es determinado utilizando una colocación casual de nodos. Las distancias envueltas y el nivel de tráfico indica un tamaño medio del backbone de red nacional. Mirar Fig. 5.4 para la topología.

El nodo hub A, se asume como la ciudad capital. Los nodos entonces disminuyen en orden de importancia en orden alfabético, brindando un total de 16 nodos.

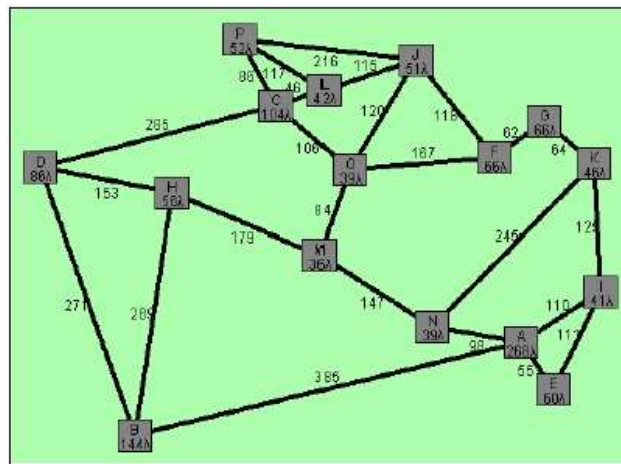


Figura 5-4 Caso de estudio de red con distancias link en km.

La designación conveniente de links fue creada a mano. Allí hay 25 links, y todos los nodos tienen una conectividad de al menos 2, de modo que una red sobreviviente puede ser realizada.

Para simplificar el análisis, el tráfico puede ser enrutado compuesto del 50% de las demandas del curso de luz desprotegido, y el 50% de las demandas de curso óptico 1+1 protegido. La distribución del tráfico es pesado por la importancia relativa de los nodos. Un incremento de diez veces en el tráfico ocurre sobre los cinco años del escenario. Esto es equivalente al 77% compuesto anual del

porcentaje de la tasa de crecimiento, tomando el volumen de tráfico desde 60 longitudes de onda en 1 año hasta 598 en año 5, como se muestra en la Fig. 5.5.

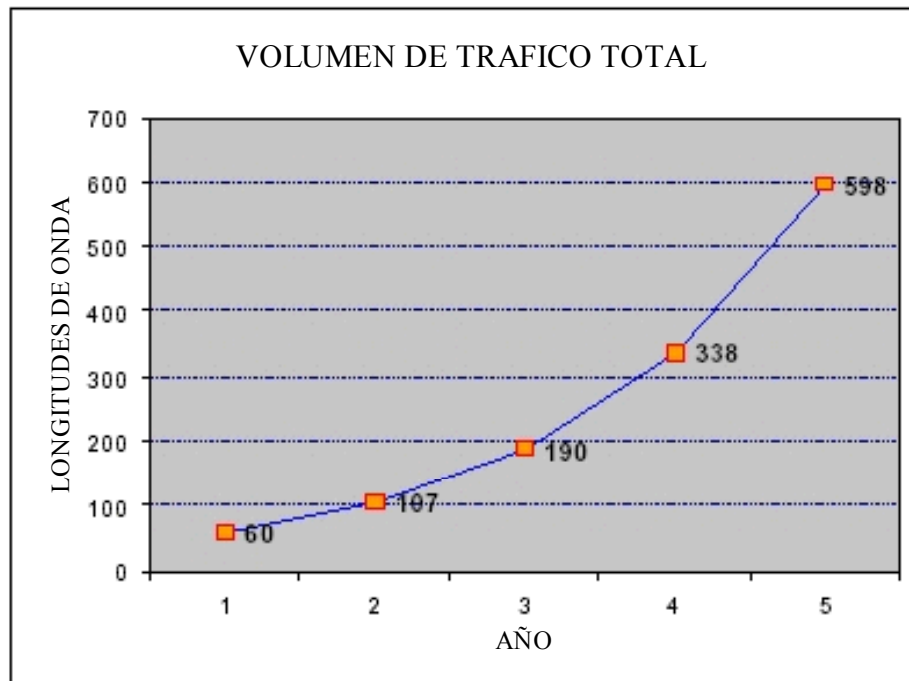


Figura 5-5. Caso de estudio de la evolución del volumen del tráfico.

## ALGORITMOS EMPLEADOS

El análisis es realizado utilizando una red óptica basada en Java y diseño de herramientas. La topología de red es especificada una a una manualmente utilizando la GUI o mediante tablas. Para cada periodo de optimización se requiere que el algoritmo corra como en la Fig. 5.6. El tráfico requerido es introducido y enrutado utilizando el algoritmo de curso más corto Dijkstra para las demandas desprotegidas, y la implementación de un ciclo mínimo para las demandas protegidas.

Un límite sobre el ciclo máximo de longitud es impuesto. Si una demanda protegida excede esta distancia, la demanda es enrutada al link solamente si es posible, así, se pueden utilizar los nodos 'pinchpoint', y el número de terminaciones de transponders se incrementa. Para el caso de estudio de red, el máximo ciclo de longitud fue tomado en 1500km.

A menudo los transportadores imponen un ciclo máximo de onda para el aumento de la disponibilidad de la figura desde que los ciclos largos son más parecidos a la experiencia de las fallas duales.

Los sistemas DWDM están asignados basados sobre las distribuciones de links. Los sistemas pueden estar amontonados utilizando diferentes fibras en el link. Tres tipos de sistemas son asumidos de diferentes capacidades: 40, 80, y 160 longitudes de ondas. Un servicio de mejoramiento es también para migrar desde 40 a 80 sistemas de canal ejecutando un ejercicio de diseño de multi periodo. La asignación del sistema está basado en mejoras sencillas de tablas heurísticas.

Estas ubicaciones de sistemas son entonces, cuestionadas por el módulo de balanceamiento de carga, el cual intenta quitar (o desmejorar) sistemas mediante tráfico re-enrutado. Los sistemas son considerados si su utilización es menor a un cierto umbral, o, si están dentro de este umbral siendo rebajados a sistemas más baratos. Los sistemas más cerrados están siendo quitados/desmejorados son examinados primero. Por ejemplo, utilizando un 30% de umbral de balanceo de carga, un sistema de 80 longitudes de onda será considerado para eliminación si menos de 24 longitudes de onda son lit. pero, si entre 40 y 64 longitudes de onda están lit, el sistema será considerado para una disminución a un sistema de 40 canales.

Un re-enrutado heurístico persistente es utilizado para tratar de re-enrutar todas las demandas sobre el sistema candidato utilizando otras rutas en orden para llevar a cabo la eliminación o desmejoramiento del sistema en cuestión.

La opción del umbral es importante desde que le permite a la red proyectista para permitir una capacidad inusual en la red para el crecimiento en años subsecuentes. Si también alto un valor es elegido, muchas demandas serán re-enrutadas sobre cursos más largos que los más cortos. Esto causa un incremento en la utilización del sistema transportando las demandas re-enrutadas, las cuales, en los años siguientes pueden requerir una mejora temprana que podría venir siendo necesario utilizar un umbral más bajo. Por lo tanto, una red súper optimizada en el año N puede significar que en años tardíos se requiere varias líneas de sistema extra.

Una idea cualitativa del costo total del sistema es calculada basada en las simples reglas de pulgar para la transmisión de sistemas. Sin embargo, desde que se realizo el montaje hace algunos años, un escenario de ‘pago con creces’ aplicaría, y un calculo del valor presente es usado para comparara las muchas opciones. La tabla 5.1 indica el costo relativo tomado para los sistemas DWDM. El costo en-servicio de mejoramiento es tomado como la diferencia entre los costos del canal 40 y el 80.

<i>Capacidad del sistema</i>	<i>Costo Relativo</i>
40 Longitudes de onda	1
80 Longitudes de onda	$\sqrt{2.5} = 1.58$
160 Longitudes de onda	2.5

Tabla 5.1 - Sistema DWDM, costos relativos tomados.

El efecto del balanceo de carga sobre el número de transponders ópticos también es investigado. Como algunas demandas viajan a lo largo de otro curso que los más pequeños, el número promedio de links incrementa y así el número de ópticos que pasan a través de los transponders se incrementará. En una red real esto sería complicado por el hecho que algunos nodos, los cuales no terminan muchas longitudes de onda, serán seleccionados para convertirse en Multiplexores de longitud de onda Add-Drop (WADMs), una arquitectura sencilla de nodo donde no se requiere pasar a través de los transponders. Los niveles de tráfico y el rápido crecimiento de la evolución imposibilita la consideración de los WADMs debido a su limitada flexibilidad de longitud de onda add/drop. Así, una simplificación del conteo del total del ancho de red que pasa a través de longitudes de onda es usado para estimar los requerimientos de transponders.

## RESULTADOS

El escenario de cinco años ha sido analizado 15 veces desde que hay 5 métodos de optimización, y para cada uno, los umbrales de balanceo de carga fueron probados en un 10%, 30% y 100% (lo cual implica que todos los sistemas son al menos considerados para eliminación/desmejoramiento). Sin embargo, utilizando el método O2+, los resultados son muy similares al O1+ y son omitidos por su sencillez. Inicialmente, se toma un factor de descuento del 10%.

### *1) Requerimientos de los sistemas DWDM*

El posterior e importante periodo de optimización, (e.g. O5), la gran inversión inicial requerida en el primer año. Eso es porque los sistemas de mayor capacidad han sido instalados en lugar de sistemas de 40 canales, en anticipación de los volúmenes de tráfico futuros.

El paso de balanceo de carga causa un incremento en el promedio de utilización de link. Si esto causa que un sistema sea cerrado operando al límite de capacidad en un año, las demandas de los siguientes años requerirán un nuevo sistema. Esto es por que todavía hay significantes requerimientos de sistemas en los años subsecuentes siguiendo la optimización, por ejemplo, en el año 5 para el método O4+.

<i>Metodo Anual</i>	<i>Balance de gargas (%)</i>	<i>Año 1</i>	<i>Año 2</i>	<i>Año 3</i>	<i>Año 4</i>	<i>Año 5</i>	<i>Total (PV)</i>
<b>O1+</b>	10	24.0	0.0	4.7	9.5	18.7	<b>56.8</b>
	30	22.0	0.9	4.7	9.5	19.3	<b>56.4</b>
	100	22.0	0.9	3.8	10.7	19.3	<b>56.7</b>
<b>O3+</b>	10	24.0	1.1	2.4	9.9	18.7	<b>56.1</b>
	30	24.0	1.1	2.4	9.9	18.7	<b>56.1</b>
	100	24.0	2.1	0.5	10.5	18.4	<b>55.5</b>
<b>O4+</b>	10	35.5	0.0	0.5	1.7	17.1	<b>54.8</b>
	30	34.5	0.0	1.0	1.3	17.8	<b>54.6</b>
	100	34.5	0.0	0.5	1.7	16.7	<b>53.4</b>
<b>O5</b>	10	35.5	0.0	10.3	3.2	6.2	<b>55.2</b>
	30	32.5	0.0	11.3	5.5	3.3	<b>52.6</b>
	100	32.5	0.0	11.3	5.1	3.7	<b>52.5</b>

Tabla 5.2- Costo de sistema (PVs con tasa de descuento de 10%)

Sin embargo, estas figuras son extremadamente sensibles al factor de descuento escogido, es cual es por naturaleza una cantidad subjetiva. La Fig. 5.7 ilustra la utilización del 30% del umbral de balanceo de carga, como la opción más

económica que varía con el factor de descuento escogido, y se indica la opción que tiene el menor costo en la tasa.

Así, para factores de tasas de descuento menores al 17.5% en este caso, optimizando la red sobre la cual el tiempo de escala del proyecto (método O5) brinda el menor costo de la completa implementación de la red. Con una tasa de descuento mayor que el 17.5%, en año por año la optimización iterativa de la red brinda el menor costo de la red (método O1+).

Sin embargo, un despliegue frecuente y un acercamiento mejora tal cual como resultaría O1+ en Operaciones mayores y el manejo de costos desde que hay disponibles más tecnologías y sistemas en uso concurrentemente.

La mayor red de conectividad tiene una región donde el método O4+ resulta en el menor costo. Los diferentes gradientes y puntos de sobre cambio son altamente dependientes de la topología, conectividad y distribución de tráfico, así como la compleja relación entre el tráfico de carga y las capacidades del sistema DWDM. Ningún patrón obvio ha sido encontrado.

Para todas estas soluciones, la utilización de la capacidad de la red después del año 5 está en el rango de 85-94%.

## ***2) Requerimientos del transponder óptico.***

Contribuyendo también con el costo total de inversión en la red están los transponders ópticos requeridos, aquí simplificado mediante sólo mirar el número de longitudes de onda que pasan a través, totalizadas para todos los nodos. Una técnica de valor presente es usada también desde que los transponders están desplegados solamente como longitudes de onda son lit.

Los mayores porcentajes del umbral de balanceo de carga, el gran número de transponders requeridos, debido a que más demandas han sido enrutadas a cursos más largos. Esta es el 'castigo' pagada por remover las líneas de sistemas. Estos resultados pensados son mucho menos sensibles a la tasa de descuento usada, debido a la extensión más fuerte sobre los años desde que los transponders necesitan ser instalados en cada periodo para acomodar nuevamente el despliegue de los canales ópticos. En comparación, la línea de sistemas requiere una 'función de paso' en inversión cada vez que uno es desplegado o mejorado.

La técnica O4+ en este ejemplo requiere el menor número de transponders. Esto es porque los volúmenes de tráfico en el año 4 comparados con las capacidades de los sistemas son tales que no muchos sistemas pueden ser quitados y así ocurren menos re-routing.

## **CONCLUSIONES**

La estrategia de inversión de operadores de red, incluyendo ninguna limitación en el presupuesto anual, dicta la técnica de optimización. Se ha mostrado como la optimización centrada sobre un año en particular en un horizonte de diseño de red puede afectar la línea de sistemas DWDM y los requerimientos de transponders. Esto será posible para optimizar las redes de acuerdo a las estrategias de inversión intentadas mediante la elección del año de optimización y ajustando los umbrales de balanceo de carga.

Diferentes distribuciones de tráfico y proyecciones de la evolución del volumen afectaran fuertemente los resultados obtenidos. El porcentaje de tasa de descuento utilizada influencia fuertemente la opción de optimización costo - efectivo de la línea de sistemas. A menos que una postura agresiva se tome en

términos de factores de descuento, esto parece funcionar considerando la optimización de redes centradas sobre los últimos años en el plan, por ejemplo, los métodos O4+ y O5 descritos arriba. Sin embargo, en el mercado corriente con un decrecimiento rápido en el precio de ancho de banda, esto puede ser prudente para optimizar el diseño de la red alrededor de los años anteriores de un plan. Este acercamiento será también menos riesgoso en términos de la incertidumbre del futuro de las demandas de tráfico.

<i>Método Anual</i>	<i>Balance de carga (%)</i>	<i>Año 1</i>	<i>Año 2</i>	<i>Año 3</i>	<i>Año 4</i>	<i>Año 5</i>	<i>Total (PV)</i>
<b>O1+</b>	10	192	135	235	374	686	<b>1622</b>
	30	209	143	242	424	686	<b>1704</b>
	100	209	143	255	426	698	<b>1731</b>
<b>O3+</b>	10	195	131	233	371	686	<b>1616</b>
	30	195	131	233	371	686	<b>1616</b>
	100	202	141	256	362	744	<b>1706</b>
<b>O4+</b>	10	194	134	232	363	688	<b>1611</b>
	30	195	145	269	336	678	<b>1624</b>
	100	195	145	236	366	712	<b>1654</b>
<b>O5</b>	10	202	140	232	363	678	<b>1615</b>
	30	213	145	242	361	678	<b>1640</b>
	100	213	145	242	361	678	<b>1640</b>

Tabla 5.3 - Costo de los transponders PVs (factor de descuento de 10%)

Los requerimientos de los transponders son menos sensibles a las tasas de descuento desde que son instalados sobre un par de canales básicos comparado a la capacidad granulada de las líneas de sistemas 'paso - función'.

## **TRABAJO ADICIONAL**

Las redes multi capa complican el proceso de diseño de redes multi - período además mediante la introducción de encierros, por ejemplo para los anillos enrutados SDH, o a través de otras dificultades que causan el deshacerse de ciertos factores deseados. una red IP puede sufrir inaceptablemente cuando una capa de anillo óptico optimizada se direcciona en el evento de una falla de link. La completa optimización de las redes multi - capa y multi - periodo debe que ser considerada para producir soluciones prácticas de red.

# REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS Y LECTURA ADICIONAL

Los lectores que estén interesados en más información detallada acerca de las redes ópticas encontrarán que esta es una ancha selección de recursos disponibles, especialmente sobre SONET. Las siguientes publicaciones son buenos textos básicos:

- Dutton, Harry J. R. *Understanding Optical Communications*. Research Triangle Park: IBM Corporation; 1998.
- Goff, David R. *Fiber Optic Reference Guide*, 2nd edition. Boston: Focal Press; 1999.
- Goralski, Walter J. *SONET*, 2nd edition. New York: McGraw-Hill; 2000.
- Kaminow, Ivan P., and Koch, Thomas L., eds. *Optical Fiber Telecommunications*. San Diego: Academic Press; 1997.
- K. Struyve, N. Wauters, P. Falcao 'Application, Design, and Evolution of WDM in GTS's Pan-European Transport Network', IEEE Communications Magazine vol. 38 no. 3, March 2000.
- J. Meijen, E. Varma, R. Wu, Y. Wang 'Multi-Layer Survivability' (1999), a white paper available at <http://www.lucentoptical.com/resources/>
- 'Planning of Optical Networks', EURESCOM Project P709 Deliverable 3, March 2000. <http://www.eurescom.de/Public/Projects/p700-series/P709/P709.HTM>
- O. Gerstel, P. Lin, G.Sasaki, 'Combined WDM and SONET Network design', IEEE Infocom 1999.
- P. Arijs, M. Gryseels, P. Demeester 'Planning of WDM Ring Networks', Photonic Network Communications, vol. 2 no. 1, March 2000.

- C. Coltro 'Implementing a TCP/IP aware survivable transmission infrastructure', 2nd International Workshop on the Design of Reliable Communications Networks, Munich, Germany, 10-12 April 2000.
- L. Aguirre, C. Phillips, M. Duff, P. Lane, L. Sacks 'IP over Optics: Rendimiento Modelling of Optical Shared Protection Rings', London Communications Symposium, 26th-27th July 1999. Available at <http://www.ee.ucl.ac.uk/~tcg/conference/papers99/index.html>.
- M. Pickavet, P. Demeester, 'Long-term planning of WDM networks: A comparison between single-period and multi-period techniques', Photonic Network Communications, vol. 1 no. 4, December 1999.
- T. Wu, R. Cardwell, M. Boyden, 'A Multi-Period Design Model for Survivable Network Architecture Selection for SONET Interoffice Networks', IEEE Transactions on Reliability, vol. 40, no. 4, October 1991.
- S. Lanning, D. Mitra, Q. Wang, M. Wright 'Optimal Planning For Optical Transport Networks', Phil. Transactions of the Royal Society (London) vol. 358 no. 1773, August 2000.