

**CARACTERISTICAS DE LA MULTIPLEXACION EN REDES WDM, PARA
LA POTENCIACION CON BASE AL TRÁFICO DE LA ACTUAL RED DE
FIBRA OPTICA DE EMCALI**



**EDWIN ALIRIO QUIÑONES ALVARADO
LUIS ALBERT CRUZ LOPEZ**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
POPAYÁN
2007**

**CARACTERISTICAS DE LA MULTIPLEXACION EN REDES WDM, PARA
LA POTENCIACION CON BASE AL TRÁFICO DE LA ACTUAL RED DE
FIBRA OPTICA DE EMCALI**

Modalidad Práctica Empresarial

**EDWIN ALIRIO QUIÑONES ALVARADO
LUIS ALBERT CRUZ LOPEZ**

**Documento presentado como requisito
parcial para optar al título de Ingenieros
Físicos.**

DIRECTOR Ing. Diego Bravo

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
POPAYÁN
2007**

Nota de Aceptación

Director: Ing. Diego Bravo

Jurado: Ing. Alejandro Toledo

Jurado: Mg. Luís F. Echeverri

Popayán, 15 de Marzo de 2007.

*A Dios, mi familia y mis maestros que me ayudaron a
construir este tesoro y junto a quienes confiaron y creyeron en
mí e hicieron posible esta realidad
..... que los sentimientos que me embargan los
llenen a todos como muestra de mi eterna gratitud.*

Luis Albert Cruz Lopez,

*Definitiva y exclusivamente a DIOS, mis PADRES y
HERMANOS, por su gran AMOR, CONFLANZA
Y APOYO INCONDICIONAL
..... fuentes de mis más preciados valores.*

Edwin Alirio Quiñones Alvarado.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

A Dios, por todo lo que somos y por todo lo que tenemos.

Al profesor Luís F. Echeverri y al Grupo de Óptica y Láser de la Universidad del Cauca por su apreciable colaboración y gran acogida durante la ejecución del proyecto.

Eugenio Castro, Ingeniero Electrónico de las Empresas municipales de Cali, por su labor de dirección y orientación en el desarrollo del proyecto.

Los profesores del Departamento de Física por su vital y tan valioso apoyo durante la formación, tanto académica como humana, de nuestro perfil profesional como ingenieros físicos.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	1
CAPITULO I	3
1. COMPONENTES PARA LAS COMUNICACIONES OPTICAS	3
1.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE REDES DE TELECOMUNICACIONES.....	3
1.1.1 Tipos de redes.....	3
1.1.1.1 Redes LAN (Redes de Área Local).....	4
1.1.1.2 Redes MAN (Redes de Área Metropolitana).....	4
1.1.1.3 Redes WAN (Redes de Área Amplia).....	5
1.1.2 Redes telefónicas.....	5
1.1.2.1 Centrales Tándem.....	6
1.1.2.2 Central local.....	6
1.1.3 Redes de datos.....	6
1.1.4 Red de señalización.....	6
1.1.5 Redes de conmutación de paquetes.....	6
1.1.6 Red de transporte.....	6
1.1.7 Redes de control.....	7
1.2 LA LUZ COMO SOPORTE DE INFORMACIÓN.....	7
1.2.1 Elementos de un sistema de comunicaciones por fibra.....	8
1.3 PROPAGACION.....	10
1.3.1 El medio de propagación.....	10
1.3.2 Propagación de la luz en la fibra óptica.....	12
1.4 COMPONENTES GENERALIZADOS.....	14
1.5 COMPONENTES OPTICOS EN REDES DE TELECOMUNICACIONES.....	15
1.5.1 Atenuadores.....	15
1.5.2 Divisores de potencia y acopladores direccionales.....	15
1.5.3 Aisladores.....	17
1.5.4 Circuladores.....	18
1.5.5 Multiplexores ópticos/Demultiplexores ópticos /Duplexores.....	18
1.5.6 Interruptores mecánicos.....	20

1.6 SUBCOMPONENTES.....	21
1.6.1 Prismas.....	21
1.6.2 Rejillas.....	22
1.6.3 Filtros.....	23
1.6.4 Divisores de haz.....	23
1.6.5 Efecto Faraday.....	24
1.6.6 Polarizadores.....	25
CAPITULO II.....	26
2. MULTIPLEXACION.....	26
2.1 TDM (Multiplexación por división de tiempo).....	26
2.2 WDM (Multiplexación por division longitud de onda).....	28
2.2.1 CWDM (Multiplexación por division longitud de onda aproximada).....	29
2.2.2 DWDM (Multiplexación por division longitud de onda densa)	31
2.3 FUNCIONAMIENTO DE LA TECNICA WDM.....	32
2.4 DISPOSITIVOS EMPLEADOS EN LA MULTIPLEXACIÓN.....	32
2.4.1 Componentes activos.....	33
2.4.1.1 Emisores.....	33
2.4.1.1.1 Características de los emisores.....	35
2.4.1.2 Detectores o receptores ópticos.....	36
2.4.1.3 Adaptación de longitud de onda.....	37
2.4.1.4 Conversión de longitud de onda.....	38
2.4.1.5 Multiplexores	41
2.4.2 Componentes pasivos.....	43
2.4.2.1 Dispositivos micro-ópticos	43
2.4.2.2 Dispositivos de fibra.....	47
CAPITULO III.....	49
3. DESCRIPCION DE LA RED DE EMCALI TELECOMUNICACIONES.....	49
3.1 CENTRALES TELEFÓNICAS DE LA RED.....	49
3.2 MEDIOS DE TRANSMISION.....	51
3.3 RED DE SEÑALIZACIÓN.....	56
3.3.1 Sistema de interconexión.....	57
3.3.2 Sistema de gestión GERTEL.....	57
3.4 RED DE DATOS.....	59

3.4.1 Nodos de conmutación.....	59
3.5 RED INTELIGENTE.....	60
3.6 DESCRIPCIÓN DE LA RED XDSL.....	61
3.7 NODO DE INTERNET.....	61
3.8 RED DE TRANSMISIÓN.....	63
3.9 ESTANDAR UIT-T G.694.2.....	64
CAPITULO IV.....	65
4. NGN PARA LA RED DE EMCALI TELECOMUNICACIONES.....	65
4.1 RED MULTISERVICIOS PARA EMCALI TELECOMUNICACIONES.....	67
4.1.1 Red de acceso y core de paquetes.....	69
4.1.2 Manejo de tráfico en la red multiservicios.....	71
4.2 ANCHO DE BANDA PROYECTADO PARA LA PRIMERA FASE DE MIGRACIÓN.....	71
4.2.1 Distribución y ancho de banda en la red multiservicios.....	71
4.3 LA PROBLEMÁTICA DE LOS LOOPS.....	76
4.4 SOLUCIÓN CON EQUIPOS CWDM EN LOS TRES ANILLOS DE LA RED DE ACCESO Y EL CORE.....	77
4.5 SOLUCIÓN PARA CLIENTES DE LOS LOOPS DE ABONADO.....	80
4.5.1 Solución para clientes mediante equipos CWDM.....	81
4.6 ANCHO DE BANDA PROYECTADO PARA LA SEGUNDA FASE DE MIGRACIÓN.....	84
4.6.1 Trafico de televisión.....	86
4.6.2 Calculo de Ancho de Banda para TV.....	86
4.7 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO CWDM RECOMENDADO.....	88
4.7.1 Dispositivo COP-FE.....	89
4.7.1.1 Condiciones Ambientales y Requisitos de Energía.....	90
4.8 DESCRIPCIÓN DE OTROS EQUIPOS.....	91
4.8.1 Equipo SWITCH FAST ETHERNET IP6900.....	91
4.8.2 Multiplexor CWDM Gigamux 3200.....	93
CONCLUSIONES.....	95
GLOSARIO.....	97
BIBLIOGRAFÍA.....	101

LISTADO DE FIGURAS

	Pág.
CAPÍTULO I	
Figura 1.1 Sistema básico de comunicación por fibra.....	9
Figura 1.2 Curva de atenuación para las bandas de transmisión.....	11
Figura 1.3 Propagación y partes de la fibra óptica.....	13
Figura 1.4 Componente generalizado.....	14
Figura 1.5 Divisores de potencia: (a) 1:2 divisiones y (b) 1:4 divisiones.....	16
Figura 1.6 Acoplador direccional de cuatro-puertos.....	17
Figura 1.7 Red de distribución de una LAN Terminal.....	17
Figura 1.8 Un circulador óptico separa transmisión y recepción en un Terminal.....	18
Figura 1.9 (a) Un multiplexor combina diferentes canales de longitudes de onda (b) Un demultiplexor separa dichos canales.....	19
Figura 1.10 Un duplexor permite la transmisión bidireccional a lo largo de una sola red de fibra	20
Figura 1.11 Interruptor óptico mecánico.....	20
Figura 1.12 Prisma.....	21
Figura 1.13 Dispositivos de rayos divididos.....	22
Figura 1.14 Rejilla de reflexión operada como un demultiplexor.....	23
Figura 1.15 Lamina de divisor de haz.....	24
Figura 1.16 Efecto Faraday.....	25
Figura 1.17 Polarización del haz dividido.....	25
CAPÍTULO II	
Figura 2.1 Conjunto multiplexor-demultiplexor por división de tiempo.....	27
Figura 2.2 Esquema de multiplexación WDM.....	29
Figura 2.3 Atenuación media en la fibra.....	34
Figura 2.4 Modulador láser DBR (Reflexión de Bragg distribuida).....	36
Figura 2.5 Enrutamiento de datos en longitudes de onda.....	39
Figura 2.6 Funcionamiento del conversor de longitud de onda	40

Figura 2.7 Multiplexor de adición / extracción.....	42
Figura 2.8 Conmutador óptico.....	43
Figura 2.9 Rejilla de difracción.....	44
Figura 2.10 Filtro Poligonal.....	46
Figura 2.11 Filtro dicroico.....	47

CAPÍTULO III

Figura 3.1 Ubicación de las centrales en la ciudad de Cali.....	50
Figura 3.2 Red de Transmisión y acceso SDH/PDH en Fibra Óptica.....	52
Figura 3.3 Diagrama general de los cables de Fibra Óptica.....	53
Figura 3.4 Longitudes ópticas.....	54
Figura 3.5 Red de señalización por canal común de EMCALI.....	58
Figura 3.6 Nodo de Internet de EMCALI.....	62

CAPITULO IV

Figura 4.1 Topología de la Red Multiservicios.....	68
Figura 4.2 Distribución de las UAMs en la red multiservicios.....	70
Figura 4.3 Distribución de Hilos de fibra óptica.....	78
Figura 4.4 Conexión de equipos en el anillo CWDM.....	80
Figura 4.5 Solución propuesta para	82
Figura 4.6 Integridad de elementos de solución para	83
Figura 4.7 Descripción del equipo multiplexor COP-FE.....	89
Figura 4.8 Dispositivo LOOP-IP6900.....	92
Figura 4.9 Combinación CWDM / DWDM.....	94

LISTADO DE TABLAS

	Pág.
CAPITULO III	
Tabla 3.1 Distribución de las centrales telefónicas con sus respectivas líneas POTS (Servicio Telefónico Convencional).....	49
Tabla 3.2 Ubicación de los puertos DSLAM Y ADSL.....	61
Tabla 3.3 Recomendaciones de la UIT –T para WDM.....	64
CAPITULO IV	
Tabla 4.1. Distribución y ancho de banda de las 140.032 Líneas POST.....	73
Tabla 4.2. Distribución de los 13.000 puertos ADSL.....	74
Tabla 4.3 Trafico de las 13.000 puertos ADSL.....	75
Tabla 4.4 Trafico Total Líneas POTS y Puertos ADSL.....	75
Tabla 4.5 Escasez de fibra óptica en los loops de abonado.....	76
Tabla 4.6 Distribución y ancho de banda de 184.832 líneas POTS.....	85
Tabla 4.7 Tráfico de los 10.402 puertos ADSL.....	86
Tabla 4.8 Trafico total para una nueva proyección.....	87
Tabla 4.9 Relación Costo/Fabricante de Dispositivos Mux/Demux CWDM.....	88
Tabla 4.10 Especificaciones Técnicas del COP-FE.....	90
Tabla 4.11 Datos de la interfaz de la corriente eléctrica.....	91
Tabla 4.12 Parámetros ópticos.....	91
Tabla 4.13 Especificaciones técnicas del Loop-IP6900.....	93

INTRODUCCIÓN

Debido al gran auge que se está experimentado en la transmisión de datos, las redes actuales de alta velocidad y anchos de banda considerables no serán suficientes para satisfacer las necesidades de los usuarios a mediano plazo. Por lo anterior, es preciso proponer una solución que supla dicha demanda, haciéndose necesario introducir nuevos mecanismos para mejorar el desempeño de las redes de telecomunicaciones a nivel de tráfico y calidad del servicio, aspectos a evaluar en el capítulo IV.

Con este trabajo se propone una alternativa de potenciación de la red troncal en las empresas municipales de Cali “EMCALI - Telecomunicaciones” mediante la técnica WDM (Multiplexación por División de Longitud de Onda), aprovechando sus características de multiplexación que poseen estos equipos y así evitar nuevos tendidos ópticos, donde se cubra la demanda de los usuarios de la actual red.

Para cumplir con el objetivo propuesto se desarrollaron los siguientes capítulos:

En el capítulo 1 se presenta una visión general acerca de las propiedades de la luz y se especifican componentes de las redes ópticas.

En el capítulo 2 se recopiló la información conceptual de las diferentes tecnologías utilizadas en las redes de acceso para ofrecer servicios de banda ancha, también se recopiló información basada en redes WDM para optimizar el desempeño de la red y ofrecer accesos dedicados a gran velocidad.

En el capítulo 3 se da una descripción general de la red existente de EMCALI; como la red de señalización, red de transmisión, red de gestión, y

se especifican algunas recomendaciones dadas por la UIT-T (Unión Internacional de Telecomunicaciones).

En el capítulo 4 se describe la solución, basada en la técnica CWDM (Multiplexación por División de Longitud de Onda Aproximada), también se especifican tablas de tráfico y el equipo propuesto para dicha solución.

CAPITULO I

1. COMPONENTES PARA LAS COMUNICACIONES ÓPTICAS

1.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE REDES DE TELECOMUNICACIONES

Una red es una interconexión de dos o más computadoras con el propósito de compartir información y recursos a través de un medio de comunicación, como puede ser el cable coaxial. El propósito más importante de cualquier red es enlazar entidades similares al utilizar un conjunto de reglas que aseguren un servicio confiable. Estas normas podrían quedar de la siguiente manera:

- La información debe entregarse de forma confiable sin ningún daño en los datos.
- La información debe entregarse de manera consistente. La red debe ser capaz de determinar hacia dónde se dirige la información.
- Las computadoras que forman la red deben ser capaces de identificarse entre sí o a lo largo de la red.
- Debe existir una forma estándar de nombrar e identificar las partes de la red.

1.1.1 Tipos de redes

Según el lugar y el espacio que ocupen, las redes se pueden clasificar en dos tipos:

1.1.1.1 Redes LAN (Redes de Área Local)

Es aquella que se expande en un área relativamente pequeña. Comúnmente se encuentra dentro de un edificio o un conjunto de edificios contiguos. Asimismo, una LAN puede estar conectada con otras LAN a cualquier distancia por medio de una línea telefónica y ondas de radio. Una red LAN puede estar formada desde dos computadoras hasta cientos de ellas. Todas se conectan entre sí por varios medios y topologías. A la computadora (o agrupación de ellas) encargada de llevar el control de la red se le llama servidor y a las PC que dependen de éste, se les conoce como nodos o estaciones de trabajo.

Los nodos de una red pueden ser PC que cuentan con su propio CPU, disco duro y software. Tienen la capacidad de conectarse a la red en un momento dado o pueden ser PC sin CPU o disco duro, las cuales tienen que estar conectadas a la red para su funcionamiento.

Las LAN son capaces de transmitir datos a velocidades muy altas, algunas inclusive más rápido que por línea telefónica, pero las distancias son limitadas. Generalmente estas redes transmiten datos a 10 Mbps, mientras que FDDI y Fast Ethernet a una velocidad de 100 Mbps o más. Cabe destacar que estas velocidades de transmisión no son caras cuando son parte de la red local.

1.1.1.2 Redes MAN (Redes de Área Metropolitana)

Una MAN es básicamente una versión más grande de una LAN y normalmente se basan en una tecnología similar, puede abarcar un grupo de oficinas corporativas cercanas dentro de una ciudad.

Una MAN puede manejar datos, voz y video a velocidades superiores de 1Mbps y distancias entre 5 – 50Km, utilizando cable coaxial o fibra óptica.

1.1.1.3 Redes WAN (Redes de Área Amplia)

La red de área amplia (WAN) es aquella comúnmente compuesta por varias LAN interconectadas- en una extensa área geográfica- por medio de fibra óptica o enlaces aéreos, como satélites.

Entre las WAN más grandes se encuentran: ARPANET, creada por la Secretaría de Defensa de los Estados Unidos y que se convirtió en lo que actualmente es la WAN mundial: Internet.

El acceso a los recursos de una WAN a menudo se encuentra limitado por la velocidad de la línea de teléfono. Aún las líneas troncales de la compañía telefónica a su máxima capacidad, llamadas T1s, pueden operar a sólo 1.5 Mbps y son muy caras.

A diferencia de las LAN, las WAN casi siempre utilizan ruteadores. Debido a que la mayor parte del tráfico en una WAN se presenta dentro de las LAN que conforman ésta, los ruteadores ofrecen una importante función, pues aseguran que las LAN obtengan solamente los datos destinados a ellas.

1.1.2 Redes telefónicas

La red telefónica surge de la invención del teléfono por Alexander Graham Bell en 1876 tal y como se ha explicado en la introducción y ha evolucionado hasta los complejos y sofisticados sistemas de telefonía actuales.

La red telefónica tiene como objeto manejar las comunicaciones de voz entre dos terminales telefónicas estableciendo un circuito físico para que se establezca una comunicación entre dos abonados.

1.1.2.1 Centrales Tándem

Nombre que recibe una central telefónica, que se utiliza como punto alternativo de conexión o que desvía el tráfico entre dos centrales telefónicas de la red, similares a las autopistas y calles en las ciudades.

1.1.2.2 Central local

Es aquella central en la que están conectados los abonados.

1.1.3 Redes de datos

Manejan grandes paquetes de datos que aparecen de forma esporádica, con un gran ancho de banda.

1.1.4 Red de señalización

Es el mecanismo de intercambio de información entre sistemas y equipos de una red de telecomunicaciones necesario para establecer, mantener, controlar, tasar y facturar comunicaciones entre dos a más clientes o entre un cliente y un servicio de telecomunicaciones.

1.1.5 Redes de conmutación de paquetes

La conmutación de paquetes comparte las conexiones entre nodos por parte de varios usuarios, optimizando el uso de la línea y reduciendo los costos. La voz y los datos se convierten en paquetes que se transmiten continuamente por la red.

1.1.6 Red de transporte

Esta red es la encargada de asegurar que todos los datos lleguen a la aplicación destino y en el mismo orden en el que fueron enviados.

1.1.7 Redes de control

Manejan un gran número de paquetes pequeños de datos, cada uno dependiendo de la estación o parte del proceso.

1.2 LA LUZ COMO SOPORTE DE INFORMACIÓN

Todos los cuerpos que no se hallan en equilibrio con su entorno radian o absorben energía. Se puede admitir desde un punto de vista conceptual que una comunicación implica un intercambio de energía; ahora bien, esa energía puesta en juego se puede clasificar de muchos modos, y uno de ellos es el espectral, en el que dos parámetros relacionados entre sí ordenan espacial y temporalmente dicha energía.

Hablando en términos de frecuencia, en el caso de utilización de portadores metálicos, las energías transmitidas se situaban en zonas de frecuencia del orden de decenas de MHz (hasta 100 MHz en teoría y en la práctica no más de 60 MHz en el caso de los cables coaxiales), y de decenas de GHz (Hasta 10^{11} Hz en teoría y no más de 20 GHz) cuando se trataba de radio enlaces.

Estas señales, en técnicas MDF (Modulación por División de Frecuencias), constituyen las portadoras en KHz que, empleadas sobre canales telefónicos de un ancho de banda típico de 4 KHz, proporcionan un índice teórico del número de circuito telefónicos que dichos portales admiten. [5]

Conceptualmente, un sistema de transmisión por fibra óptica es similar a un sistema de microondas en muchos aspectos; las diferencias radican en que en un caso el medio de transmisión es el espacio libre, y en el otro, una guía de ondas de vidrio, y en que la transmisión tiene lugar a frecuencias ópticas, varios órdenes de magnitud superiores a las microondas. En la tecnología de las fibras ópticas se habla en términos de longitud de onda, en lugar de hacerlo en frecuencias, encontrándose ambas magnitudes ligadas por la relación:

$$\lambda = c/f \quad [1.1]$$

Donde λ es la longitud de onda del haz de luz en el medio considerado, c la velocidad de la luz en el mismo medio y f la frecuencia de la onda luminosa.

Pero es evidente que la utilización de la luz como portadora de información exige disponer de una fuente de determinadas características, y de hecho fue la disponibilidad del láser como fuente de luz coherente y monocromática lo que estimuló la exploración de comunicaciones ópticas como soporte de altos flujos de información, debido a la alta frecuencia de la portadora.

1.2.1 Elementos de un sistema de comunicaciones por fibra óptica

Los elementos ópticos que contiene cualquier sistema de comunicaciones por fibras ópticas son: emisores (fuentes ópticas, multiplexores) transmisores (fibra óptica), receptores (demultiplexores, fotodetectores), empalmes y conectores. Las fuentes ópticas son transductores que transforman las señales de voltaje y corriente en ondas luminosas guiadas. Los multiplexores ópticos reciben estas ondas luminosas, las combinan y las inyectan hacia la fibra óptica para ser transmitidas hasta el receptor. Los demultiplexores separan las señales luminosas que son enviadas hacia el fotodetector para ser transformadas en ondas de voltaje. Los empalmes son las uniones permanentes entre secciones de fibras ópticas. Los conectores son uniones removibles que se emplean generalmente para conectar al transmisor y al receptor con la fibra óptica.

Un sistema de comunicaciones por fibra óptica se compone de una o varias fibras para cada dirección de transmisión, terminadas en sus extremos por un emisor y/o un detector, el primero constituye un convertidor E/O (Electro-Óptico): su misión, bien se trate de un LED (Diodo Emisor de Luz) o de un LD (Diodo Láser), es suministrar la onda portadora luminosa que ha de

transportar la información básica analógica o digital a través de la fibra hacia el detector. La elección de uno u otro tipo de emisor es función de la potencia de salida necesaria y de la velocidad binaria requerida: el láser tiene una mayor potencia de salida que el LED y presenta mejores posibilidades de acoplamiento a la fibra. [6]

El emisor contiene, básicamente los sistemas codificadores de la señal incidente, el diodo láser como generador de la onda portadora y un modulador, dispone de un rabillo de fibra al que se acoplará un conector de unión con la sección primera de la fibra.

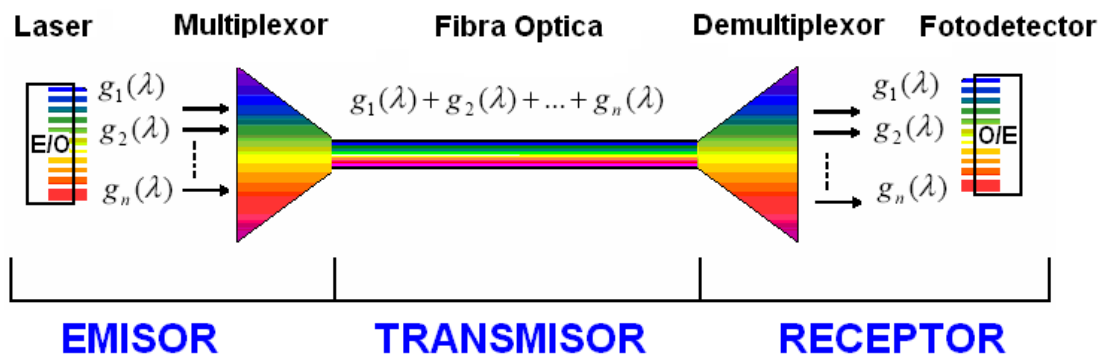


Figura 1.1 Sistema básico de comunicación por fibra óptica

Cada fibra consta de una parte central, llamada núcleo, y otra exterior, revestimiento, que actúa como guía de la luz que se propaga a lo largo del primero. Las señales, en su progresión a lo largo de la fibra, se van ensanchando y debilitando, la dispersión de la señal se debe, en parte, a las diferentes velocidades a que se propagan por el núcleo las radiaciones de distinta frecuencia; en cuanto a la atenuación de la señal, viene provocada, en gran medida, por la absorción en las impurezas del vidrio.

Antes de que la atenuación y la dispersión de la señal inyectada la hagan irreconocible para el receptor es preciso regenerarla. Esta función

corresponde a los regeneradores, que no son propiamente amplificadores, ya que no sólo restituyen el nivel de la señal, sino que la conforman. Para regenerar la señal procedente de la fibra es preciso proceder previamente a una conversión O/E (Opto-eléctrica); la señal eléctrica obtenida se trata en el regenerador y se pasa después por otro convertidor E/O (Electro-óptico), lanzándola nuevamente al medio de transmisión.

Al final del sistema se encuentra el receptor, compuesto por un detector – convertidor opto-eléctrico y una sección de amplificación, que lleva la señal al nivel adecuado para su proceso en el equipo final.

1.3 PROPAGACION

1.3.1 El medio de propagación

Las dificultades que presentan los medios clásicos como el de radiocomunicación y el cable metálico para conseguir un aumento de la cantidad de información a transmitir lleva a los científicos a pensar nuevamente en la luz como el portador de información de más alta capacidad del universo. Pero concurrían tres problemas en la materialización de la idea:

- Desarrollar dispositivos o procedimientos que transportasen la información sobre la luz como soporte.
- Desarrollar dispositivos que, por un extremo, pudiesen inyectar luz en la fibra óptica, y por otro, fuesen capaces de hacer en el extremo opuesto el efecto contrario, extrayendo de la luz información original.
- Perfeccionar la fibra de vidrio, que por entonces presentaban una atenuación increíblemente grande (≈ 1000 dB/Km), presentando mucha pérdida de información por kilómetro transmitido.

En 1969, los doctores Kao y Hoffmann presentan un artículo, “Dielectric-fiber surface waveguide for optical frequencies”, en el que se propone utilizar la luz para transmitir información a través de fibra de sílice.

Poco a poco se redujo la atenuación de las fibras de vidrio, llegando la Empresa Corning Glass a obtener en el año de 1970 fibras con valores de atenuación del orden de los 20 dB/Km., y en 1980 se había alcanzado prácticamente el límite teórico inferior de atenuación, causado por el esparcimiento de Rayleigh (Son las pérdidas de luz debidas a las variaciones en la densidad óptica, composición y estructura molecular). [7]

A partir de este momento, el desarrollo se aceleró, obteniendo con los actuales materiales (sílice dopada) fibras con atenuaciones de 0.23 dB/Km. Con estas cifras parece haberse llegado al límite mínimo de atenuación en las fibras constituidas por este material, por lo que últimamente se ensayan otros compuestos a base de vidrios haluros, generalmente fluoruros y calcogenuros, en zonas del infrarrojo medio (longitudes de onda superiores a 2µm) con los que al menos en laboratorio, se obtienen atenuaciones del orden de 10^{-3} o 10^{-4} dB/Km. También se han probado con éxito fibras dopadas con erbio que, bombeadas por longitudes de onda de 1480 nm (1 manómetro = 10^{-9} m) actúan como amplificadores ópticos.

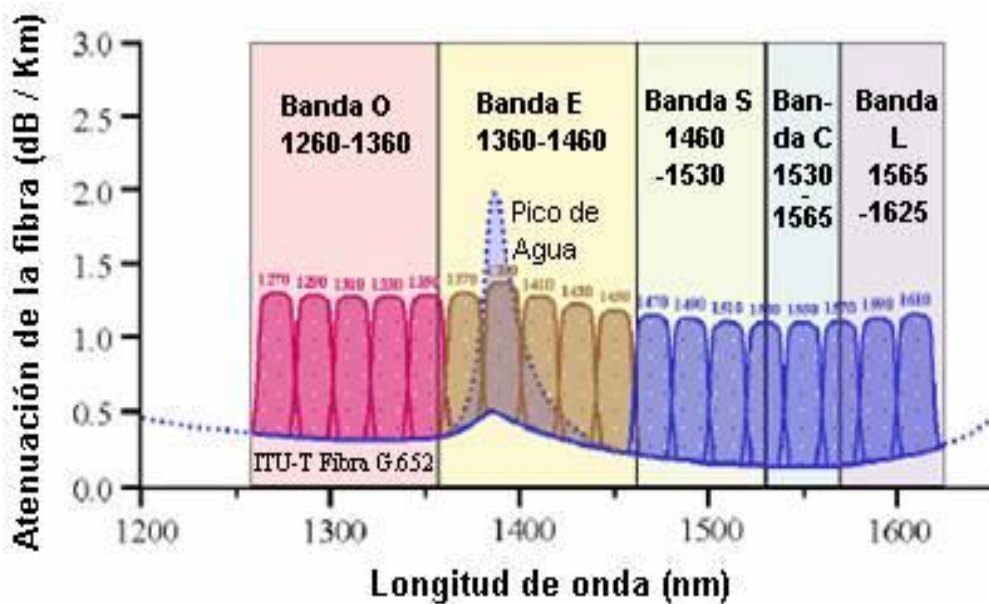


Figura 1.2 Curva de atenuación para las bandas de transmisión [2]

En las mismas fechas en que el Dr. Kao trabaja sobre las fibras de sílice, el señor Telefunken edita una patente sobre utilización de un láser semiconductor, acoplado a una fibra de vidrio y un fotodiodo para transmitir señales. El diodo láser realizando la misma función que el LED, presentaba como ventaja un diagrama de espectro más aceptable para las comunicaciones por ser más estrecho. El diodo LED es capaz de generar impulsos luminosos que podrían servir de onda portadora de una información eléctrica, analógica o digital, pero lo hace de forma poco interesante en telecomunicación, fundamentalmente porque genera una luz que presenta un espectro de radiación muy amplio, cuando lo que se necesita, en teoría al menos, como onda portadora para ser modulada por una señal es una frecuencia pura.

Los láseres de semiconductores presentaban problemas de funcionamiento por el calor generado a causa de la alta densidad de corriente que soportaban, su vida útil era corta y su precio alto, mientras que actualmente se han logrado descensos impresionantes en los segundos y la vida media supera las 10^8 horas. Paralelamente a estos dispositivos emisores de luz, se desarrolla un dispositivo receptor capaz de realizar la operación inversa: convertir la energía luminosa en señales eléctricas aptas para ser procesadas, tal dispositivo era un fotodiodo, del que el tipo más extendido en los primeros años fue el llamado PIN (PIN: P = semiconductor P; I = semiconductor intrínseco (sin impurezas); N = semiconductor N).

1.3.2 Propagación de la luz en la fibra óptica

La fibra óptica es un medio de transmisión de información analógica o digital en la cual los principios básicos de funcionamiento se justifican de forma clara, aunque poco rigurosa, aplicándole las leyes de la óptica geométrica. Si

se quiere entender rigurosamente el mecanismo de propagación en el interior de la fibra, hay que recurrir a la resolución de las ecuaciones de Maxwell.

Básicamente, la fibra óptica está compuesta por una región cilíndrica, por la cual se efectúa la propagación, denominada núcleo, y de una zona externa al núcleo y coaxial con él, totalmente necesaria para que se produzca el mecanismo de propagación, y que se denomina envoltura o revestimiento. [8]

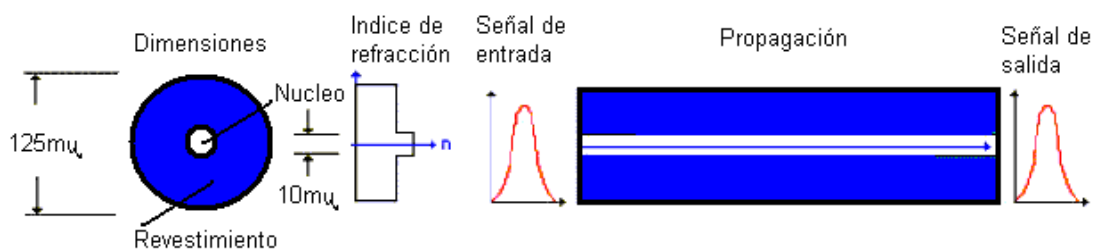


Figura 1.3 Propagación y partes de la fibra óptica

La capacidad de transmisión de información que tiene una fibra óptica depende de tres características fundamentales:

- Del diseño geométrico de la fibra, para que la señal óptica se propague en su mayor totalidad.
- De las propiedades de los materiales empleados en su elaboración, necesarios para que la pérdida de absorción sea mínima.
- Del ancho de banda de la fuente de luz utilizada. Cuanto mayor sea esa anchura, menor será la capacidad de información de esa fibra, debido a que las señales ópticas presentan menor dispersión.

1.4 COMPONENTES GENERALIZADOS

Un componente de fibra óptica generalizado se ilustra en la figura 1.4, fibras de entrada están a la izquierda y fibras de salida están a la derecha. Aunque algunos componentes tienen únicamente un sólo puerto de entrada y un solo puerto de salida, muchas aplicaciones requieren más que una entrada y/o salida de puertos, de hecho, el número de puertos en algunos dispositivos puede exceder los 100. La pérdida de acoplamiento entre cualquier par de puertos es dada, en decibeles, por:

$$L = -10 \log(P_{out}/P_{in}) \quad [1.2]$$

Con respecto a la figura 1.4, P_{in} se refiere a la potencia de entrada en cualquiera de los puertos de la izquierda, y P_{out} se refiere a la potencia de salida en cualquiera de los puertos de la derecha, debido a que solamente estamos considerando componentes pasivos, P_{out} será menor que P_{in} , y la pérdida será un número positivo.

Los aspectos físicos que involucran esta pérdida se deben a la atenuación, debido a que la señal se debilita perdiendo potencia y a la dispersión debida a la absorción por las impurezas que presenta la fibra óptica. [9]



Figura 1.4 Componente generalizado [9]

La pérdida de inserción se refiere a la pérdida de acoplamiento entre cualquier par de puertos dónde se realiza la unión, y el aislamiento (o direccionalidad) se refiere a la pérdida de acoplamiento entre cualquier par de puertos dónde el acople no es deseado. La pérdida en exceso de una fracción de potencia de entrada que no surge desde cualquiera de los puertos de salida deseados, es expresado en decibeles, está es la suma de toda la potencia de salida útil dividido por la potencia de entrada.

1.5 COMPONENTES OPTICOS EN REDES DE TELECOMUNICACIONES

Los componentes más útiles para muchas aplicaciones de comunicaciones de fibras ópticas se describen a continuación.

1.5.1 Atenuadores

Los atenuadores reducen la cantidad de potencia que fluye a través del sistema de fibra y pueden ser fijos o variables. Las aplicaciones incluyen comprobación de sensibilidades del aparato receptor (variando la atenuación cambia la cantidad de potencia incidente en el receptor) y protección al aparato receptor de saturaciones debido al exceso de potencia incidente. La atenuación de unas pocas décimas de un dB para más de 50 dB es algunas veces requerida.

1.5.2 Divisores de potencia y acopladores direccionales

Estos dispositivos distribuyen la potencia de entrada desde una fibra a dos o más fibras de salida, controlan también la fracción de potencia entregada para cada uno de los puertos de salida, la aplicación incluye distribución de potencia en LANs (Redes de Área Local) y en redes de acceso. Los divisores y los acopladores más comunes tienen una sola entrada e igual distribución

de potencia entre cada par de salidas, como se muestra esquemáticamente en la figura 1.5 (a), para un divisor ideal de tres puertos (uno sin pérdida de exceso), la mitad de potencia de entrada emerge desde cada uno de los dos puertos de salida. La pérdida de inserción es calculada según la ecuación 1.2, con una relación de potencia de 0.5, se produce una pérdida de 3dB para cada uno de los dos puertos de salida, cualquier exceso de pérdida es agregado a los 3dB.

Un divisor con más de dos puertos de salida puede ser construido conectando varios acopladores de tres puertos en un modelo de árbol como se indica esquemáticamente en la figura 1.5 (b). De la misma manera añadiendo más divisores permite acoplar desde un puerto de entrada hasta 8, 16, 32, (y más) puertos de salida. [9]

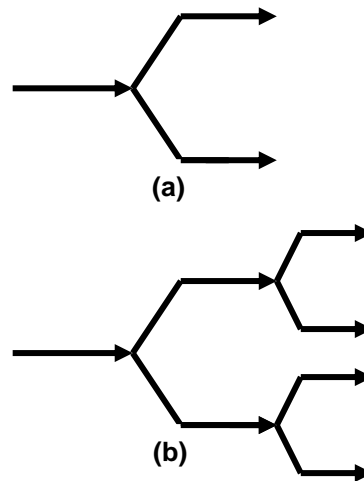


Figura 1.5 Divisores de potencia: a) 1:2 divisiones y b) 1:4 divisiones [9]

Agregando un cuarto puerto, como en la figura 1.6 se crea un acoplador direccional, las flechas en la figura muestran las direcciones permitidas de viaje de la señal a través del acoplador, un rayo de entrada es dividido entre dos puertos de salida y es aislado desde el cuarto; según el diseño apropiado

del componente, cualquier fracción de potencia deseada puede ser obtenida. Una aplicación del acoplador direccional es la red de distribución de una LAN, dónde se requieren transmisión y recepción simultánea. La figura 1.7 ilustra esta aplicación en una LAN Terminal.

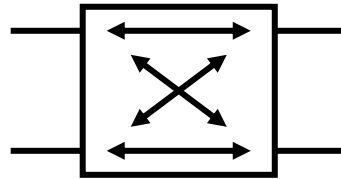


Figura 1.6 Acoplador direccional de cuatro-puertos [9]

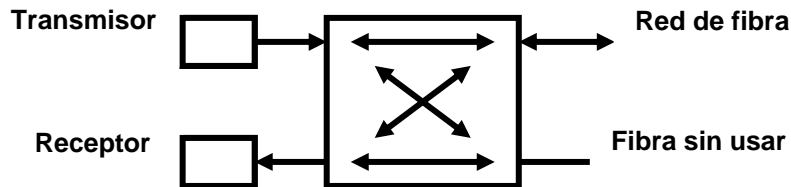


Figura 1.7 Red de distribución de una LAN Terminal [9]

1.5.3 Aisladores

Un aislador es una línea de transmisión de único sentido, permite el flujo de potencia óptica en una sola dirección (dirección hacia delante). Las aplicaciones incluyen protección de un diodo láser transmitiendo reflexiones desde atrás, tales reflexiones aumentan el ruido en el sistema desestabilizando el funcionamiento del diodo. Los aisladores también mejoran la estabilidad de los amplificadores de fibra minimizando la posibilidad de retroalimentación, que causan las oscilaciones no deseadas en tales dispositivos.

1.5.4 Circuladores

En un circulador, la potencia en el primer puerto surge desde el segundo, mientras la potencia dentro del segundo puerto surge desde un tercero, este comportamiento se repite para cada puerto de entrada y así sucesivamente hasta que la energía en el último puerto surge del primero. Típicamente los circuladores son prácticos dispositivos de tres o cuatro puertos.

Usando un circulador, la transmisión bidireccional eficiente es posible (full dúplex) a lo largo de una fibra a una sola longitud de onda, el circulador separa los rayos de luz transmitidos y recibidos en cada terminal, como se ilustra en la figura 1.8.

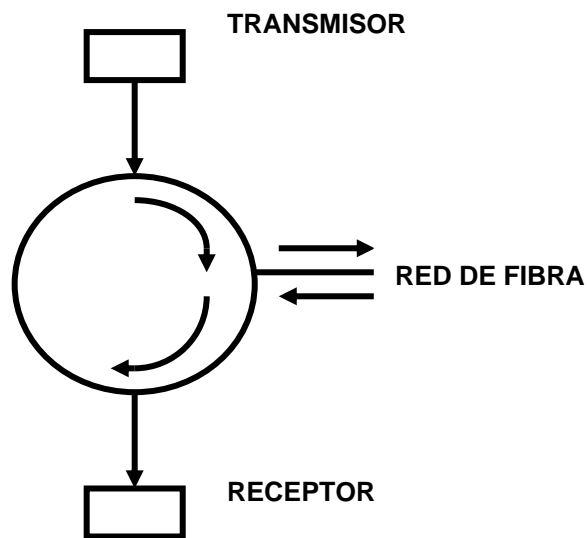


Figura 1.8 El circulador óptico separa transmisión y recepción en un Terminal [9]

1.5.5 Multiplexores ópticos / Demultiplexores ópticos / Duplexores

Se utilizan el multiplexor y demultiplexor ampliamente en sistemas WDM de fibras ópticas, el multiplexor combina rayos de luz de diferentes transmisores (cada uno a una longitud de onda ligeramente cambiada) hacia una sola fibra

de transmisión, el demultiplexor separa las longitudes de onda individuales transmitidas y guía los canales separados a los receptores ópticos apropiados, estas funciones se ilustran en figura 1.9. Los requisitos para los multiplexores/demultiplexores incluyen combinaciones y separaciones de canales independientes cada vez más cerca a un nanómetro, y acomodando numerosos canales, en algunos casos por encima de 100, diferencia entre los sistemas CWDM (Multiplexación por División de Longitud de Onda Aproximada) Y DWDM (Multiplexación por División de Longitud de Onda Densa) especificados en el siguiente capítulo. Un espaciamiento de frecuencia entre canales adyacentes de 100 GHz corresponde a un espaciamiento de longitudes de onda de 0.8 nm para longitudes de onda cerca de 1.55 μm . Las pérdidas de inserción pueden ser tan bajas como de unos décimos de un dB y aislamientos de 40 dB o más.

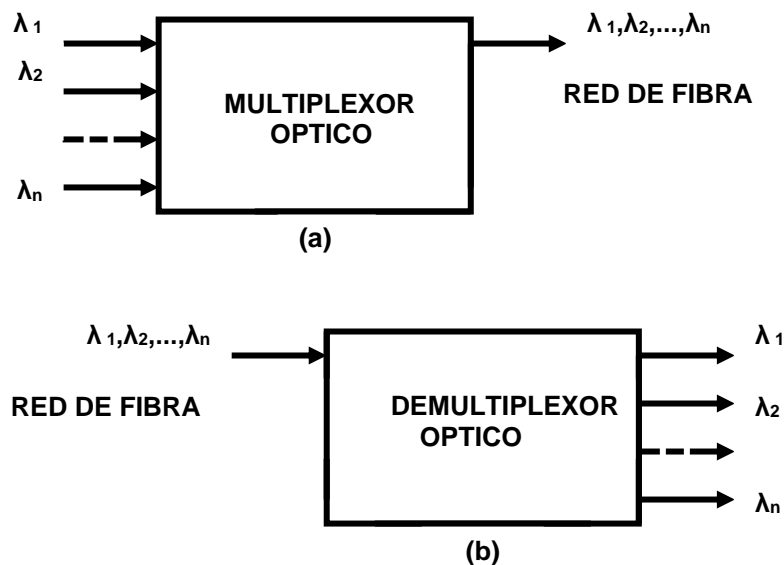


Figura 1.9 (a) Un multiplexor combina diferentes canales de longitudes de onda (b) Un demultiplexor separa dichos canales [9]

El duplexor permite la transmisión bidireccional simultánea a lo largo de una sola fibra, las longitudes de onda son diferentes para transmisión y recepción del rayo de luz. El duplexor separa los rayos como se indica en la figura 1.10, dónde λ_1 es la longitud de onda transmitida y λ_2 es la longitud de onda recibida.

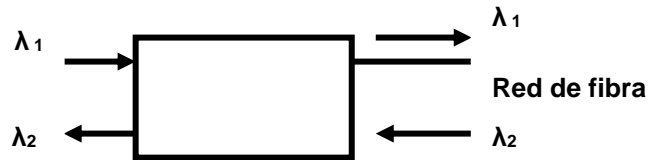


Figura 1.10 Un duplexor permite la transmisión bidireccional a lo largo de una sola red de fibra [9]

1.5.6 Interruptores mecánicos

Operacionalmente, un interruptor óptico actúa simplemente como un interruptor eléctrico, el movimiento mecánico de alguna parte (como se esquematiza en figura 1.11) causa potencia que entra en un puerto para ser dirigido a uno de los dos o más puertos de salida. Tales dispositivos son útiles probando componentes de fibra y sistemas en otras aplicaciones, como desviar los nodos inoperantes en una red de área local. Las pérdidas de inserción son menores de 0.10dB y aislamientos mayores que 50dB son los requisitos razonables. [9]

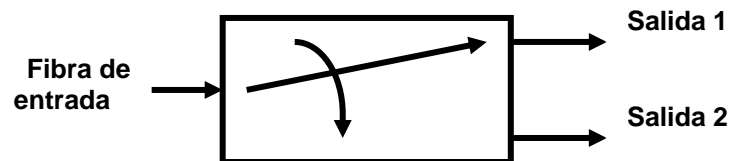


Figura 1.11 Interruptor óptico mecánico [9]

1.6 SUBCOMPONENTES

Los subcomponentes micro-ópticos que forman parte del diseño de muchos componentes micro-ópticos completos son descritos en esta sección.

1.6.1 Prismas

Debido a la dispersión en los prismas de cristal, estos pueden operar como multiplexores, demultiplexores y duplexores, la propiedad dispersiva se ilustra en la figura 1.12.

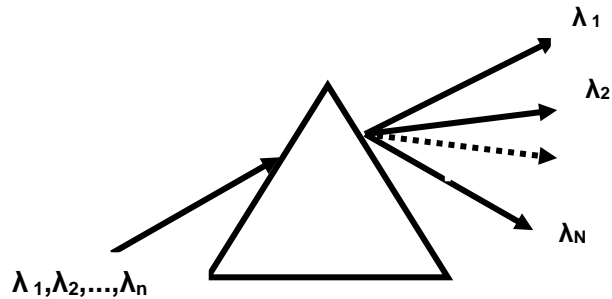


Figura 1.12 La dispersión del prisma separa espacialmente diferentes longitudes de onda. Esto representa la demultiplexación. Invertiendo las direcciones de las flechas ilustradas combinando diferentes longitudes de onda, se obtiene la multiplexación [9]

Los prismas de cristal de ángulo recto también actúan como excelentes reflectores, debido a la reflexión perfecta (reflexión total interna) en la interfaz cristal-aire. El ángulo crítico para la interfaz cristal-aire es aproximadamente 41° , y el rayo incidente es superior a los 45° .

El rayo que atraviesa el dispositivo, dibujado en la figura 1.13 consiste de dos prismas de ángulos rectos unidos junto con una delgada capa reflexiva entre ellos, estos rayos separados tienen la ventaja sobre una lamina reflexiva plana donde ningún desplazamiento angular ocurre entre la entrada y salida

de rayos direccionales. Esto simplifica la alineación del divisor con la entrada y salida de fibras.

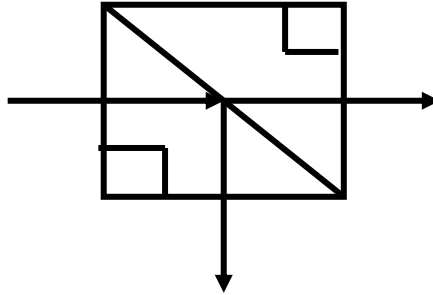


Figura 1.13 Dispositivos de rayos divididos [9]

1.6.2 Rejillas

Las rejillas de reflexión son también usadas en multiplexores y demultiplexores, como se ha ilustrado en la figura 1.14, las características de dispersión de la rejilla realizan la función de separación de la longitud de onda requerida en un demultiplexor, la rejilla tiene mucha mayor potencia dispersiva que un prisma, permitiendo incrementar la separación espacial de longitud de onda. La relación entre el rayo incidente y reflejado para un rayo de luz incidente colimado, es dada por la ecuación de difracción.

$$\text{sen}\theta_i + \text{sen}\theta_r = m\lambda/d \quad [1.3]$$

Donde θ_i y θ_r son los ángulos de los rayos incidente y reflejado, d es la separación entre las superficies reflectantes adyacentes, y m es el orden de la difracción. Típicamente, las rejillas se utilizan para maximizar la potencia de los haces del primer orden. Como se deduce de esta ecuación para $m=1$, el pico difractado ocurre a un ángulo diferente para diferentes longitudes de onda; esta característica produce la demultiplexación, función necesitada en

los sistemas WDM, invirtiendo las flechas en figura 1.14, se ilustra la capacidad de multiplexación de la rejilla.

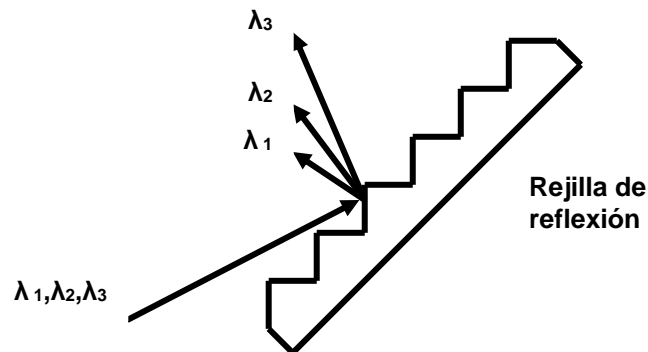


Figura 1.14 Rejilla de reflexión operada como un demultiplexor [9]

1.6.3 Filtros

Los filtros de capas dieléctricas, consisten de capas muy delgadas de varios dieléctricos depositados sobre un sustrato de cristal, son usados para construir multiplexores, demultiplexores, y duplexores. Los filtros tienen características únicas de reflectancia / transmitancia, ellos pueden ser diseñados para reflejar a ciertas longitudes de onda y transmitir a otras, separando espacialmente así (o combinando) diferentes longitudes de onda requeridas para aplicaciones WDM. [9]

1.6.4 Divisores de haz

Una placa de divisores de haz, se muestra en la figura 1.15, es una lámina de cristal parcialmente plateada, el espesor de la capa plateada determina la fracción de luz transmitida y reflejada, en este camino la entrada del rayo puede ser dividido en dos partes de cualquier proporción deseada.

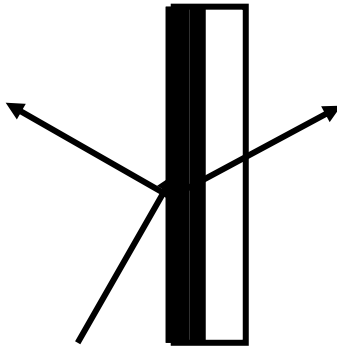


Figura 1.15 Lamina de divisor de haz [9]

1.6.5 Efecto Faraday

El Efecto Faraday produce una rotación no recíproca de el plano de polarización, la cantidad de rotación se da por.

$$\theta = VHL \quad [1.8]$$

Donde θ es el ángulo de rotación, V es la constante de Verdet (una medida de la fuerza del efecto Faraday), H es el campo magnético aplicado, y L es el largo del rotador. Un material rotador comúnmente usado es el YIG (Yttrium-iron garnet) que tiene un alto valor de V .

La figura 1.16 ilustra la SOP (Rotación no Recíproca del Estado de Polarización de la Onda), la rotación de un rayo viajando de izquierda a derecha es 45° , mientras la rotación para un rayo viajando de derecha a izquierda es un adicional a 45° , el Efecto Faraday es usado en el aislador y el circulador.

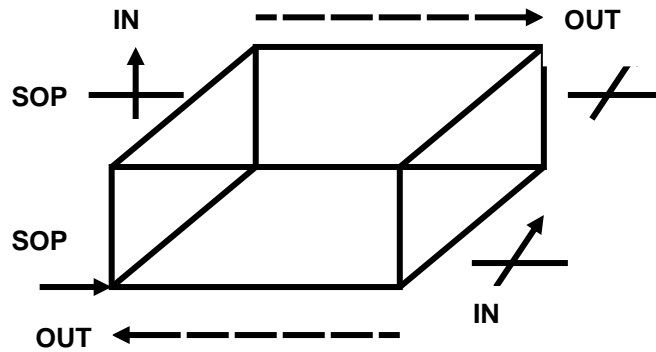


Figura 1.16 Efecto Faraday [9]

1.6.6 Polarizadores

Los polarizadores se basan en dióscos absorbentes y polarización de prismas usando materiales birrefringentes comunes, la polarización del haz dividido se ilustra en la figura 1.17, es útil en aplicaciones micro-ópticas tal como el circulador óptico. El divisor separa dos rayos ortogonalmente polarizados. [9]

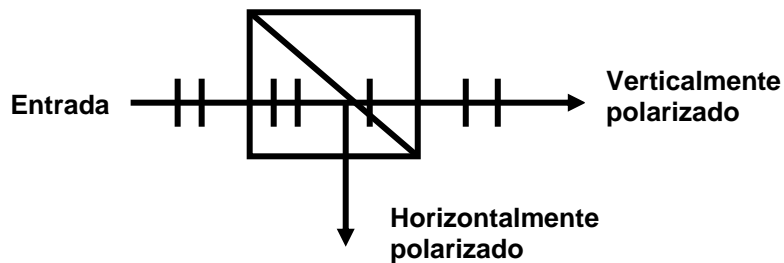


Figura 1.17 Polarización del haz dividido [9]

CAPITULO II

2. MULTIPLEXACION

Dentro de un canal de comunicación, o vehículo de enlace entre el origen y el destino de la información, deben distinguirse tres partes básicas:

- Emisor: Encargado de modificar la magnitud y naturaleza de las señales originadas en la fuente.
- Medio de transmisión: Transporta las señales hasta el receptor.
- Receptor: Recoge la señal del medio y, transformándola a su primitiva naturaleza, la entrega en su destino con el valor apropiado.

La naturaleza de la señal se modifica en el transmisor por dos razones:

- Para adecuarla al medio de transmisión de que se trate.
- Para aprovechar el medio de transmisión, de modo que soporte no ya una comunicación, sino varias simultáneas. Esta operación, consiste en “empaquetar” diversas comunicaciones y transmitir las simultáneamente, y se conoce como multiplexación. [5]

2. 1 TDM (MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN DE TIEMPO)

La Multiplexación TDM es la más utilizada en la actualidad, especialmente en los sistemas de transmisión digitales. En ella, el ancho de banda total del medio de transmisión es asignado a cada canal durante una fracción del tiempo total (intervalo de tiempo).

En la Figura 2.1 se representa, de forma muy esquematizada, un conjunto multiplexor-demultiplexor para ilustrar como se realiza la multiplexación-demultiplexación por división de tiempo.

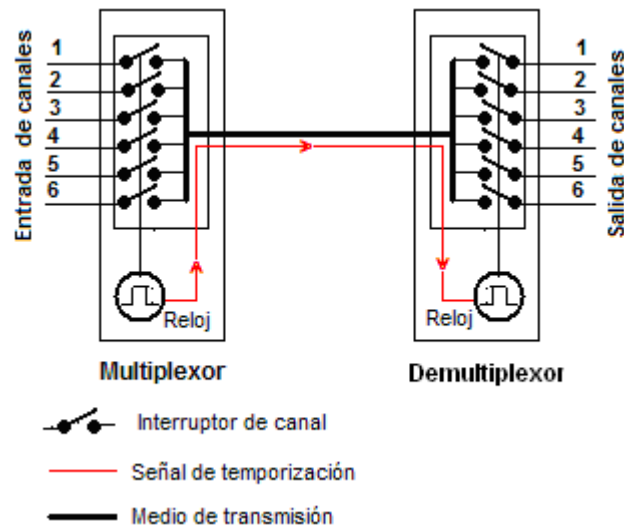


Figura 2.1 Conjunto multiplexor-demultiplexor por división de tiempo [2]

En este circuito, simplificando mucho el proceso, las entradas de seis canales llegan a unos denominados interruptores de canal, los cuales se van cerrando de forma secuencial, controlados por una señal de reloj. De forma que cada canal es conectado al medio de transmisión durante un tiempo determinado por la duración de los impulsos de reloj.

En el extremo distante, el demultiplexor realiza la función inversa, esto es, conecta el medio de transmisión, secuencialmente, con la salida de cada uno de los seis canales mediante interruptores controlados por el reloj del demultiplexor. Este reloj del extremo receptor funciona de forma sincronizada con el del multiplexor del extremo emisor mediante señales de temporización que son transmitidas a través del propio medio de transmisión o por un camino independiente.

2.2 WDM (MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN DE LONGITUD DE ONDA)

Las fibras ópticas disponen de un gran ancho de banda de transmisión del orden de Terahercios, para aprovechar esta enorme capacidad de espectro óptico pueden emplearse distintas técnicas de multiplexación de la información a transmitir, como por ejemplo WDM, que es una tecnología de banda ancha sobre redes de Fibra óptica, es una solución transparente al tráfico porque puede transportar SDH (Jerarquía Digital Sincrona), ATM (Modo de Transferencia Asíncrono), IP (Protocolo Internet), que logra evitar las ineficiencias a la hora de llevar a cabo la transmisión óptica de información en forma de paquetes, a la vez que consigue aumentar la capacidad de las fibras ópticas de manera considerable. [6]

Esta tecnología permite el envío simultáneo de diferentes longitudes de onda a través de una sola fibra dentro de la banda espectral que abarca los 1300 a los 1600nm, correspondiente a las bandas E, S y C. Conceptualmente, esta forma de multicanalización es similar a FDM (Multicanalización por División de Frecuencia), utilizada en sistemas satelitales y de microondas. Mientras que FDM consiste en transmitir varias señales al mismo tiempo a través de un solo canal de banda ancha, modulando primero cada una de ellas en una subportadora distinta y, posteriormente, reuniéndolas para formar una sola señal, WDM reúne diferentes longitudes de onda para formar la señal que se transmitirá. De manera similar a otras formas de multicanalización, WDM requiere que cada longitud de onda sea debidamente espaciada de las demás, con el objeto de evitar la interferencia intercanal. La técnica WDM tiene dos variantes CWDM (Multiplexación por División de Longitud de Onda Aproximada) y DWDM (Multiplexación por División de Longitud de Onda Densa). Una de las diferencias entre estas dos variantes es la cantidad de longitudes de onda que se pueden multiplexar dentro de una sola fibra óptica.

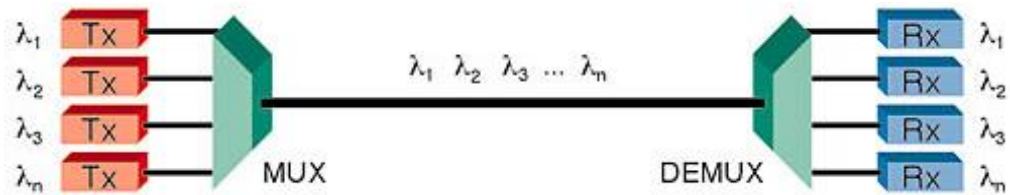


Figura 2.2 Esquema de multiplexación WDM [2]

2.2.1 CWDM (Multiplexación por División de Longitud de Onda Aproximada)

La técnica CWDM fue utilizada comercialmente por primera vez a principios de los años 80 para transportar señales digitales de vídeo a través de fibras multimodo. La corporación Quante marcó un sistema de 4 longitudes de onda que operaban en la ventana de 800nm con 4 canales, cada una operando a 140 Mbits/seg, estos sistemas fueron usados principalmente en conexiones CATV. Sin embargo los sistemas CWDM no generaban gran interés entre los proveedores de servicios hasta ahora, a causa de la búsqueda de los “carriers” del ámbito metro para encontrar una solución de bajo coste para sus necesidades de transporte. El CWDM está cada vez más ampliamente aceptado como una importante arquitectura de transporte.

Los sistemas CWDM permiten un ahorro al lograr la simplificación de los equipos y reducir las tareas de gestión necesarias; de esta manera, resultaría posible llevar la técnica WDM más cerca del usuario con unos costos relativamente bajos.

Los sistemas basados en técnica CWDM usan láser DBF (realimentación distribuida) no enfriado y fibra óptica de banda ancha, estos láseres son específicos para operar desde 0°C hasta 70°C con la longitud de onda del láser variando aproximadamente 6nm sobre este rango, esta longitud de onda varía acompañada de la variación de longitud de onda del láser hasta +/-3nm debido a los procesos de fabricación de éste, lo que produce una

variación total de aproximadamente 12nm. La banda del filtro óptico y el espaciado entre canales tiene que ser suficientemente ancho para acomodar la variación de ancho de portadora de los láseres no refrigerados de los sistemas CWDM, el espaciado entre portadoras de estos sistemas es típicamente de 20 nm. Estas tecnologías proporcionan varias ventajas a los sistemas CWDM como un menor consumo energético, tamaño inferior y costos más bajos, la disponibilidad comercial de los sistemas CWDM que ofrecen estos beneficios hacen de esta tecnología una alternativa viable para muchas aplicaciones de redes de área metropolitana y redes de acceso.

La técnica CWDM permite enviar un número reducido de longitudes de onda en una fibra con el que, sin embargo, es posible cumplir las demandas típicas de comunicación de elementos como el enlace entre una central telefónica y un nodo troncal (típicamente son necesarias menos de 8 longitudes de onda). [5]

Otro aspecto importante en CWDM es que generalmente se utilizará en distancias cortas que no requieren realizar amplificación, lo cual permite que la transmisión pueda realizarse en un amplio rango del espectro incluyendo primera (850 nm), segunda (1300 nm) y tercera ventana (1500 nm). Para distancias cortas, de 100m a 300m, se puede trabajar en primera ventana sobre fibra monomodo, la cual posee un núcleo muy delgado, de tan sólo unas pocas micras, y a través del cual los rayos de luz siguen un único camino, por lo tanto sólo existe un modo. Gracias a esta técnica se obtiene un ancho de banda superior y menor atenuación. Existe una variante de CWDM denominada WWDM (Multiplexación por División de Longitud de Onda de Par en Par) que utiliza la ventana de transmisión de los 1400 nm para transmitir a estas distancias. En segunda ventana se pueden alcanzar distancias de 10km sobre fibra monomodo y en tercera ventana se pueden alcanzar los 40km. Para distancias mayores de 10km todas las longitudes de onda han de encontrarse en tercera ventana lo que reduce su número,

típicamente a cuatro y para distancias mayores de 40km se pueden utilizar amplificadores ópticos, generalmente para cuatro longitudes de onda.

2.2.2 DWDM (Multiplexación por División de Longitud de Onda Densa)

La técnica DWDM tiene como objetivo enviar el máximo número posible de longitudes de onda en la misma fibra, lo que implica la necesidad de reducir la separación entre ellas. El caudal que puede manejar la fibra depende, por tanto, del número de longitudes de onda que es posible introducir en la banda de trabajo de la fibra, este número está en continuo aumento y pronto será habitual disponer de hasta 256; sin embargo, se plantea un problema importante. La longitud de onda de la radiación emitida por los láseres depende de la temperatura, esta circunstancia provoca que, con tantas longitudes de onda dentro de una misma fibra, baste un pequeño cambio en las condiciones ambientales bajo las que operan los láseres para que se produzca una variación de las longitudes de onda transmitidas que puede provocar la aparición de interferencias entre radiaciones vecinas. Este fenómeno plantea la necesidad de incorporar elementos refrigeradores, como los láseres DBF (Realimentación Distribuida) que encarecen en gran medida la tecnología. [6]

Los sistemas DWDM usan típicamente separaciones de longitudes de onda de 200 GHz (1.6nm), 100 GHz (0.8nm) o 50 GHz (0.4nm) con futuros sistemas en proyecto para tener incluso espaciados más estrechos. Las longitudes de onda operativas en sistemas DWDM están definidas según un grid de frecuencias estandarizado, desarrollado por la UIT-T (Unión Internacional de Telecomunicaciones). Los láseres DBF se usan como fuentes en sistemas DWDM, la longitud de onda deriva aproximadamente $0.08\text{nm}/^{\circ}\text{C}$ con temperatura; los láseres DBF se enfrían para estabilizar la longitud de onda y evitar que varíe fuera de la banda de los filtros multiplexor y demultiplexor cuando la temperatura presenta fluctuaciones.

2.3 FUNCIONAMIENTO DE LA TECNICA WDM

El principio de funcionamiento de WDM se basa en el transporte de varios flujos de información, cada uno codificado sobre una longitud de onda distinta (de ahí su nombre), multiplexados dentro de una única fibra, de esta manera se logra incrementar considerablemente la capacidad de las redes de fibra óptica.

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

- Desplegando más fibra. Sin embargo, y salvo excepciones, esta solución no es nada económica, por lo que se trata de evitar.
- Incrementando el número de longitudes de onda incluidas en una fibra y, con ello, el número de canales transportados por la misma. Hoy en día son típicos valores de 16 ó 32 longitudes de onda por fibra, pudiendo llegar en el caso de enlaces submarinos hasta 128 o incluso 256.
- Aumentando la velocidad de transmisión soportada por cada una de las longitudes de onda, a esto contribuye la fabricación de unas fibras de cada vez mayor calidad, pero existe un límite físico determinado por su dispersión. Actualmente se trabaja con valores de 2.5 Gbps, mediante el Multiplexor de Transferencia Síncrono, llegando en algunos casos a 10 Gbps. En definitiva, hoy es posible emplear una fibra óptica para transmitir información a una velocidad del orden de cientos de Gbps o incluso Tbps.

2.4 DISPOSITIVOS EMPLEADOS EN LA MULTIPLEXACIÓN

Son de carácter activo y pasivo.

2.4.1 Componentes activos

Su empleo se encuentra aún limitado porque requieren una separación exigua entre canales y gran estabilidad en los mismos; no obstante, se dispone de ellos, así como de sistemas coherentes sintonizables para la multiplexación. Habitualmente, sin embargo, se recurre a emplear un transductor Electro-Óptico y Opto-Eléctrico por canal, que afluye al correspondiente multiplexor o demultiplexor óptico.

2.4.1.1 Emisores

En WDM, las señales eléctricas son convertidas en señales ópticas (luz) mediante diodos láser cuya longitud de onda se encuentra dentro de un rango permitido para poder realizar la multiplexación. Existen dos tipos de WDM que han sido desarrollados que se diferencian por las distintas longitudes de onda que utilizan. El WDM convencional está estandarizado internacionalmente por la UIT-T G 692 para utilizar longitudes de onda que van desde 1310 nm hasta 1550 nm donde la distancia entre los distintos canales que ocupan la misma fibra es de entre 0.8 nm (100 GHz) y 1.6 nm (200 GHz), este rango de longitudes de onda se escoge debido a que dentro de este rango las pérdidas en la Fibra Óptica son mínimas, exceptuando el pico de pérdidas existente en 1400 nm debido a las cualidades físicas del material.

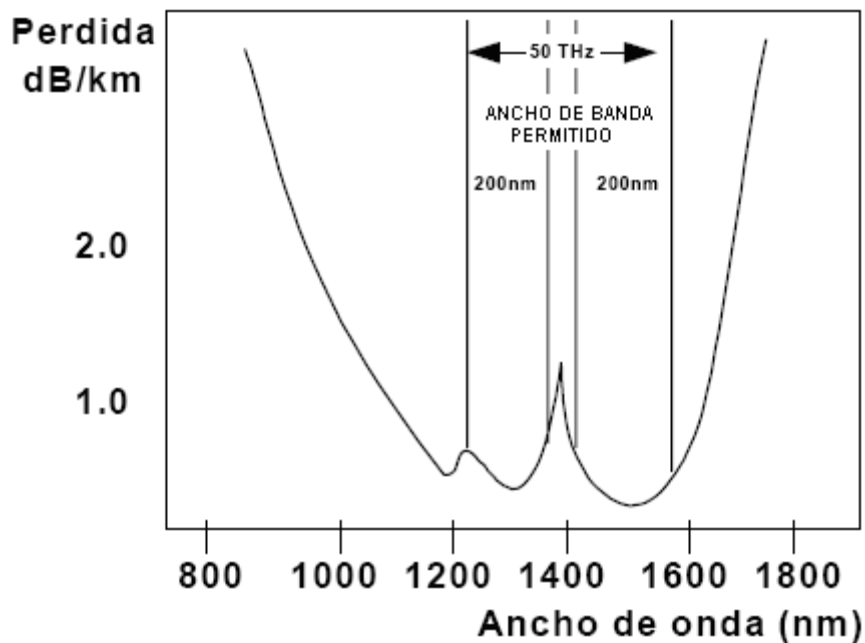


Figura 2.3 Atenuación media en la fibra óptica [10]

Como puede observar en la gráfica anterior, en un rango de 200 nm, entre 1300 y 1500 nm, la atenuación media es de entre 0.2 dB/Km y 0.5 dB/Km, por otro lado existe el WDM Aproximado o CWDM que utiliza para el mismo rango de longitudes de onda un espaciado entre canales de menos de 100GHz. Ya se han probado sistemas con separación entre canales de 0.8 nm (100 GHz) y 0.2 nm (25 GHz) con resultados satisfactorios.

Así, en función del espaciado entre canales utilizado por WDM, podemos encontrar sistemas de 4, 8, 16, 32 e incluso 80 canales ópticos, lo que permite alcanzar capacidades de 10, 20, 40, 80 y 200 Gbps que es equivalente a tener una capacidad nominal de 2.5 Gbps por canal. Por ejemplo, para hacernos una idea de lo que esto significa, con un sistema de 16 canales de 2.5 Gbps de capacidad nominal, es posible transmitir 500.000 conversaciones telefónicas simultáneas en una sola fibra. [7]

2.4.1.1.1 Características de los emisores

Los láseres utilizados en WDM son prácticamente iguales que los utilizados para comunicaciones de larga distancia, excepto por la necesidad de que algunos requerimientos sean más críticos y la aparición de nuevos requerimientos adicionales:

- **Ancho espectral:** El ancho espectral necesario en WDM depende del número de canales usados en cada uno de los sistemas a implementar y de la tolerancia de sus componentes, como por ejemplo los demultiplexores. Generalmente, cuanto más estrecho es el ancho espectral, mejor es el láser, pero esto implica mayores costos y menor beneficio.
- **Estabilidad de longitud de onda:** Generalmente en comunicaciones ópticas, para minimizar los efectos de la dispersión y el ruido de partición de modo, es necesaria una estabilidad muy alta; sin embargo, los sistemas WDM necesitan minimizar constantemente las variaciones de la longitud de onda. Un cambio de 1 ó 2 nm no tiene porque perjudicar a un sistema WAN tradicional de un solo canal, pero podría provocar errores en un sistema WDM.
- **Láseres sintonizables en longitud de onda:** La capacidad de sintonización es importante en las redes ópticas, el hecho de que la sintonización en el transmisor o el receptor sea rápida es fundamental para el rendimiento del sistema en redes LAN y WAN.
- **Láseres multi - longitud de onda:** Este tipo de láseres pueden ser utilizados para implementar una sintonización muy rápida simplemente seleccionando que longitud de onda será transmitida, aun así, pueden transmitirse simultáneamente varias longitudes de onda. Estos láseres están hechos mediante una combinación de láseres de diferentes

longitudes de onda, juntos en un mismo sustrato, como se ve en la siguiente figura.

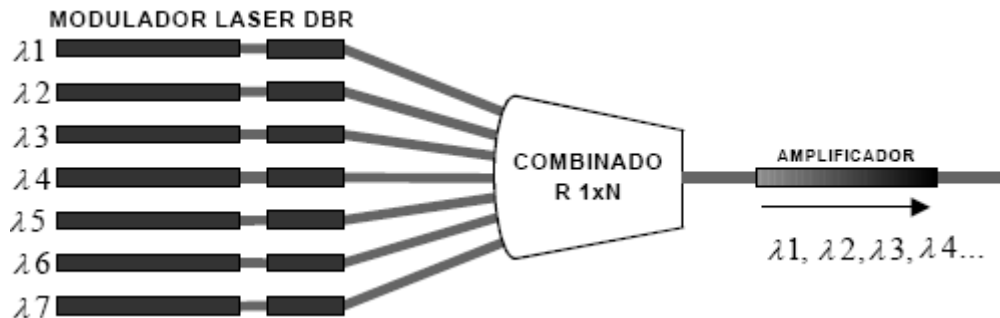


Figura 2.4 Modulador láser DBR (Reflexión de Bragg distribuida) [10]

2.4.1.2 Detectores o receptores ópticos

La función de estos componentes es efectuar una conversión de señal óptica en señal eléctrica, al igual que los transmisores, estos componentes pueden ser dispositivos sintonizables dentro de un rango de longitudes de onda fijas. Para detectar la señal óptica, existen varios dispositivos que utilizan diferentes métodos. En el método de detección coherente, la señal que llega al receptor óptico se suma a la de un oscilador local, antes de la fotodetección, si la señal del oscilador local es ligeramente diferente a la señal entrante, la corriente resultante en la salida del fotodetector, es centrada en alguna frecuencia pasa-banda, denominada frecuencia intermedia. Una ventaja clave de este tipo de detección es la sensibilidad que es el nivel mínimo de señal a la cual el receptor detecta una señal aceptable, otra ventaja de este tipo de detección, es la selectividad, que corresponde a la habilidad del receptor de detectar un determinado rango de frecuencias, al mismo tiempo que rechaza las otras. El otro tipo de detección, es el método directo. En éste, las decisiones de recepción se pueden basar puramente en la energía que es recibida durante el período del bit, ignorando toda la información de fase y frecuencia. El criterio de detección es el mismo para

señales analógicas y digitales, la única diferencia es el orden cuantitativo, en el primer caso se requiere de una relación señal a ruido más elevada que para señales digitales; este tipo de detección tiene menor sensibilidad que la anterior.

2.4.1.3 Adaptación de longitud de onda

Antes de multiplexar los canales de información en la fibra óptica, se debe realizar el proceso de adaptación de las señales entrantes a las longitudes de onda de operación estandarizadas de la UIT-T (Unión Internacional de Telecomunicaciones). Un bloque importante en un sistema DWDM es la unidad de acoplamiento de los diferentes canales entrantes; para tal fin se usa un conjunto de acopladores de fibra con la cantidad apropiada de puertos de entrada, estos acopladores se denominan TWA (Adaptadores de Longitud de Onda de Transmisión), los cuales retransmiten las señales ópticas procedentes de los terminales de entrada que corresponden a canales simples de información, por medio de interfaces que emiten señales ópticas en la región de 1200 a 1600 nm. Esto se lleva a cabo mediante la conversión óptica en el interior de dichas unidades de adaptación, el objetivo principal es realizar la conversión de la longitud de onda desconocida de la señal entrante, a una longitud de onda fija dentro de las ventanas ópticas de transmisión que cumple con el plan de longitud de onda según la normalización de la UIT-T Recomendación G.692, en esta recomendación se ha estandarizado la asignación de la longitud de onda en la ventana de 1550 nm. Para realizar la adaptación el TWA recibe el tráfico de la señal entrante por medio de un láser que opera en forma estable en una longitud de onda preseleccionada, se requiere un TWA para cada señal óptica a multiplexar, cada señal óptica de entrada cuya longitud de onda ha sido adaptada por medio del TWA, conforma un canal DWDM. [5]

2.4.1.4 Conversión de longitud de onda

Se refiere a la utilización de longitudes de onda para enrutar datos, en la figura 2.5 se observan los nodos de enrutamiento (transconectores) asignados como N1 y N2, estos se interconectan con fibras ópticas a las estaciones de acceso E1, E2, E3, E4 y E5, en las que los datos de usuarios son multiplexados en un canal WDM simple. Una estación de acceso también provee conversión OEO (óptica-electrónica-óptica), para permitir la interacción con los equipos electrónicos convencionales, con una Red de Enrutamiento de Longitud de Onda Completamente Óptica se pueden transportar los datos de una estación a otra con conversiones OEO como se observa en la figura 2.5, estas redes son utilizadas en la construcción de redes WAN WDM. Para transmitir los datos de una estación a otra se requiere del establecimiento de una conexión en la capa óptica mediante la determinación de una ruta en la red, que permite conectar la estación de origen con la estación de destino a través de la asignación de una longitud de onda común libre en todos los enlaces de fibra del trayecto (camino óptico si es un trayecto completamente óptico). El ancho de banda total disponible en este camino óptico es asignado a la conexión durante su tiempo de sostenimiento, en el cual la longitud de onda correspondiente no puede ser asignada a cualquier otra conexión, cuando la conexión es finalizada, el camino óptico asociado es apagado y la longitud de onda inmediatamente retorna al estado libre en todos los enlaces a lo largo de la ruta.

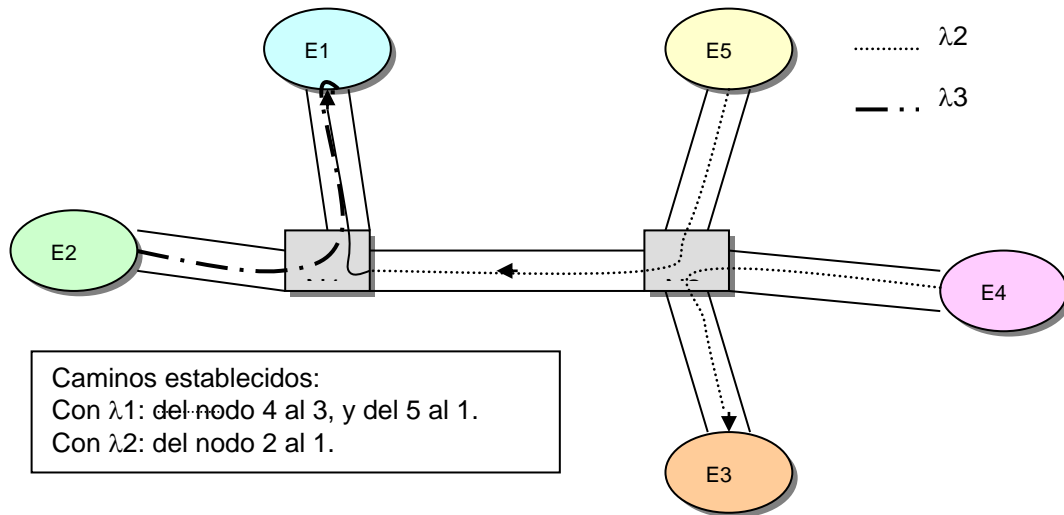


Figura 2.5 Enrutamiento de datos en longitudes de onda, los nodos de enrutamiento o transconectores asignados como N1 y N2 se interconectan con las fibras a las estaciones de acceso E1, E2,...,E5, la ruta se hace a través de la asignación de una longitud de onda [11]

Establecimiento del camino óptico

Se requiere que la misma longitud de onda sea asignada en todos los enlaces del trayecto. Este requerimiento es llamado Restricción de Continuidad de Longitud de Onda. Esta restricción distingue a las redes con continuidad de longitud de onda de una red conmutada por circuitos, la cual bloquea llamadas solo si no hay capacidad a lo largo de los enlaces en el trayecto asignado a la llamada. Un camino óptico simple en tal red puede usar una longitud de onda diferente a lo largo de cada enlace en este trayecto. Así, la conversión de longitud de onda puede mejorar la eficiencia en la red resolviendo los conflictos de longitud de onda en los caminos ópticos.

Conversor de longitud de onda

Este dispositivo cumple la función de convertir datos a partir de una longitud de onda de entrada, a una longitud de onda de salida determinada entre las n longitudes de onda disponibles en el sistema, en la figura 2.6 se observa el mecanismo.

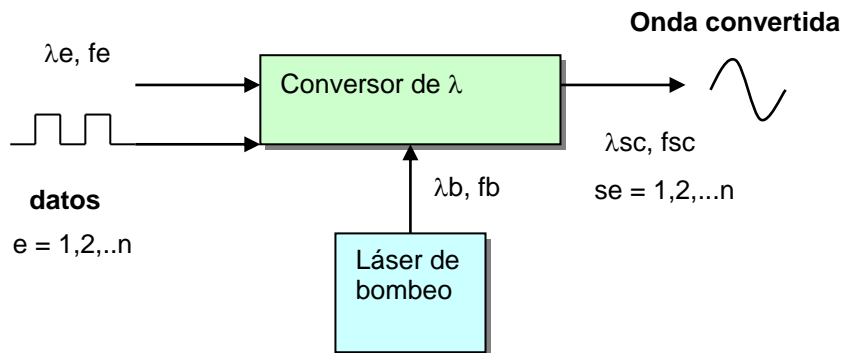


Figura 2.6 Funcionamiento del conversor de longitud de onda, que convierte los datos a partir de una longitud de onda de entrada [11]

La longitud de onda de la señal de entrada con su respectiva frecuencia, donde se encuentran los datos viene dada por λ_e , el láser hace el bombeo con una longitud de onda dada por λ_b , entregando la señal convertida con una longitud de onda λ_{sc} , donde se representa el número de longitudes de onda a la salida del conversor. Un conversor de longitud de onda completamente óptica permite que la señal incidente permanezca en el dominio óptico durante el proceso de conversión, esta técnica puede emplear Efectos Coherentes, donde se mezclan ondas a partir de la respuesta no lineal, se pueden generar mas ondas con una onda de entrada simple como sucede en la dispersión Raman, estas ondas están presentes en la fibra, esta mezcla de ondas preserva la información tanto de la amplitud como de la

fase. Otro efecto que se emplea es la Modulación Cruzada, que emplea la conversión de longitud de onda de compuerta lógica utilizando dispositivos ópticos de semiconductor activos como amplificadores SOA, y dispositivos que operan en modos de Modulación de Ganancia Cruzada (XGM).

Un conversor opto-electrónico convierte primero la señal óptica al dominio electrónico usando un foto detector, el flujo eléctrico de bits se almacena en un dispositivo de memoria temporal, la señal electrónica es luego usada para impulsar la entrada de un láser sintonizable, sintonizado a la longitud de onda deseable.

2.4.1.5 Multiplexores

En WDM son necesarios dispositivos eficaces para introducir por una única fibra distintas longitudes de onda, si se utilizan acoplamientos pasivos en la multiplexación las señales de luz perderían gran parte de su fuerza. Por otro lado si se utilizan la configuración reticular AWGs (Rejilla de Guía de Onda de Selección) o elementos similares la pérdida se reduce considerablemente, un típico AWG comercial combinando 32 canales tiene una pérdida de unos 6 dB por canal (3/4 de cada señal es pérdida). Existen AWGs con pérdidas totales de 5 dB para 64 canales.

- **ADM (Multiplexores de adición / extracción):** Estos dispositivos aportan gran flexibilidad a las redes ópticas y son capaces de extraer la información contenida en cualquiera de las longitudes de onda de la fibra en cualquier punto intermedio de la misma. Además de la extracción, también permiten introducir canales a mitad de fibra.

Cuando este tipo de operaciones se puede realizar directamente en el dominio óptico se obtienen los mismos beneficios que en el caso de los amplificadores, es decir, se aumenta su eficiencia y supone una gran

simplificación. Esta tarea la realizan los OADMs (Multiplexor de Adición y Extracción Óptico).

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

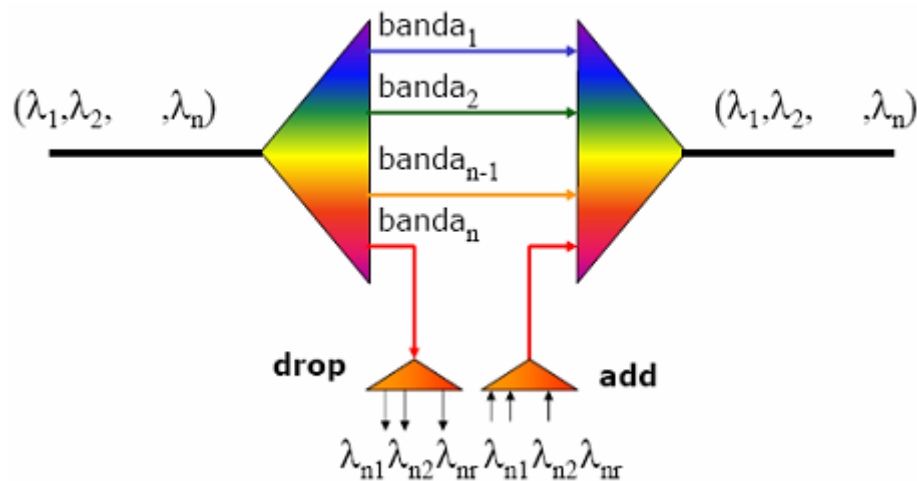


Figura 2.7 Multiplexor de adición / extracción [9]

- **Conmutadores ópticos:** Las versiones más sencillas presentan matrices de conmutación de 16x16, aunque ya hay matrices de 256x256.

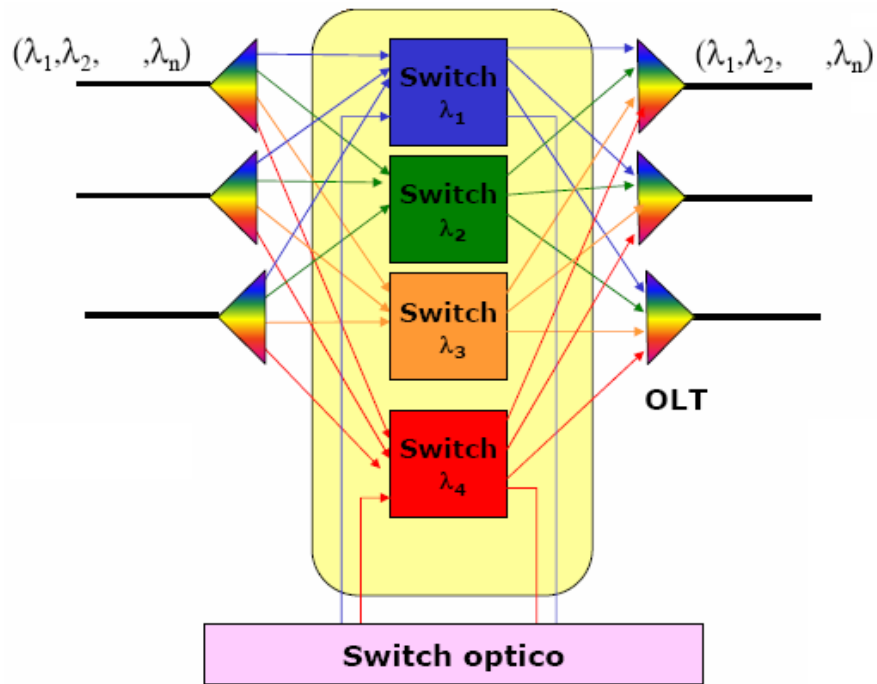


Figura 2.8 Conmutador óptico [9]

El desarrollo de todos estos dispositivos ha permitido el paso hacia las redes todo ópticas, en las que se consiga eliminar todas las tareas que se realizan en el dominio eléctrico, puesto que suponen una gran tara en velocidad y en eficiencia. Este tipo de redes está empezando a ser factible en el ámbito de la conmutación.

2.4.2 Componentes pasivos

Los componentes pasivos selectivos en longitud de onda se pueden clasificar en dos grupos:

2.4.2.1 Dispositivos micro-ópticos

En principio se utilizaron los prismas, aprovechando el cambio del índice de refracción con la longitud de onda; en consecuencia, dos rayos de diferentes

longitudes de onda que incidan bajo un mismo ángulo sobre una cara de un prisma emergerán por la opuesta bajo ángulos diferentes.

Actualmente se emplean más las redes de difracción, capaces de una dispersión mucho mayor, pero con un rendimiento que depende de la longitud de onda.

La disposición más usual para los componentes de este tipo es la configuración reticular Littrow (figura 2.9), en la que se emplea la misma lente para entrada y salida de los canales. Los dos tipos más comunes de rejillas comprenden lentes biconvexas o bien de índice gradual.

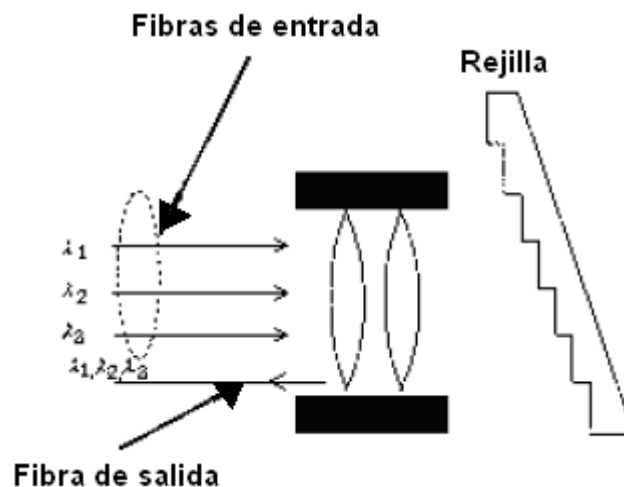


Figura 2.9 Rejilla de difracción [10]

Hay una diferencia importante entre los Multiplexores (MUX) y Demultiplexores (DEMUX) que utilizan redes de difracción: la fibra de salida debe tener mayor diámetro de núcleo que la entrada, para obtener una banda de paso ancha para la transmisión sin afectar a la separación entre canales.

Con estos dispositivos se consiguen DEMUX de hasta 20 canales, con separaciones entre ellos próximas a los 30 nm, las pérdidas de inserción aumentan proporcionalmente al número de canales, típicamente 1.8 a 2 dB para 20 canales. [5]

Otro componente micro-óptico usado para la WDM es el llamado filtro de interferencia, empleado para separar una raya del resto del conjunto espectral: estos filtros se componen de numerosas capas alternadas de materiales con alto y bajo índice de refracción (óxidos o fluoruros metálicos sobre una capa de vidrio); los hay, como en los circuitos eléctricos, de paso alto, bajo, de banda atenuada y de paso de banda.

Los multiplexores más sencillos de este tipo se basan en un filtro diseñado para reflejar la señal procedente de un canal transmitiendo a todos los demás, y deteniendo sucesivamente todos los canales en orden creciente o decreciente de longitudes de onda. La banda de paso debe tener la anchura suficiente para transmitir todos los canales restantes sin pérdidas; la banda atenuada debe reflejar al menos su propio canal sin transmisión residual.

En resumen, cada filtro combina o separa dos canales; por cada canal nuevo que quiera añadir o suprimir debe incorporarse un nuevo filtro.

Un filtro típico es el de estructura poligonal, en el que en cada cara interna de un polígono se aloja un cristal filtro de diferente banda de paso, accediendo a cada uno de ellos una fibra; en cada una de las sucesivas reflexiones se irán seleccionando las bandas de paso correspondientes, el procedimiento es aplicable a fibras monomodo y multimodo. A diferencia de los componentes reticulares, la fibra de entrada/salida no tiene ningún efecto sobre el comportamiento espectral de estos dispositivos, por lo que puede emplearse fibra monomodo sin crear ningún ensanchamiento en la banda.

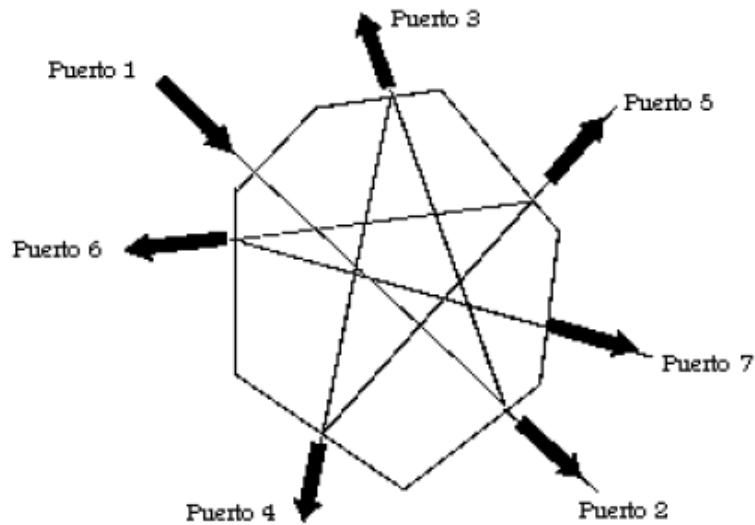


Figura 2.10 Filtro Poligonal [10]

Otro filtro interferencial clásico es el dicróico, formado por dos lentes entre las que se inserta un espejo dicróico, las lentes pueden ser de índice gradual (figura 2.11).

Las pérdidas de inserción pueden estimarse, como mínimo, en 1 dB por cada canal que se filtra y el número máximo de canales que se pueden demultiplexar actualmente es de seis.

En conjunto, las redes de difracción presentan menores pérdidas de inserción que los filtros, pero también menos capacidad de resolución que éstos, por lo que su campo de aplicación se restringe a las fibras multimodo, quedando para las monomodo los filtros interferenciales.

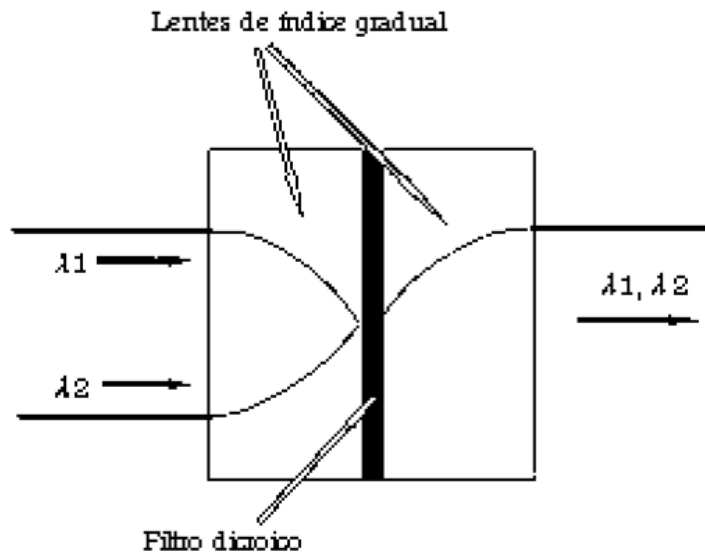


Figura 2.11 Filtro dicróico [10]

2.4.2.2 Dispositivos de fibra

Son componentes sencillos, llamados acopladores, que transfieren potencia óptica entre guíaondas, la transferencia de potencia resultante se determina en función de la longitud de la zona de interacción, suelen ser dispositivos sencillos de cuatro puertas, dos de entrada y dos de salida, cuyo fundamento es el acoplamiento evanescente de los dos campos ópticos en el exterior de los núcleos al aproximarlos. Son intrínsecamente selectivos de longitud de onda, y por ello pueden emplearse para separar o combinar señales de diferente longitud de onda.

Se utilizan fundamentalmente dos técnicas para el acoplamiento: la de trenzado y fusión, en la que las fibras se trenzan, se calientan hasta fundir y se estiran para producir un estrechamiento en la región de interacción al ponerse en contacto los dos núcleos, las pérdidas de inserción son menores que 0.05 dB y el aislamiento de longitudes de onda menor que -30 dB.

La segunda técnica al uso, la del acoplador pulimentado, utiliza un bloque acoplador en el que las dos fibras se fijan dentro de hendiduras curvas talladas en sendos bloques de cuarzo; se pulimentan hasta que sus núcleos quedan al descubierto, y seguidamente se ponen en contacto los bloques, en este caso se consigue sintonizar la relación de acoplamiento por desplazamiento relativo de los núcleos. [8]

CAPITULO III

3. DESCRIPCION DE LA RED DE EMCALI TELECOMUNICACIONES

3.1 CENTRALES TELEFONICAS DE LA RED

La información contenida en este capítulo la desarrollamos con la colaboración del Ingeniero Eugenio Castro del departamento de planeación de EMCALI Telecomunicaciones.

EMCALI posee un sistema de conmutación TDM (Multiplexación por División de Tiempo) de 30 centrales telefónicas (600.187 líneas en planta) y tres de ellas, Colon2, Guabito 3, Centro 5, son centrales Tándem. [4]

EDIFICIO	CENTRALES	LÍNEAS
Colon	Col2, Col3, Col4	52.659
Limonar	Lim1, LIM2	108.346
Centro	Cen1, Cen5, Cen6, Cen3	58.279
Tequendama	Teq2, Teq6, Teq3	39.136
Guabito	Gua3, Gua4, Gua5	53.273
Salomia	Sal1, Sal2	41.688
La Flora	Lfl1	28.270
Peñón	Pen1	17.274
San Fernando	Sfd2, Sfd3	41.255
Versalles	Ver2, Ver3	38.845
Prados del Sur	Pds1	13.935
Unión de Vivienda	Uvi4	25.621
Poblado	Pob5	28.634
San Luís	Snl4	1.128
Yumbo	Yum3	12.212
Alfonso López	Alf2	24.568
Marroquín	Mar3	15.064
TOTAL LINEAS		600.187

Tabla 3.1 Distribución de las centrales telefónicas con sus respectivas líneas POTS (Servicio Telefónico Convencional)

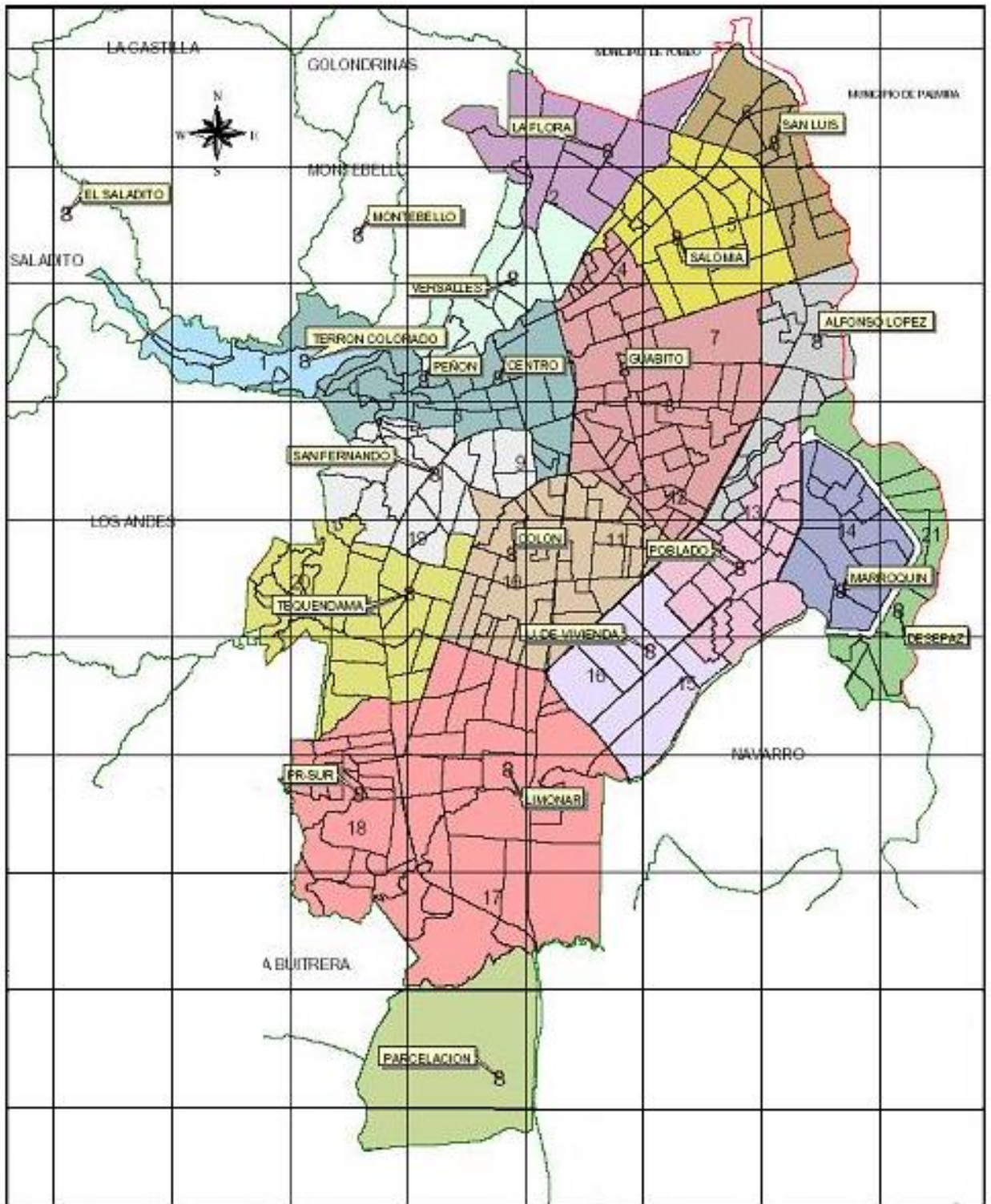


Figura 3.1 Ubicación de las centrales en la ciudad de Cali [4]

3.2 MEDIOS DE TRANSMISIÓN

EMCALI tiene instalada una red de SDH (Jerarquía Digital Síncrona) y PDH (Jerarquía Digital Plesiocrona) a nivel troncal y de acceso sobre cables de fibra óptica de diferentes capacidades, instalados en ductos y terminados en ODFs (Terminales de Distribución para Fibras Ópticas) o cajas terminales ópticas en las diferentes centrales o premisas de grandes clientes.

La Red Troncal de Transmisión esta conformada por una red de fibra óptica estructurada en un Multiplexor SDH - ADM nivel 2 (ADM4) que conecta todas las centrales telefónicas a gran velocidad, 622 Mbps.

Los Multiplexores ADM4 operan a una velocidad de 622 Mbps, se conectan entre sí por medio de fibra óptica, utilizan protección MSP (Protección de la sección de multiplexación) a nivel de línea óptica en configuración 1+1 lo que garantiza un nivel de confiabilidad de 99,999% y poseen protección a nivel de tarjetas de alimentación y conmutación. Los Multiplexores ADM4 son supervisados por un sistema de gestión ubicado en la central telefónica de Colon, lo que garantiza el monitoreo durante las 24 horas del día y configuración en tiempo real de los diferentes servicios solicitados por los clientes.

La Red de Acceso Para Grandes Clientes de EMCALI esta conformada por anillos de fibra óptica con multiplexores ADM nivel 1 (ADM1), los cuales operan a velocidad de 155 Mbps; Estos equipos se instalan en las premisas del cliente, a través de los cuales se conectan los conmutadores o enrutadores de los clientes a la velocidad de 2 Mbps, por medio de sistemas E1 o Accesos Primarios RDSI hasta la respectiva central telefónica. Los Multiplexores ADM1 utilizan el sistema de protección Path Protection (Protección de paso) a nivel de línea óptica en configuración 1+0 lo que garantiza un nivel de confiabilidad de 99,999% y poseen protección a nivel de tarjetas de alimentación y conmutación.

En algunos casos no se tienen anillos sino configuración en estrella con fibra óptica y equipos terminales ópticos PDH, los cuales operan a velocidades entre 2 y 10 Mbps y cuentan con un sistema de respaldo por medio de la tecnología HDSL utilizando el par de cobre.

Los sectores donde se ha desarrollado la red de acceso con las tecnologías descritas son: Acopi, la Flora, Yumbo, Cencar, Limonar, Centro, San Fernando, Tequendama, Versailles.

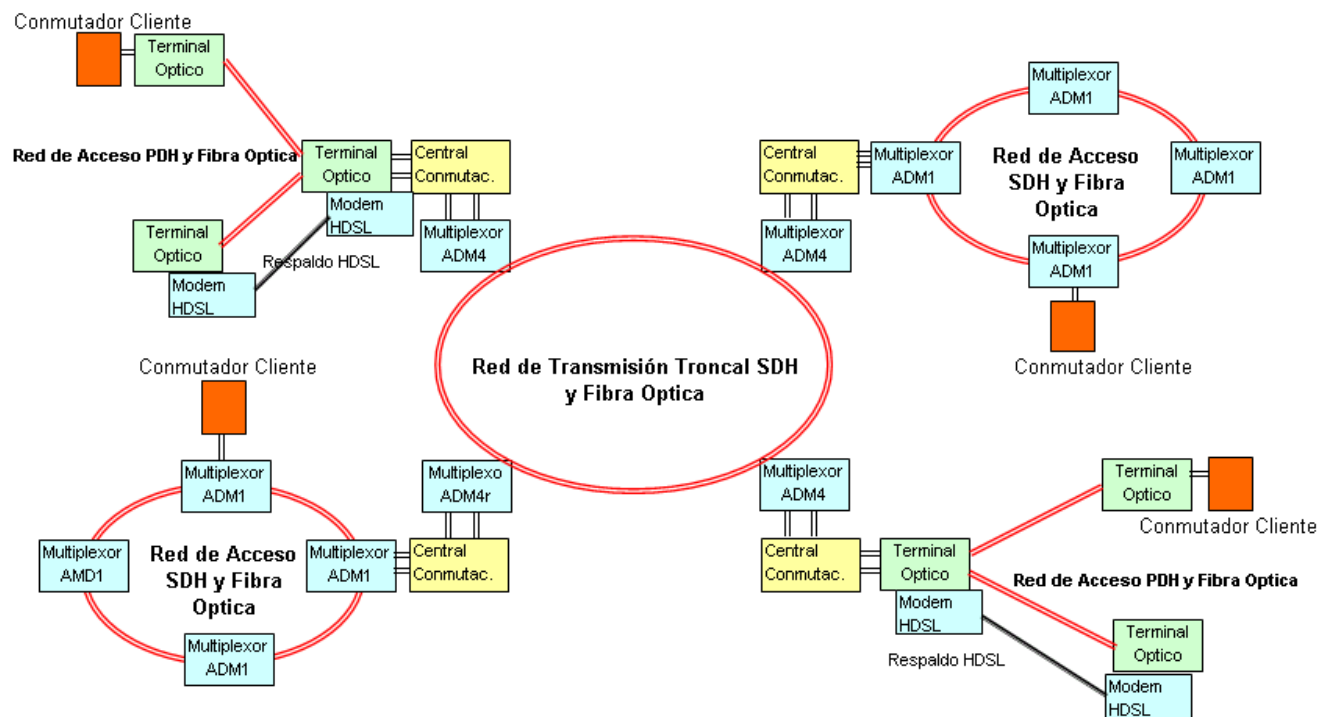


Figura 3.2 Red de Transmisión y acceso SDH/PDH en Fibra Óptica [1]

El tipo de fibra que se utiliza es monomodo, cumple con los requerimientos de la norma de EMCALI de acuerdo con la recomendación de la UIT-T G.652 operando en la ventana de 1310 nm y la categoría de la fibra es B1.1. Según la norma IEC 793-1-1. Como se muestra en la figura 3.4.

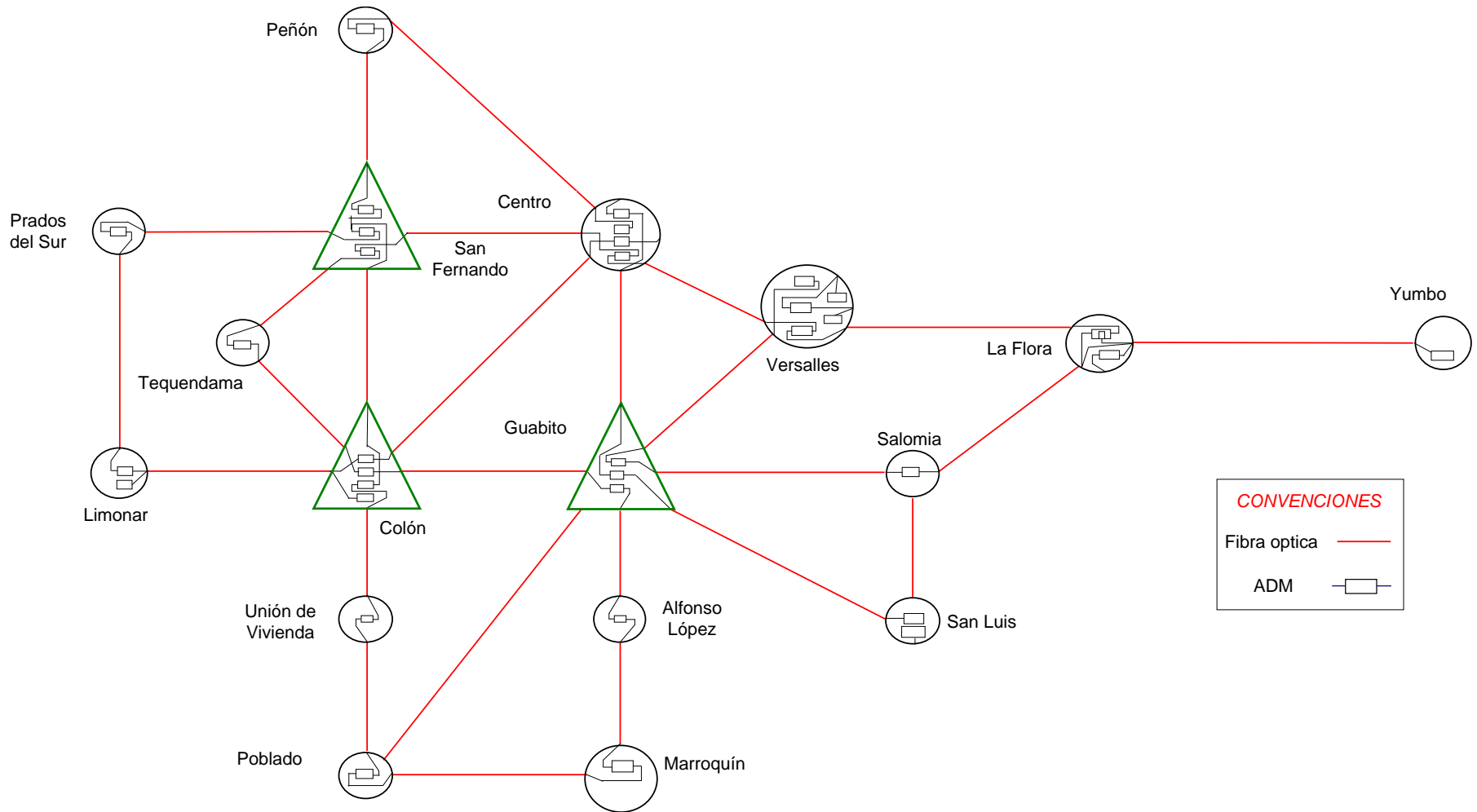


Figura 3.3 Diagrama general de los cables de Fibra Óptica de EMCALI [1]

A continuación daremos unas definiciones básicas referentes a la fibra monomodo.

Fibra monomodo: En este tipo de fibra, el núcleo es muy delgado, de tan sólo unas pocas micras, y a través del cual los rayos de luz siguen un único camino, por lo tanto sólo existe un modo. Gracias a esta técnica se obtiene un ancho de banda superior y menor atenuación. Sin embargo, al tener unas dimensiones reducidas se dificulta la interfaz con las fuentes emisoras, debiendo ser estas de alta calidad, motivo por el cual este sistema también resulta más costoso, se utiliza típicamente en comunicaciones de media y larga distancia y en enlaces intercontinentales en los que hay una elevada transmisión de datos, lo cual justifica una inversión más grande.

Ventanas de transmisión: A través de la historia las ventanas de comunicación asignadas a las longitudes de onda: 0.8, 1.3 y 1.5 μm para la primera, segunda y tercera ventana de transmisión respectivamente han sido parte de los diferentes sistemas de comunicación entre ellos el sistema óptico que ha existido.

Para sistemas que operan en longitudes de onda de 1.5 μm se detalla también, la aparición de nuevas generaciones que, empleando diferentes técnicas, permitieron incrementar ampliamente la capacidad de transmisión de estos sistemas.

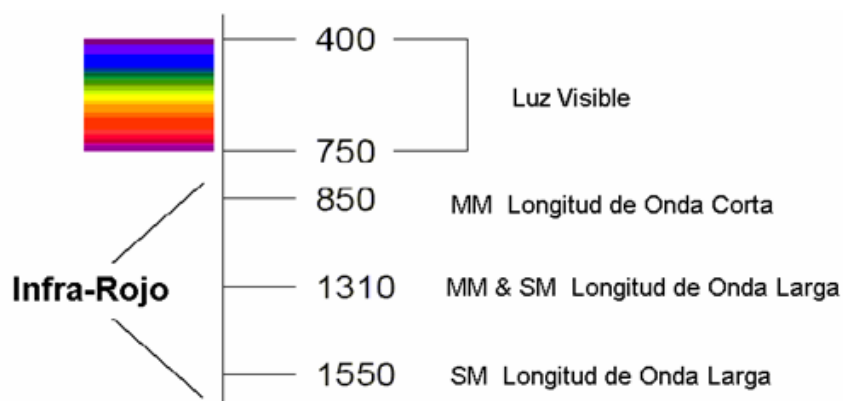


FIGURA 3.4 Longitudes ópticas [2]

El problema de la dispersión: Los problemas de dispersión modal pueden afectar la transmisión de cualquier información emitida por medio de impulsos de luz. Esto se denomina algunas veces como capacidad a la respuesta impulsiva de la fibra óptica. La dispersión modal y la del material tienden a ensanchar los impulsos de luz en el tiempo y aunque la transmisión de información pudiera haber comenzado con impulsos cortos y perfectamente espaciados, este tipo de dispersión puede ocasionar que los impulsos ocupen un gran intervalo de tiempo y de este modo reducir el espaciamiento temporal entre ellos llegando, en el peor de los casos, a un solapamiento tan grande de los impulsos que no existen ni impulsos ni espacios. Es decir habría únicamente un rayo de luz continuo en la salida.

La dispersión relaciona, la velocidad de propagación de las distintas frecuencias dentro de la banda de frecuencias transmitidas por la guía de luz óptica.

Transmisión: Una de las consideraciones más importantes en la utilización de fibras ópticas y rayos de luz para transmisión de datos y comunicaciones es el hecho que los rayos luminosos son prácticamente inmunes a las interferencias eléctricas cuando se envían sobre un camino de transmisión de fibra óptica. Las radiaciones electromagnéticas, como descargas eléctricas, rayos y efectos de diafonía que actúan como fuentes de interferencias, son prácticamente eliminados en un sistema de transmisión por fibra óptica.

Se debe tener presente también el significado del uso de la luz y de las frecuencias luminosas en las comunicaciones. Si se considera el hecho de que para la transmisión de información es necesaria una pequeña banda de frecuencias (quizás del orden de los kHz), se debe pensar entonces en la cantidad de bandas que puede contener la región luminosa del espectro de frecuencias sin que se interfieran unas con otras. Además, como las bandas pueden hacerse más anchas, es posible transmitir información a velocidades

mayores. Podrían llegar a usarse velocidades del orden de los Gbps e incluso superiores y aún así quedaría una anchura de banda suficiente para poder manejar un gran número de canales simultáneamente. En los sistemas de fibra óptica pueden enviarse datos digitales y analógicos de manera conjunta. Esto significa que los costos son menores que con los cables de cobre, además de una menor diafonía e interferencias.

Estos hilos de fibra óptica presentan ciertas cualidades como son: su sensibilidad a la curvatura y a la microcurvatura, la resistencia mecánica, y las características de envejecimiento.

3.3 RED DE SEÑALIZACIÓN

Las centrales utilizan el SSCCN7 (Sistema de Señalización por Canal Común Numero 7), exceptuando las centrales Fetex y Neax que utilizan el sistema de señalización por canal asociado.

La red de señalización SSCCN7 esta constituida por tres nodos PTS (Punto de Transferencia de Señalización) ubicados en las centrales Tándem (Colon2, Guabito 3, Centro 5) y las demás centrales locales tienen funciones PS (Punto de Señalización).

PTS: Punto de señalización que tiene por función la de transferir mensajes de señalización de un enlace de señalización a otro, considerado exclusivamente desde el punto de vista de la transferencia.

PS: Punto de una red de señalización que origina y recibe mensajes de señalización, o transfiere mensajes de señalización de un enlace a otro, o ambas cosas a la vez.

La señalización con los clientes es tipo MFCR2 (Señalización Región 2 Dirigida por Medio de Tonos de Frecuencias) y DTMF (Sistemas Multifrecuencia).

Los tres nodos PTS ubicados en las tres centrales Tándem junto con las restantes centrales locales PS, constituyen la actual Red de Señalización SSCCN7.

El tráfico local se cursa en los 30 nodos constituyendo una configuración de red en malla, a su vez el tráfico de larga distancia y telefonía móvil se realiza enrutando el tráfico local a través de las centrales Tándem.

Cada PS tiene enlaces de señalización con dos PTS o Tandem.

3.3.1 Sistema de interconexión

Las centrales de conmutación se interconectan a través de enlaces a 2 Mbps utilizando las redes de SDH y PDH.

3.3.2 Sistema de gestión GERTEL (Gerencia de las Telecomunicaciones)

GERTEL es un Sistema de Gestión el cual hace el tratamiento centralizado de la información de gestión de las centrales de conmutación.

La información de gestión procedente de la central telefónica, ensamblada en el paquete X.25 (Es una tarjeta inteligente poco extendida pero eficaz), recomendación UIT – T, es convertida por una pasarela (Cisco Router) en paquetes IP (Protocolo Internet). Con la implementación de un multiplexor inverso FCD-IP (Fraccional con Ruteador Integrado – Protocolo Internet) se convierte en un tributario E1 el cual es transportado por la Red de Transmisión SDH desde cada sitio de central hasta el centro de gestión centralizado ubicado en la edificación Colon, en donde la señal tributaria E1 es convertida a IP por el multiplexor inverso (FCD-IP) y el contenido de la información en el paquete IP es tratado por los distintos servidores configurados en la red LAN.

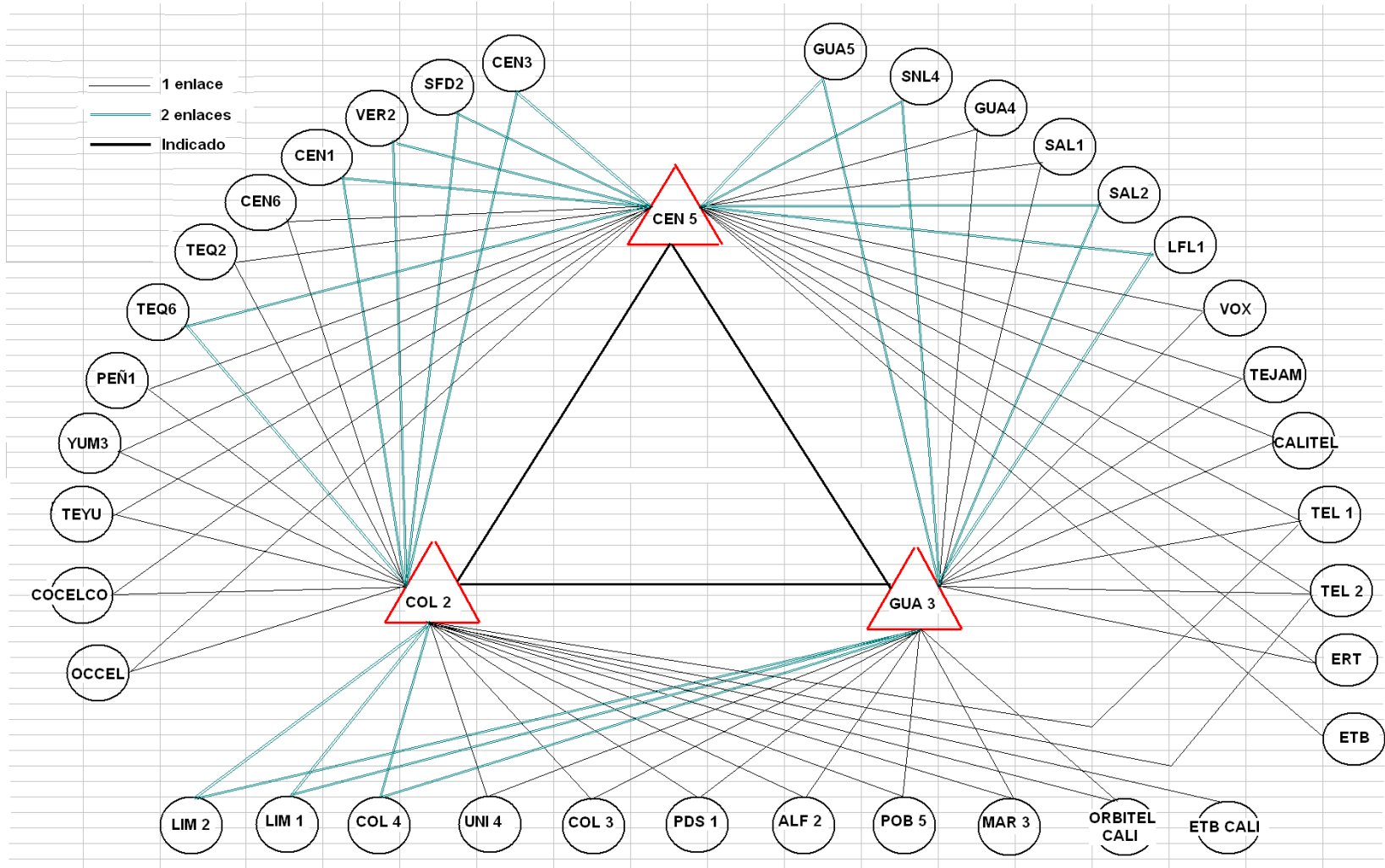


Figura 3.5 Red de señalización por canal común de EMCALI [1]

3.4 RED DE DATOS

3.4.1 Nodos de conmutación

La red de datos de EMCALI Telecomunicaciones consta de conmutadores ATM (Modo de Transferencia Asíncrono) en su backbone o nodo central, basados en una infraestructura de conmutación de paquetes, con switches de la familia Magellan de Nortel. El backbone esta implementado con 6 equipos Passport 160 PP, y 13 equipos Passport 50 (614 puertos instalados) con los cuales también se atienden los requerimientos de alta velocidad a 1.6 Gbps. El acceso esta implementado con equipos DPN - 100/3 y utiliza tecnología ATM con las cuales se pueden integrar todas las plataformas y aplicaciones existentes en el mercado, de conformidad con los estándares emanados por la UIT-T. La red ha sido diseñada con total redundancia en cada nodo de conmutación para garantizar una disponibilidad del servicio en un 99.9%.

El backbone tiene equipos Passport 160 en las centrales de Limonar, San Fernando, Centro, Versalles y La Flora. Todos estos nodos están interconectados a través de enlaces E3/ATM (34 Mbps) con interfaces eléctricas a través de la red SDH (Jerarquía Digital Sincrona) de EMCALI Telecomunicaciones. Este backbone, que hace parte de la red Multinet, está interconectado con Medellín (EPM) y Bogotá (Eutelco) con enlaces E3/ATM a través de la red de Orbitel. Desde el nodo de San Fernando se cuenta con un enlace E3/ATM con el nodo de Internet de EMCALI a través de un router Cisco 7507. En las centrales de Tequendama, Colón, Salomia, Parcelaciones, Yumbo, Zona Franca Manuel Carvajal Sinisterra y Peñón se tienen Passport 50 interconectados a través de E1 (2 Mbps).

3.5 RED INTELIGENTE

La red Inteligente es la red de telecomunicaciones que permite a EMCALI la introducción de nuevos servicios soportados por el servicio de telefonía básica, facilitando su control y administración.

A través de la red inteligente EMCALI ofrece los siguientes servicios:

- Numero único: Sistema que agrupa en un solo número, las líneas telefónicas de los diferentes puntos de atención de su empresa en toda la ciudad.
- Televotación: Ofrece la posibilidad de realizar sondeos de opinión telefónicos, recibiendo gran cantidad de llamadas en un tiempo mínimo, de manera muy eficiente.
- Numero personal: Brinda al suscriptor un único número de por vida en el cual siempre podrá ser localizado sin importar donde se encuentre.
- Cobro revertido automático: Avanzado sistema de llamadas gratuitas mucho más versátil que una línea 018000 , pues con él usted puede enrutar las llamadas de acuerdo a sus necesidades.
- Tarifa con prima: (Teleinfo o servicio 900) Permite a los usuarios acceder a cualquier tipo de información o servicio prestado por un proveedor del servicio, pagando un cargo adicional por la llamada.
- Tarjeta virtual: Sistema que le permite realizar llamadas locales o de larga distancia, siendo cargadas a su propia cuenta telefónica y no a la línea desde donde se está llamando.
- Red privada virtual: Servicio donde usted, desde cualquier línea telefónica, queda en red con su empresa para acceder a gran variedad de servicios que dicha red le ofrece.

3.6 DESCRIPCIÓN DE LA RED XDSL (Línea Digital de Suscriptor)

Los Multiplexores DSLAM (Multiplexor de acceso a línea digital de abonado) existentes son IP DSL Switch Cisco 6260, conformados cada uno por: Un (1) Cisco 6260 DSL Chasis Multiplexor, Dos (2) Cisco 6260 48V DC Modulo de suministro Eléctrico, Una (1) NI2, 1 E3 WAN, 2 E3, Un (1) E3 IO Module y Un (1) Cisco 6260 IOS IP DSL Switch – Base Software.

Los DSLAM o concentrador DSL instalados en las centrales telefónicas de EMCALI aprovecha la madurez y riqueza de capacidades del sistema operativo de la Internet a nivel de puertos xDSL están equipados así:

	Limonar	San Fernando	Versalles	Centro	La Flora
Puertos ADSL	136	136	136	0	0
Puertos DSLAM	40	32	56	24	16

TABLA 3.2 Ubicación de los puertos DSLAM Y ADSL

3.7 NODO DE INTERNET

Desde el nodo de San Fernando se cuenta con un enlace E3/ATM (34 Mbps) con el nodo de Internet de EMCALI a través de un router Cisco 7507. En las centrales de Tequendama, Colón, Salomia, Parcelaciones, Yumbo, Zona Franca Manuel Carvajal Sinisterra y Peñón se tienen Passport 50 interconectados a través de E1 (2Mbps).

Los usuarios se interconectan a los RAS (Servicios de Acceso Remoto), los cuales están interconectados con la red PSTN (Red Telefónica Publica Conmutada) a través de PRI's (Accesos Básicos Primarios) y son

autenticados por un servidor AAA RADIUS (Protocolo de autenticación y autorización para aplicaciones de acceso a la red) de Lucent.

El nodo de Internet de EMCALI Telecomunicaciones tiene la topología descrita en la siguiente figura.

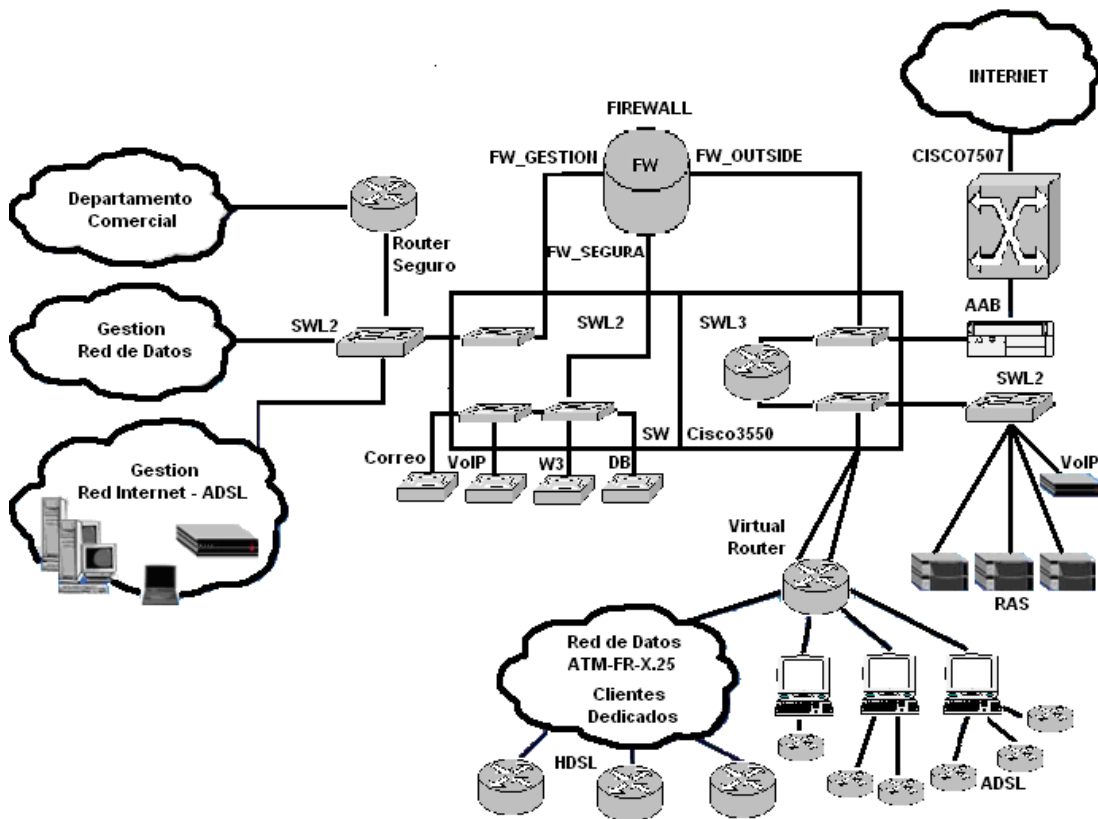


Figura 3.6 Nodo de Internet de EMCALI [1]

Después de autenticado y autorizado, el usuario goza de todos los privilegios de servicios que tenga asociados en su plan de conexión. Estos Servicios de Internet de EMCALI se prestan a través de los siguientes servidores:

- Servidores de Hosting y FTP en sistemas Unix con sistema operativo Solaris 9.
- Servidores de Correo y WebMail con sendmail y Framework de Horde.

La topología de la red actual de Internet esta compuesta por los siguientes equipos:

- Un Switch de Core, el cual integra todos los dispositivos de la Red.
- Un enrutador de Borde CISCO 7507 que conecta el nodo con el backbone de Internet a través de un carrier internacional.

EMCALI presta sus servicios de Internet con equipos como: Servidores de Hosting (Ofreecer) y FTP (Protocolos de Transferencia de Ficheros) en sistemas Unix (sistema operativo de tiempo compartido) con un sistema operativo Solaris 9, Servidores de Correo y WebMail con Sendmail (Agente de transporte de correo). Además de un Switch de Core, el cual integra todos los dispositivos de la Red y un enrutador de Borde CISCO 7507 que conecta el nodo con el backbone (nodo central) de Internet. Adicionalmente, se presta el servicio “Navegue y Hable” mediante el cual los usuarios peden recibir o hacer llamadas de VoIP mientras están navegando, a través de un Gateway de VoIP (MAX 6000 de Lucent) y Gatekeeper (actúa como un conmutador virtual) con protocolo H.323.

3.8 RED DE TRANSMISIÓN

Los nodos de transmisión son multiplexores SDH nivel 2 (STM - 4 a 622 Mbps) marca GPT suministrados por Siemens, los cuales manejan, a nivel de línea, 252 sistemas E1. Cada tramo entre los multiplexores está protegido en configuración 1+1 a nivel de línea óptica STM - 4. A nivel de tributarios eléctricos se manejan interfaces STM -1, PDH - 140 Mbps, E3 y E1. Además se poseen tarjetas de alimentación y conmutación en configuración 1+1.

3.9 ESTÁNDAR UIT-T G.694.2 (UNION INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES)

En la Recomendación G.694.2 se presenta un plan de distribución de longitudes de onda para distancias de hasta aproximadamente 50km por cables de fibra óptica monomodo.

La Recomendación UIT-T G.694.2 se aprobó en virtud del procedimiento de aprobación rápida AAP denominado proceso de aprobación alternativo. En virtud de este procedimiento, cuando una Comisión de Estudio da su consentimiento para aprobar el proyecto de texto de una Recomendación que considera maduro, se inicia un periodo para la formulación de comentarios. A partir del momento del anuncio, el periodo de comentarios duró poco menos de dos meses.

La Recomendación UIT-T G.694.2, la más reciente de la serie, describe los atributos de la capa física de las interfaces ópticas. Entre las demás Recomendaciones de esta serie pueden mencionarse las siguientes:

UIT-T G.691 (2000)	Interfaces ópticas para sistemas STM-64, STM-256 de un solo canal y otros sistemas de la jerarquía digital síncrona con amplificadores ópticos.
UIT-T G.692 (1998)	Interfaces ópticas para sistemas multicanales con amplificadores ópticos.
UIT-T G.693 (2001)	Interfaces ópticas para sistemas intraoficina.
UIT-T G.694.1 (2002)	Spectral grids for WDM applications: DWDM frequency grids.
UIT-T G.957 (1999)	Interfaces ópticas para equipos y sistemas relacionados con la jerarquía digital síncrona.
UIT G.959.1 (2001)	Interfaces de capa física de red de transporte óptica.

Tabla 3.3 Recomendaciones de la UIT-T para WDM

CAPITULO IV

4. NGN (RED DE NUEVA GENERACION) PARA LA RED DE EMCALI TELECOMUNICACIONES

La evolución de la ciudad de Cali entre 1910 - 2005 ha sido muy importante en distintos aspectos, debido al aumento de la población, la cual paso de 23.000 a 2.369.696 habitantes, de 174 a 6.000 hectáreas de expansión, de 3.185 a 409.100 unidades de vivienda entre otros. Uno de los aspectos que ha evolucionado y lo debe seguir haciendo es lo relacionado con las telecomunicaciones, hoy en día EMCALI Telecomunicaciones cuenta con más de 600.000 líneas telefónicas, pero dadas las evidentes limitaciones que se tienen en la red, para las inminentes necesidades de grandes clientes de transmitir señales de voz, datos y videos a altas velocidades con alta confiabilidad, confidencialidad, calidad, seguridad y como complemento del proyecto de la red multiservicios, es determinante para la empresa fortalecer la red de acceso para evitar una pérdida masiva de clientes y hacer frente a la competencia.

Las actuales condiciones de la Red de Fibra Óptica de EMCALI y la creciente demanda de acceso a múltiples servicios, estimulan la elaboración de proyectos basados en la incursión de tecnologías de última generación. Este tipo de tecnologías efectúan un óptimo aprovechamiento del ancho de banda y de las características de la fibra misma, como lo es el caso abordado por la técnica WDM (Multiplexación por División de Longitud de Onda).

Es por eso que un grupo de ingenieros liderados por Eugenio Castro propusieron una solución por medio de WDM, y nosotros ayudamos en la parte técnica, a estructurar esta idea.

Los requerimientos de la empresa son posibles de encarar gracias a la implementación de la RMS (Red Multiservicios) mediante la cual se pretende ampliar 44.800 nuevas líneas más 13.000 puertos ADSL (Línea de Abonado Digital Asimétrica) en una NGN (Red de Nueva Generación) y se reponer 95.232 líneas de la actual PSTN (Red Telefónica Publica Conmutada).

EMCALI, actualmente cuenta con una red PSTN con tecnología de conmutación de circuitos, y se propone evolucionar a una red de nueva generación, basada en paquetes como la red mundial de Internet. Esta nueva estructura de red, próxima a ser implementada, deberá tener alternativas de potenciación con base a tráfico, siendo de gran interés para este trabajo proponer equipos de multiplexación CWDM (Multiplexación por División de Longitud de Onda Aproximada) en lugar de instalar nuevo tendido óptico, con fibras ópticas de 48 hilos.

El interés en la Red de Fibra Óptica del área metropolitana a largo de toda su red troncal y su red de acceso, es el de aprovechar la diversidad de características que muestran la gama de equipos suministrados por los proveedores para un óptimo manejo de ancho de banda. El acceso a múltiples servicios como Internet de gran velocidad exigirá un sistema de conectividad de alto rendimiento que solventará las actuales demandas de servicios de los grandes clientes. Esta nueva red proveerá de una diversidad de servicios de comunicaciones basados en IP (Protocolo de Internet) tales como los servicios de telefonía tradicionales, datos y video.

La migración a una Red Multiservicios se uniría al core (o núcleo) óptico MPLS (Multiprotocolo de Conmutación de Etiquetas), compuesto de tres nodos principales (Colon, San Fernando y Guabito) los que a su vez enlazan tres anillos de switches de red LAN (Red de Área Local) donde se interconectan las UAM (Unidades de Acceso Multiservicio). Esta nueva red permitirá proveer servicios seguros, personalizados, confiables, de buena calidad y acceso fácil para el usuario.

4.1 RED MULTISERVICIOS PARA EMCALI TELECOMUNICACIONES

La implementación de una Red de Nueva Generación se basará en un core o núcleo óptico MPLS, en forma de triángulo que interconectará tres anillos de unidades de acceso multiservicio cada uno con capacidad de 10 Gbps, que sirven como plataforma de integración para aplicaciones e intercambio de servicios, figura 4.1.

Esta nueva red consistiría en:

- Las Unidad de Acceso Multiservicio.
- La red de acceso o red metroethernet.
- El core (núcleo) de paquetes.
- El control o softswitch.
- El gateway de troncales.
- La plataforma de servicios.

Las UAM llamadas también Gateway de acceso, son el conjunto de elementos de software y hardware, ubicados en el nodo de conmutación o en las premisas del cliente que tienen las funciones básicas de conectar a los clientes a través de la red de cobre y de conexión con las centrales TDM (Multiplexación por División de Tiempo) a través de la red de acceso SDH (Jerarquía Digital Sincrona) y/o a la red de paquetes a través de la red acceso, la cual proporcionará a esta red altas prestaciones y seguridad a las fallas; y en caso de salir una estación fuera de servicio de cualquiera de los tres anillos no afectara a las demás, similares a los HUB en Ethernet.

Las UAM envían el tráfico paquetizado de las nuevas líneas POTS (Servicio Telefónico Convencional) y de los nuevos puertos XDSL (Línea Digital de Suscriptor), por la red de acceso hacia la red de paquetes, Se parte inicialmente de la incorporación de las 140.032 líneas POTS (95.232 líneas de reposición y de la ampliación de las 44.800 nuevas líneas, según datos

suministrados por la empresa y esquematizados en la tabla 4.1) en los tres anillos de unidades de acceso multiservicio.

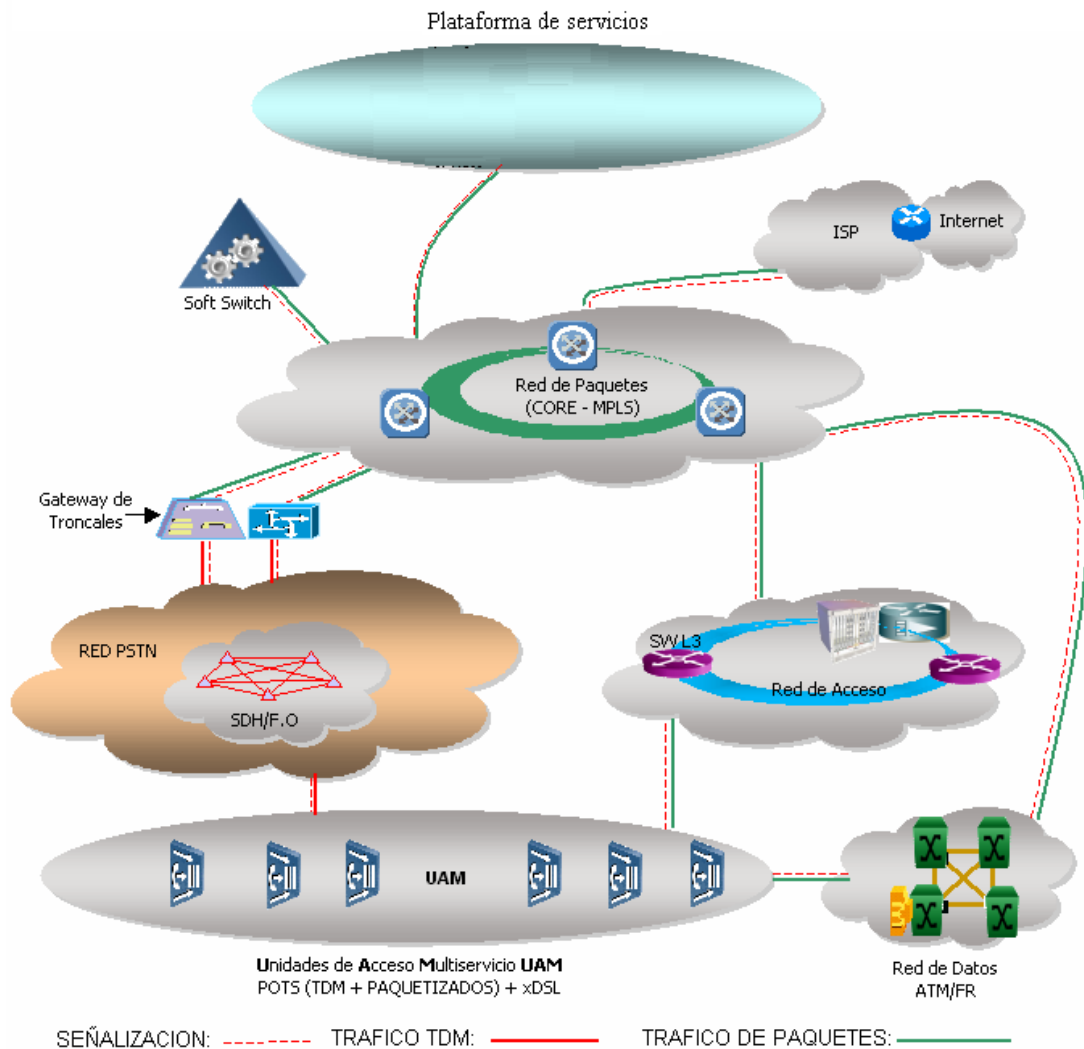


Figura 4.1 Topología de la Red Multiservicios [1]

A las UAM se pueden conectar clientes con diversidad de servicios: clientes de voz, clientes XDSL, clientes RDSI, entre otros. Las UAM conectan y paquetizan el tráfico de las 140.032 líneas POTS y los 13.000 puertos XDSL.

La red de acceso estará conformada por switches con funcionalidades MPLS que se interconectan por medio de los hilos de fibra óptica monomodo, disponibles en la red de fibra actual, configurada en tres anillos, como se indica en la figura 4.2.

4.1.1 Red de acceso y core de paquetes

El control o softswitch manejará el tráfico de voz paquetizado, el tráfico de banda ancha, el tráfico de Internet y el tráfico hacia o desde la red PSTN existente a través del core MPLS según la topología de Red Multiservicios. El softswitch también controla la prestación de servicios para todos los clientes de la PSTN y los clientes conectados a la red de paquetes, además controla la plataforma de servicios.

La conmutación de los paquetes de las UAMs se realiza en la Red de paquetes o núcleo de paquetes, soportado en un anillo de fibra óptica, conformado con switches.

La Red Multiservicios también requiere de un Gateway de Troncales el cual interconectará las líneas existentes de la actual red PSTN con la red de paquetes y/o viceversa. Además también es necesaria una Gateway de señalización para convertir la señalización SSCN7 (Sistema de Señalización por Canal Común Numero 7) de la red PSTN en señalización propia de una red de paquetes y a la inversa.

Los servicios se integran como aplicaciones en una plataforma de servicios y su prestación es controlada por el softswitch, presentando características como: convergencia en una sola red de nueva generación, concentración de servicios en una sola plataforma, gestión integrada de red y de todos los servicios, migración de las líneas de la red PSTN existente hacia la red de nueva generación, prestación de nuevos servicios con mayores exigencias de ancho de banda.

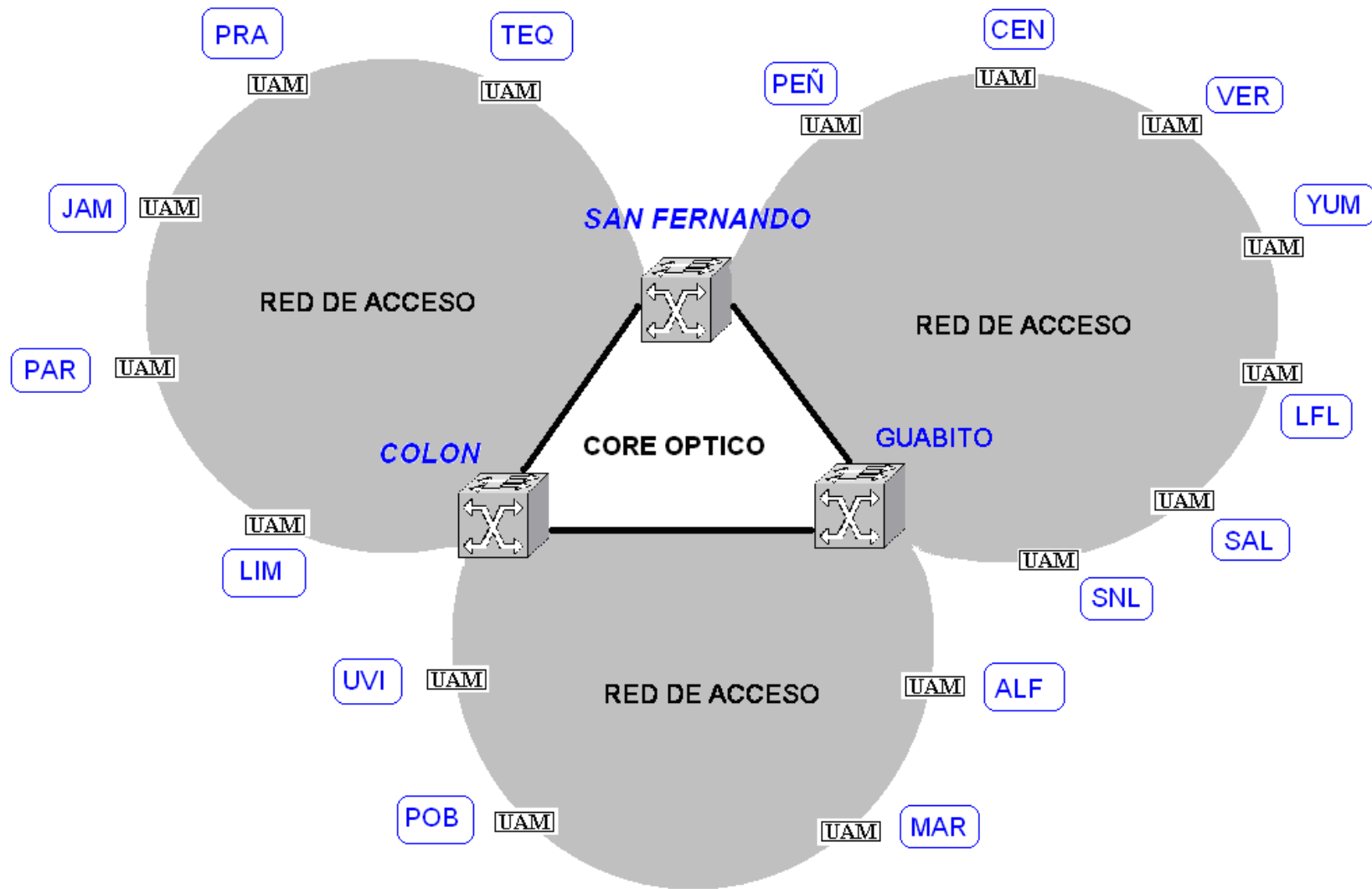


Figura 4.2 Distribución de las UAMs en la red multiservicios

4.1.2 Manejo de tráfico en la red multiservicios

El tráfico paquetizado en las UAM es manejado a través de la red de acceso, hacia la red de paquetes, controlado por el softswitch.

El softswitch también maneja el tráfico hacia otras redes (tráfico local, nacional, internacional, móvil celular, entre otras), y lo enruta por los gateway troncales o hacia el softswitch de otros operadores.

La Gateway de Troncal es la encargada de convertir la troncal de circuitos de la PSTN a paquetes de la red multiservicios, de igual forma la conmutación de paquetes de la RMS a circuitos de la PSTN.

Sumado a esta la Gateway de Señalización convierte la señalización SSCN7 (Sistema de Señalización por Canal Común Numero 7) de la PSTN a paquetes de la red multiservicios y viceversa.

4.2 ANCHO DE BANDA PROYECTADO PARA LA PRIMERA FASE DE MIGRACIÓN

4.2.1 Distribución y ancho de banda en la red multiservicios

La distribución del número de líneas POTS y los puertos ADSL (Línea de Abonado Digital Asimétrica), en UAM se describe a continuación según la potenciación en base a tráfico en sectores de alta demanda de tramos como: Parcelaciones - Jamundi, la Flora - Cencar - Yumbo, Limonar – Parcelaciones, de acuerdo a datos suministrados por la empresa EMCALI – Telecomunicaciones.

La Red de nueva Generación, soportara el tráfico de voz y el tráfico de datos transfiriéndolos a través de la interfaz de enlace ascendente a la Red IP, en donde se incluyen parámetros como el servicio de datos ADSL (Línea de Abonado Digital Asimétrica) y ancho de banda de voz IP (Protocolo Internet).

Las condiciones tomadas por EMCALI con base a requerimientos de tráfico total por abonado es de 0,12 Erlang, para una llamada promedio de 114 segundos.

Para VOIP (voz IP) los equipos ofrecidos en el Mercado soportan recomendaciones de la UIT - T de compresión de voz de G.711 G.723 y G.729. Debido a que la mayoría de ancho de banda es representada por la Norma G.711, se toma esta Norma como la representación de compresión de voz IP mediante la siguiente relación:

$$WVoIP = 0,12 * W * N \quad [4.1]$$

$WVoIP$: Requerimiento de voz IP para el sitio.

W : Requerimiento de ancho de banda del abonado según compresión.

N : Numero total de abonados de VOIP del sitio.

Se tomara G.711 con un muestreo de 5ms, donde W será igual a 164,64 Kbps y el número total promedio por abonado de N igual a 0,12.

Por ejemplo, el nodo de Colon cuenta con 5.800 líneas en ampliación y su ancho de banda en VOIP será:

$$WVoIP = 0,12 * 164,64Kbps * 5.800 = 114,59Mbps \quad [4.2]$$

Los resultados de las anteriores operaciones aplicados al crecimiento del total de los nodos son mostrados en la siguiente tabla:

UBICACIÓN UAM	LINEAS AMPLIACIÓN		LINEAS REPOSICIÓN	
	44.800 Líneas	Ancho de Banda (Mbps)	95.232 Líneas	Ancho de Banda (Mbps)
ALFOLSO LÓPEZ	-	-	2.200	43,46
CENTRO	400	7,90	-	-
COLON	5.800	114,59	18.480	365,11
CONCENTRADORES	-	-	2.600	51,37
DESEPAZ	-	-	5.600	110,64
GUABITO	5.800	114,59	15.432	304,89
JAMUNDI	-	-	4.800	94,83
LA FLORA	9.200	181,76	8.384	165,64
LIMONAR	10.300	203,49	3.812	75,31
MARROQUIN	-	-	1.800	35,56
MONTEBELLO	-	-	400	7,90
PARCELACIONES	800	15,80	-	-
PEÑON	2.000	39,51	-	-
POBLADO	-	-	2.400	47,42
PRADOS DEL SUR	-	-	4.200	82,98
SALOMIA	2.300	45,44	14.884	294,06
SAN LUIS	-	-	2.600	51,37
TEQUENDAMA	8.200	162,00	3.240	64,01
UNION	-	-	2.800	55,32
YUMBO	-	-	1.600	31,61

ANCHO DE BANDA UAM LINEAS AMPLIACIÓN	885,08 Mbps
ANCHO DE BANDA UAM LINEAS REPOSICION	188,48 Mbps
TOTAL (140.032 LINEAS UAM)	2.766,56 Mbps

Tabla 4.1 Distribución y ancho de banda de las 140.032 líneas POTS

Los 13.000 puertos ADSL se distribuyen en 3.500 conectados a UAM de las 95.232 líneas y 9.500 conectados a las UAM de las 44.800 líneas como se ilustra en la tabla 4.2.

Los nodos de Versailles y San Fernando son nodos exclusivos con UAM para puertos ADSL.

El ancho de banda para el servicio de datos es calculado mediante la siguiente formula, según la recomendación G.711:

$$WADSL = W * NADSL / R \quad [4.3]$$

WADSL : Es requerimiento de ancho de banda de ADSL para el sitio.

W : Requerimiento de ancho de banda por abonado. $W = 294$ Kbps según condiciones de EMCALI.

NADSL : Total de número de abonados ADSL para el sitio.

R : Factor de reutilización para abonado. $R = 4$ según condiciones de EMCALI.

NODO	PUERTOS ADSL		
	9.250 Ampliación	3.250 Reposición	500
ALFONSO LOPEZ	-	320	4
CENTRO	370	-	96
COLON	540	-	12
CONCENTRADORES	-	290	4
GUABITO	640	-	24
JAMUNDI	-	510	8
LA FLORA	1.010	-	56
DESEPAZ	-	200	-
LIMONAR	1.490	-	56
MARROQUIN	-	260	4
MONTEBELLO	-	60	4
PARCELACIONES	300	-	4
PEÑON	500	-	16
PRADOS DEL SUR	-	200	-
POBLADO	-	200	-
SALOMIA	560	-	24
SAN FERNANDO	1.310	-	36
SAN LUIS	-	350	4
TEQUENDAMA	1000	-	32
UNION DE VIVIENDA	-	350	4
VERSALLES	1530	-	100
YUMBO	-	510	12
TOTAL	13.000 Puertos		

Tabla 4.2. Distribución de los 13.000 puertos ADSL

La siguiente tabla ilustra el requerimiento de ancho de banda para cada nodo.

NODO	PUERTOS	NORMA G.711 (Kbps)	TOTAL (Mbps)
ALFOLSO LÓPEZ	324	23.814	23,81
CENTRO	466	34.251	34,25
COLON	552	40.572	40,57
CONCENTRADORES	294	21.609	21,61
GUABITO	664	48.804	48,80
JAMUNDI	518	38.073	38,07
LA FLORA	1.066	78.351	78,35
DESEPAZ	200	14.700	14,70
LIMONAR	1.546	113.631	113,63
MARROQUIN	264	19.404	19,40
MONTEBELLO	64	4.704	4,70
PARCELACIONES	304	22.344	22,34
PEÑON	516	37.926	37,91
PRADOS DEL SUR	200	14.700	14,70
POBLADO	200	14.700	14,70
SALOMIA	586	43.071	43,07
SAN FERNANDO	1.346	98.931	98,93
SAN LUIS	354	26.019	26,02
TEQUENDAMA	1.032	75.852	75,85
UNION DE VIVIENDA	354	26.019	26,02
VERSALLES	1.630	119.805	119,81
YUMBO	522	38.367	38,37
TOTAL			955,61

Tabla 4.3 Trafico de las 13.000 puertos ADSL

	TRAFICO (Mbps)
LINEAS POTS	2.766,56
PUERTOS ADSL	955,61
TOTAL (Mbps)	3.722,17

Tabla 4.4 Trafico Total Líneas POTS y Puertos ADSL

Estimando una reserva de ancho de banda del 20% del tráfico total (3.722,17 Mbps), se obtiene un ancho de banda total de **4.466,60 Mbps**.

4.3 LA PROBLEMÁTICA DE LOS LOOPS

La creciente demanda de múltiples servicios para los clientes, los cuales exigen más ancho de banda, hace que los loops de abonado existentes en EMCALI se queden cortos ante los requerimientos de los usuarios. Hacia el futuro cercano, los clientes pedirán conexiones ethernet de varias velocidades para conectar sus propias redes y suplir sus servicios de banda ancha.

EMCALI requiere conectar los loops de abonado como red de acceso a la RMS para lo cual se necesitan segmentos de fibra que conecten los switches entre si, para posteriormente llevar todo su tráfico hasta la red de acceso.

La problemática que poseen los loops de abonado radica en la escasez de fibra óptica que permita formar diferentes topologías entre los usuarios de la RMS; por ejemplo, si se desea conformar pequeños anillos de baja capacidad no habría posibilidad de obtenerlos debido a que en algunos tramos los hilos de fibra óptica ya están ocupados, como se ilustra en la siguiente tabla.

Loop	Tramos sin disponibilidad de fibra óptica
Limonar	Con: La 14, Holguines, Mapfre, Epsa, Coomeva.
Acopi	Con: Centroempresa, Centelsa, Tecnoquimicas, Hoescht. Tecnoquimicas con: Unipapel, Jhonson, Carvajal.
Centro	Con: Tecnoquimicas, Icollantas, Policia, Electricos del Valle, Colombina, El pais, Banco Santander.
Parcelaciones	Con: Colegio Berchmans.
Salomia	Con: La 14.
San Fdo	Con: Centro Medico Imbanaco, Telepacifico, Almacenes Éxito.
Versalles	Con: Bansuperior, Andinet, Bancoaliadas, Infivalle, Fiscalia, Granahorrar, Clinica los Remedios, People Online, Colomsat, Carvajal, Chipichape Plaza, Chipichape Portal, San Vicente, Orbitel, Telesat, Cruz Blanca, Citibank, Eficacia.

Tabla 4.5 Escasez de fibra óptica en los loops de abonado

De igual forma los grandes clientes que abastecerían la RMS a través de la red de acceso no están exentos a la escasez de enlaces por inexistencia de fibra óptica entre ellos.

Para la solución base sería conectar los usuarios de los loops de abonado por medio de un par de hilos de fibra óptica para llegar a la red de paquetes lo que implicaría grandes inversiones en cables de fibra óptica y en personal de operación y mantenimiento. Sin embargo, creemos que hacia futuro, a medida que la migración de los clientes hacia la red de paquetes continúe, la solución con base al aumento de fibra óptica entre tramos no sería una buena opción.

4.4 SOLUCIÓN CON EQUIPOS CWDM EN LOS TRES ANILLOS DE LA RED DE ACCESO Y EL CORE

El propósito es presentar una alternativa de solución de interconexión entre switches de la red de acceso y red de paquetes a través de equipos CWDM que permitirán en un futuro manejar los anchos de banda exigidos para una próxima fase de migración.

Los equipos CWDM están capacitados para aumentar la capacidad de ancho de banda de los tres anillos ópticos propuestos actuales, proporcionando una configuración inicial de 8 longitudes de onda y la posibilidad de ser configurados a 16 longitudes de onda.

La siguiente figura indica como el tráfico de los nodos dentro de cada anillo CWDM se entregara en partes iguales a dos de las tándem que conforman el core MPLS, y estas a su vez se comunican con nodos de los otros dos anillos o de su mismo anillo.

Esta opción proporciona un recorrido de la información entre los nodos sin obstáculos, brindando seguridad y alta eficiencia a una segunda fase de migración de la red actual posibilitando la comunicación de cualquier UAM de un anillo con su destino específico de otra UAM elegida.

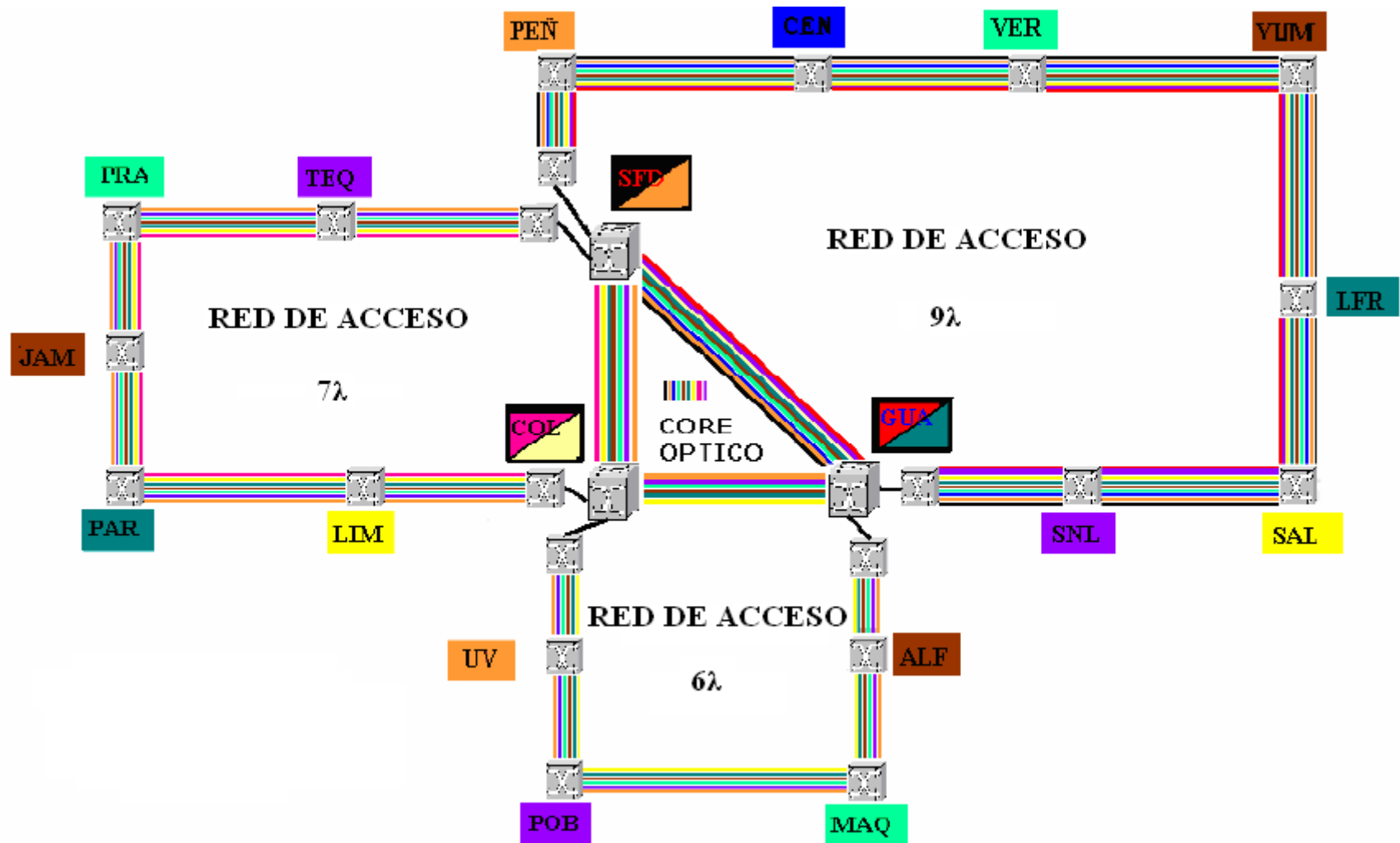


Figura 4.3 Distribución de Hilos de fibra óptica

Este método proporciona un sistema de protección al momento de la comunicación al permitir que cada nuevo nodo se enlace con dos de las tandem MPLS, siendo cada uno de los nodos, los que tengan probabilidad de acceder en comunicación a los nodos destino de los otros dos anillos.

El destino de una comunicación de cualquier nodo puede ser uno de los nodos que conforman los tres anillos de UAMs como puede ser un destino de otro nodo de otra gateway de troncal de otra ciudad o un destino de telefonía móvil.

En caso de sufrir ruptura un tramo de fibra óptica de un nodo en cualesquiera de los tres anillos de UAMs, su tráfico será enrutado a una tandem del core MPLS hasta un nodo destino, actuando como un sistema de protección.

Gracias al beneficio de la multiplexación, con los equipos CWDM se cubre la necesidad de ancho de banda y se evita la incursión de nuevo tendido de fibra óptica, pudiendo comunicar en forma directa cada nodo con el core óptico y con la demás red de acceso.

CWDM es adaptable a aplicaciones de creciente demanda en ambientes LAN, MAN. Considerando las 10 Gbps que posee cada anillo de UAMs es el mejor atractivo de aplicación en las redes metropolitanas y las aplicaciones relativas al acceso. CWDM puede utilizarse como una plataforma integrada para numerosos clientes, servicios y protocolos destinados a pequeños y grandes clientes en la ciudad de Cali.

A continuación se ilustra gráficamente para un anillo la conexión de las UAMs a los switches y de estos a los equipos CWDM, cabe anotar que el anillo ilustrado corresponde al conformado por los nodos: Colon, Guabito, Alfonso López, Marroquín, Poblado, Unión de Vivienda.

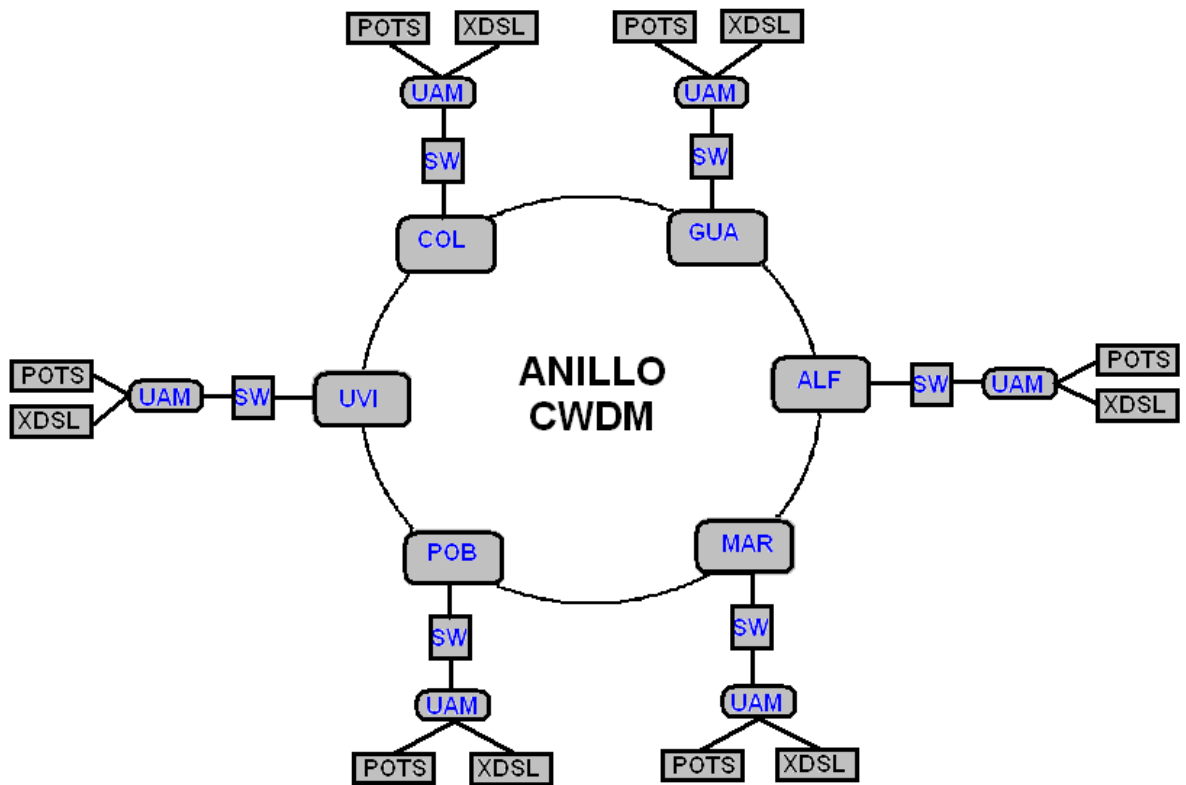


Figura 4.4 Conexión de equipos en el anillo CWDM

De manera similar se realiza la conexión entre UAMs, Switches y equipos CWDM para los dos anillos restantes.

4.5 SOLUCIÓN PARA CLIENTES DE LOS LOOPS DE ABONADO

La red de Acceso para Grandes Clientes de EMCALI está conformada por anillos de fibra óptica con multiplexores ADM-1 (Multiplexor de Transporte Síncrono), los cuales operan a la velocidad de 155 Mbps. Estos equipos están instalados en las premisas de los clientes, a través de los cuales se interconectan los conmutadores o enrutadores a la velocidad de 2 Mbps por medio de E1's o accesos primarios RDSI (Red Digital de Servicios Integrados) hasta la respectiva central telefónica.

En la solución propuesta los ADM-1 se conectarán a los multiplexores de CWDM ofrecidos por sus interfaces de STM-1, manteniendo el mismo esquema actual de operación. Los Multiplexores CWDM se encargarán de transportar la información del Loop o anillo de acceso hasta el equipo de borde utilizando únicamente un par de hilos de fibra óptica.

4.5.1 Solución para clientes mediante equipos CWDM

Según las actuales condiciones de demanda de interfaces Ethernet o IP se propone conectar a estos clientes en los nodos más cercanos por medio de un Switch Fast Ethernet, el que a su vez se conecta a un Multiplexor CWDM más cercano por una troncal GigaEthernet. El Mux CWDM transportará todo el tráfico de estos clientes utilizando una segunda longitud de onda.

La actual red PSTN de EMCALI, presenta tráfico en anillo y estrella, este ultimo conectado a conmutadores de terminales de 1,2 y hasta 4 E1's, además de enlaces PDH operados a velocidades de 2 y 10 Mbps.

Esta solución requeriría de disponibilidad de E1's en los tramos donde se encuentran los clientes y disponibilidad de hilos de fibra óptica, además de implicar soluciones puntuales para clientes puntuales.

Ahora bien, existen tramos en la red donde la fibra instalada no posee hilos libres. Esto plantearía la necesidad de adquirir fibra óptica, pero si se implementase una estructura CWDM no habría necesidad de invertir en más fibra puesto que con la gran capacidad que presentan los multiplexores CWDM se podría aprovechar mejor la fibra ya instalada.

Existe en el mercado equipos de bastante afinidad para la implementación de esta propuesta por el bajo costo que estos presentan, tal es el caso del equipo TDM COP-FE de la marca Pandatel de Alemania, el cual es un multiplexor habilitado para transmitir servicios de voz y datos sobre redes de

paquetes conmutadas PSTN, como Ethernet, IP, MPLS. Este equipo es una poderosa alternativa a la VoIP, por ser menos costosa, menos compleja y fácil de implementar al momento de brindar a los clientes de EMCALI los servicios de acceso de hasta 4 E1's y hasta 2 interfaces Ethernet o IP sobre un único enlace de fibra óptica el cual se integra fácilmente a un switch Fast Ethernet más cercano y puede terminar en un punto remoto de la red dentro del mismo anillo o en otro anillo de acceso.

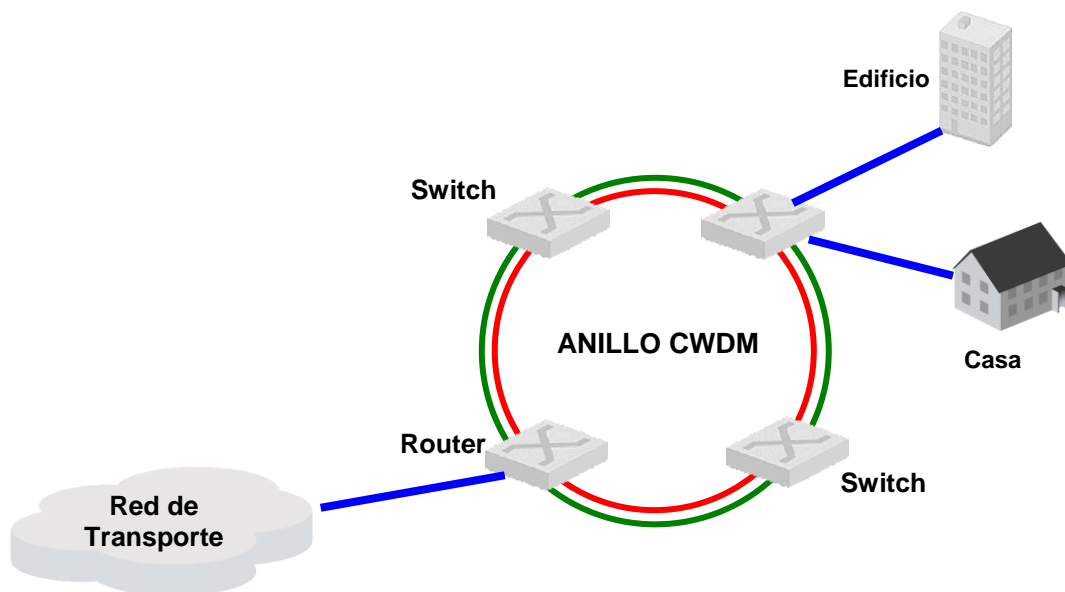


Figura 4.5 Solución propuesta para EMCALI

Ahora, EMCALI también cuenta con grandes clientes que son enlazados a través de multiplexores ADM - 1 (con velocidades de 155 Mbps), para este tipo de usuarios se propone conectar las interfaces STM - 1 de los ADM - 1 a un multiplexor de CWDM acoplándose con el actual esquema de operación.

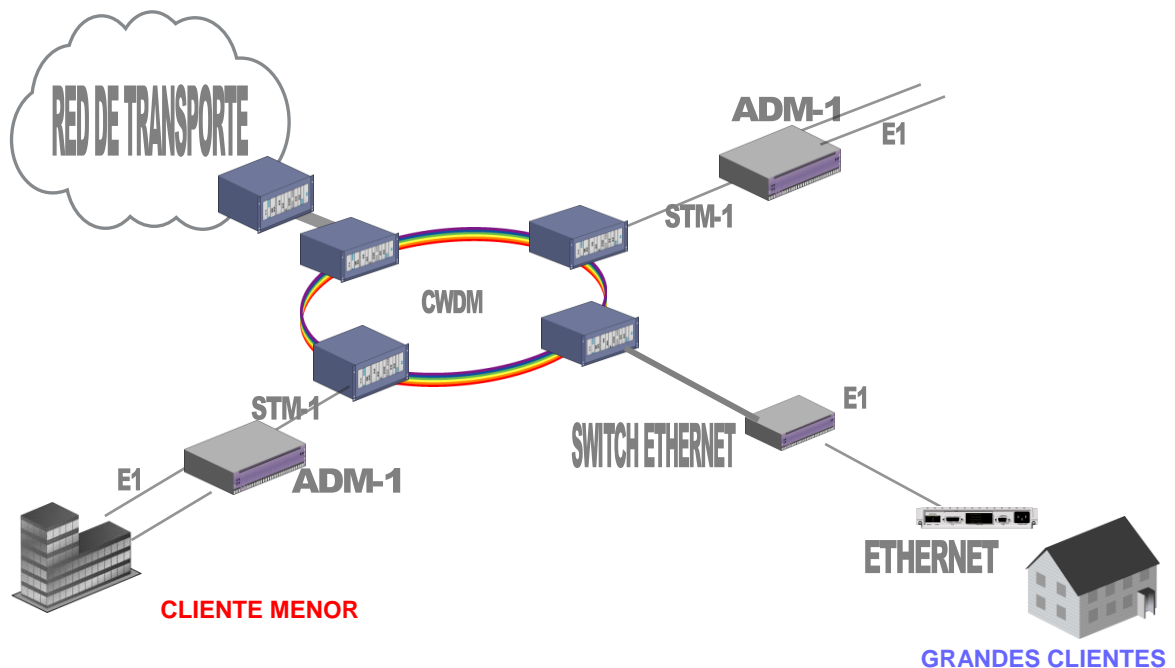


Figura 4.6 Integridad de elementos de solución para EMCALI

Las propiedades descritas para la técnica de equipos CWDM en el segundo capítulo estimulan su implementación en la red de fibra óptica. Además debido a que se tiene proyectado una segunda fase de migración de 184.838 líneas POTS y 10.402 puertos XDSL para los próximos 5 años, la mejor opción para no ser limitados en los 10 Gbps de cada anillo de UAM es la implementación de equipos CWDM en afinidad de configuración DWDM.

Para nuestra arquitectura de red metropolitana, se propone el equipo COP-FE de Pandatel, debido a su bajo costo y a las múltiples aplicaciones que ofrece a la hora de intercambiar información, ya que no necesita etapas de amplificación durante la transmisión de la señal óptica, y además es un equipo que cumple con recomendaciones de la UIT - T (Unión Internacional de Telecomunicaciones) para el desarrollo de redes de fibra, y puede soportar hasta 8 longitudes de onda.

La satisfacción del cliente de EMCALI se logra brindándole con la red multiservicios el servicio que quiera, como lo quiera, donde lo quiera y cuando lo quiera, para ello los profesionales responsables de este proceso deben ser capacitados por el oferente en aprovisionamiento del servicio, desarrollo del producto, generación de valor: marca, precios, planes, paquetes, promoción, ventas, posventa, básico de operación y mantenimiento, entre otros, para que apliquen los conocimientos, interpreten los requerimientos del servicio, implementen, realicen la conexión y puesta a punto del servicio de la red multiservicios a los clientes con calidad.

El oferente debe especificar los cursos de capacitación objetivos, alcance, descripción, contenidos, practicas, metodología, intensidad horaria y cantidad de participantes.

4.6 ANCHO DE BANDA PROYECTADO PARA LA SEGUNDA FASE DE MIGRACIÓN

Debido a la creciente demanda que cada vez se hace presente por parte de los usuarios de la Red PSTN, cabe preguntarse: ¿que pasaría si EMCALI ampliara su número de líneas POTS y puertos XDSL?, ¿la Red de 10 Gbits resistiría este nuevo tráfico?, ¿sería suficiente el uso de equipos CWDM?

Dado que EMCALI proyecta para los próximos años migrar todas sus líneas PSTN a la red de nueva generación y consolidar una gran red metropolitana totalmente paquetizada, en este estudio se analizó la red multiservicios con el supuesto de 184.838 nuevas líneas y 10.402 puertos XDSL, calculando el ancho de banda que esta futura proyección generaría.

A la segunda fase de migración supuesta para EMCALI se aplica la recomendación G.711, de igual forma que en los cálculos de ancho de banda para la primera fase de migración (140.032 Líneas POTS).

NODO	Líneas proyectadas	Ancho de Banda Mbps
ALFOLSO LÓPEZ	2.904	57,37
CENTRO	528	10,43
COLON	32.049	633,18
CONCENTRADORES	3.432	67,80
DESEPAZ	7.392	146,04
GUABITO	28.026	553,70
JAMUNDI	6.336	125,18
LA FLORA	23.210	458,55
LIMONAR	18.627	368,01
MARROQUIN	2.376	46,94
MONTEBELLO	528	10,43
PARCELACIONESS	1.056	20,86
PEÑON	2.640	52,16
POBLADO	3.168	62,59
PRADOS DEL SUR	5.544	109,53
SALOMIA	22.682	448,12
SAN LUIS	3.432	67,80
TEQUENDAMA	15.100	298,33
UNION	3.696	73,02
YUMBO	2.112	41,73
TOTAL		3.651,77

Tabla 4.6 Distribución y ancho de banda de 184.832 líneas POTS

La segunda fase de migración tiene una distribución y un ancho de banda calculado según la recomendación G.711 para 10.402 puertos XDSL.

NODO	PUERTOS PROYECTADAS	TOTAL (Mbps)
ALFOLSO LÓPEZ	259	19,04
CENTRO	373	27,42
COLON	442	32,49
CONCENTRADORES	235	17,27
GUABITO	531	39,03
JAMUNDI	414	30,43
LA FLORA	853	62,69
DESEPAZ	160	11,76
LIMONAR	1.237	90,92
MARROQUIN	211	15,51
MONTEBELLO	51	3,75
PARCELACIONES	243	17,86
PEÑON	413	30,35
PRADOS DEL SUR	160	11,76
POBLADO	160	11,76
SALOMIA	469	34,47
SAN FERNANDO	1.077	79,16
SAN LUIS	283	20,80
TEQUENDAMA	826	60,71
UNION DE VIVIENDA	283	20,80
VERSALLES	1.304	95,84
YUMBO	418	30,72
TOTAL		764,54

Tabla 4.7 Tráfico de los 10.402 puertos ADSL

4.6.1 Tráfico de televisión

El estándar MPEG-4: Es un algoritmo de comprensión de video, soporta incluso las aplicaciones con menor consumo de ancho de banda, tales como los teléfonos móviles, pero también sirve para imágenes de alta calidad y aplicaciones de ancho de banda casi ilimitado. Actualmente las películas se comprimen empleando MPEG-4.

4.6.2 Cálculo del Ancho de Banda para TV

Como el estándar MPEG-4 hace que la substracción tenga lugar a una frecuencia igual a la que la imagen en la pantalla de la televisión es

actualizada, (algo así como el gasto en ancho de banda esta en relación a la frecuencia del canal que se esta presentando en la pantalla).

Para efectos del cálculo de ancho de banda en TV se toma la recomendación MPG4 la cual posee la habilidad de manejar bajas tasas de bits permitiendo la transmisión de corrientes de MPEG-4 utilizando el transporte de MPEG-2. o también puede ser entregado punto a punto sobre una red IP.

En un nivel MPG-4 simple escalable con un pixelazo de 352X288 para una tasa de transferencia de 2 Mbps por canal en recepción, según al tabla 6.3. La red de paquetes de EMCALI prestará el servicio de IPTV con una galería 80 canales, los cuales a un gasto individual de 2 Mbps suman un ancho de banda de 160 Mbps que circula en la actual Red multiservicios.

El ancho de banda total para la segunda fase de migración de las 184.838 líneas POST y los 10.402 puertos XDSL se describe en la tabla 6.4.

En la primera proyección realizada para EMCALI (proyecto de las 140.032 líneas y 13.000 puertos XDSL) se obtiene un tráfico estimado de 3.722,17 Mbps, ahora con una nueva proyección de 184.838 líneas y 10.402 puertos XDSL más el tráfico de IPTV para 80 canales calculado en la anterior tabla que es de 4.576,31 Mbps.

Norma G 7.11	Nueva Proyección	TRAFICO (Mbps)
LINEAS POTS	184.838	3.651,77
PUERTOS xDSL	10.402	764.54
TRAFICO DE TV	80 canales de IPTV MPG4	160
TOTAL (Mbps)		4576,31

Tabla 4.8 Trafico total para una nueva proyección

El tráfico total de las dos proyecciones sería de 3.722,47 Mbps más 4.576,31 Mbps que suman 8.298,48 Mbps, ahora más una reserva del 20% se tendría un tráfico estimado de 9.958 Mbps, que no supera el ancho de banda de 10 Gbps que presenta la red de paquetes pero permite pensar en una nueva alternativa de solución para aumentar el ancho de banda en la red de acceso y en la red de paquetes de EMCALI.

A medida que este proceso de paquetización continua, los equipos deberán tener mayor capacidad de transmisión con lo que es conveniente implantar equipos DWDM, lo que afirmaría una alternativa de primera introducción en la potenciación con base a equipos CWDM capaces de ser configurados en DWDM.

Además, como se mostró en capítulo 3, con la migración total de las 600.187 líneas a tráfico de paquetes y considerando el crecimiento habitual que una ciudad como Cali presenta, se deberá pensar en los efectos degradantes que generaría el aumento de ancho de banda por los múltiples servicios ofrecidos sin potenciar el backbone IP.

4.7 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO CWDM RECOMENDADO

Los equipos CWDM varían en cuanto a precio dependiendo del fabricante, la tabla siguiente muestra la relación costo/fabricante de algunos equipos comparados con nuestro equipo recomendado COP-FE de Pandatel.

EMPRESA	DESCRIPCIÓN	PRECIO
PANDATEL	COP-FE	US\$11.960,00
ZHONE TECHNOLOGY	GIGAMUX 3200	US\$14.400,00
LOOP TELECOM	SWITCH FAST ETHERNET IP6900	US\$14.400,00

Tabla 4.9 Relación Costo/Fabricante de Dispositivos Mux/Demux CWDM

[3]

4.7.1 Dispositivo COP-FE (Circuito Emulador sobre el interruptor de redes de paquetes con Ethernet Veloz).

Son multiplexores habilitados para transmitir servicios de voz y datos sobre redes de paquetes conmutadas PSTN, como Ethernet, IP, MPLS.

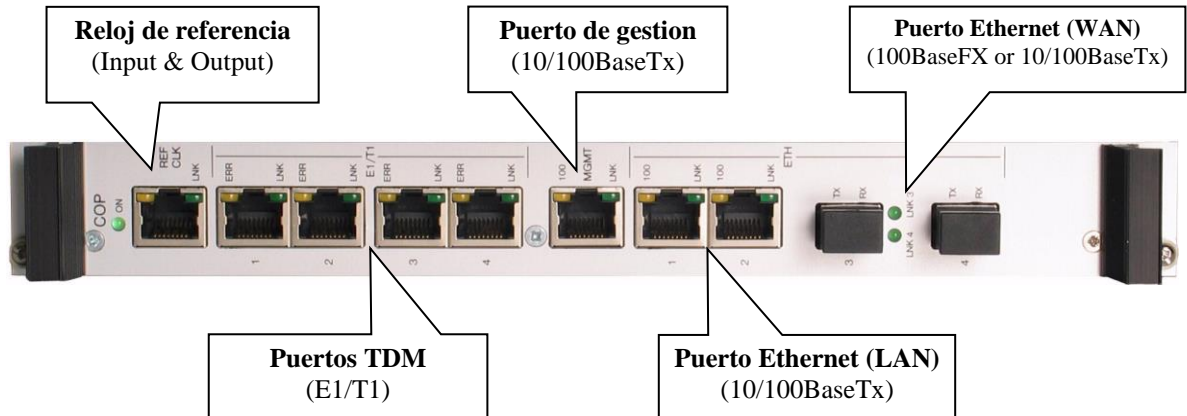


Figura 4.7 Descripción del equipo multiplexor COP-FE [3]

La voz sobre IP no es la única forma de transmitir voz sobre las redes de paquetes. COP-FE, ha demostrado ser una poderosa alternativa a la VoIP, por ser menos costosa, menos compleja y fácil de implementar, adicionalmente soporta más aplicaciones sobre un amplio rango de redes de paquetes garantizando la calidad del servicio de los carriers hacia el usuario final. COP-FE es la línea de producto en la que Pandatel ha implementado la técnica CWDM.

CARACTERISTICA	DESCRIPCION
Capacidad de Puertos TDM (E1´s)	Hasta 4 E1 puede transporta sobre una PSN
Interfaces Ethernet Eléctricas	Hasta 4 puertos 10/100BaseTX
Interfaces Ethernet Opticas	Hasta 2 puertos 100BaseFX con transceiver SFF
Reloj Externo	Una interfaz para reloj Externo de 2 MHz
Arquitectura de Red – Tipo de Conexiones	Punto a Punto, Punto Multipunto
Administración	Administración via SNMP, CLI o WEB Browser
Interfaz Para Administración	1 Puerto 10/100BaseTX
Estándares de Túneles para TDM soportados	CES over PSN (Draft – IETF) SATOP over Ethernet (Draft – IETF) TDM over IP (Draft – IETF) TDM over MPLS (UIT-T 1413/1414) Further standards (e.g. MEF, UIT-T)
CARACTERISTICA	DESCRIPCION
Capacidad de Puertos TDM (E1´s)	Hasta 4 E1 puede transporta sobre una PSN
Interfaces Ethernet Eléctricas	Hasta 4 puertos 10/100BaseTX
Interfaces Ethernet Opticas	Hasta 2 puertos 100BaseFX con transceiver SFF
Reloj Externo	Una interfaz para reloj Externo de 2 MHz
Arquitectura de Red – Tipo de Conexiones	Punto a Punto, Punto Multipunto
Administración	Administración via SNMP, CLI o WEB Browser

Tabla 4.10 Especificaciones Técnicas del COP-FE [3]

4.7.1.1 Condiciones ambientales y requisitos de energía

La gama de temperaturas de funcionamiento está entre 32°F a 122°F (0°C a 50°C). La tabla 4.9 describe los detalles de interfaz de la corriente eléctrica y la tabla 4.10 describe algunos parámetros ópticos.

Parámetro	Símbolo	Mínimo	Típico	Máximo	Unidades
Corriente de la fuente	I_s		280	350	MA
Voltaje máximo	$V_{\text{máximo}}$			6	V
Corriente de entrada	I_{entrada}			400	MA
Voltaje de entrada	V_{cc}	4.75	5	5.25	V

Tabla 4.11 Datos de la interfaz de la corriente eléctrica [3]

Parámetro	Símbolo	Mínimo	Típico	Máximo	Unidades	Notas
Dependencia de la temperatura de la longitud de onda			0.08		nm/° C	
Energía óptica de salida del transmisor	$P_{\text{hacia fuera}}$	+1.0	+3.0	+5.0	dBm	Energía media en fibra monomodo
Energía de entrada óptica del receptor BER < 10^{-9}	P_{adentro}	-31.0	-33.0	-7.0	dBm	a 1,25 Gbps, 140° F (temperatura de caso de 60° C)
Energía de entrada óptica del receptor BER < 10^{-12}	P_{adentro}	-29.0	-33.0	-7.0	dBm	a 1,25 Gbps, 140° F (temperatura de caso de 60° C)
Longitud de onda óptica de entrada	λ_{en}	1450		1620	Nm	
Pérdida por dispersión en 60 km				2	DB	

Tabla 4.12 Parámetros ópticos [3]

4.8 DESCRIPCIÓN DE OTROS EQUIPOS

4.8.1 Equipo switch fast Ethernet IP6900

El switch Loop-IP6900, es un dispositivo inteligente de alto desempeño que soporta funciones de Gestión y Administración por WEB. Existen dos modelos uno con configuración fija de 24 puertos 10/100BaseTX más un sitio

de Expansión para puertos 100BaseFX, y otro modelo que es completamente modular y puede soportar hasta 3 Módulos de 8 puertos 10/100BaseTX o 100BaseFX más 2 puerto GigaEthernet o las diversas combinación de estos.



Figura 4.8 Dispositivo LOOP-IP6900 [3]

El Loop-IP6900 es un switch diseñado para aplicaciones de cualquier clase de redes, puede ser utilizado en redes tipo metro ethernet o donde se requiera de características de calidad de servicio, limitación de ancho de banda y priorización de ciertas tareas, que le permiten a los proveedores de servicios proveer y soportar aplicaciones de voz y video sobre la red conmutada.

Los diferentes módulos que soporta el IP-6900 son:

Loop-IP 6900-100FM-8SC 8-port 100BaseFX MMF Module

Loop-IP 6900-100FS-8SC 8-port 100BaseFX SMF Module

Loop-IP 6900-100T-8TX 8-port 10/100BaseT Module

Loop-IP 6900-1000LX-1SC 1-port 1000BaseLX SMF Module

Loop-IP 6900-1000SX-1SC 1-port 1000BaseSX MMF Module

Loop-IP 6900-1000T-1TX 1-port 100/1000BaseTX Module

A continuación se resumen las especificaciones técnicas más importantes de Loop-IP6900:

ESPECIFICACION TECNICA	DESCRIPCION
CARACTERISTICAS BASICAS	
Modo de Comunicación	Full / Half Duplex
Puertos	Hasta 24 puertos + 2Giga (Módulos de 8 puertos)
Dimensiones	440 x 254 x 44 (mm)
Entrada de Potencia	100~240VAC, 50/60Hz
Filtro y Rata de reenvío	Velocidad de Línea
Control de Flujo	Back pressure for Half Duplex, IEEE802.3x for Full Duplex
Display, LED	Por Puerto, Enlace, Actividad, FDX, Colisiones, Dispositivo, Potencia
Temperatura de Operación	En operación estándar 0 a 50°C
Humedad	5% a 95% No condensada
SOPORTE DE ADMINISTRACION	
Sistema de Configuración	Fuera de Banda: Consola
Algoritmo Spanning Tree	IEEE 802.1D
Funciones de VLAN	Basada en Puerto / 802.1Q-Tagged, con funciones GVRP
Calidad de Servicio (QoS)	4 Niveles de Transmisión de prioridades
INTERNETWORKING PROTOCOLS	
Bridging	802.1P/Q – GARP/GVRP
Enrutamiento Interno	RIP / RIP-2 / DHCP – Relay
IP Multicast	IGMP Snooping Pakect Filtering

Tabla 4.13 Especificaciones técnicas del Loop-IP6900 [3]

4.8.2 Multiplexor CWDM Gigamux 3200

El GigaMux 3200 es un sistema de transporte óptico que le ofrece a las redes un completo rango de interfaces de transporte de todas las capacidades. Puede soportar simultáneamente el uso de CWDM y DWDM para transporte y diversas arquitecturas de red como punto a punto, OADM (Multiplexor

Óptico de Adición - Extracción) lineal y configuración en anillo, soportando distancias hasta 250 Km.

El GigaMux permite transportar o extender el tráfico de una red SDH, Ethernet, debido a su diseño independiente de protocolo.

El GigaMux 3217 es un chasis de 17 ranuras, con una fuente de potencia y CPU redundante, diseñado para ser instalado en el End User (Usuario Final). Puede trabajar en configuración punto a punto, o anillo, puede soportar hasta 8 longitudes de ondas CWDM o una combinación de CWDM y DWDM, que le permite mayor escalabilidad, hasta 20 longitudes de onda.

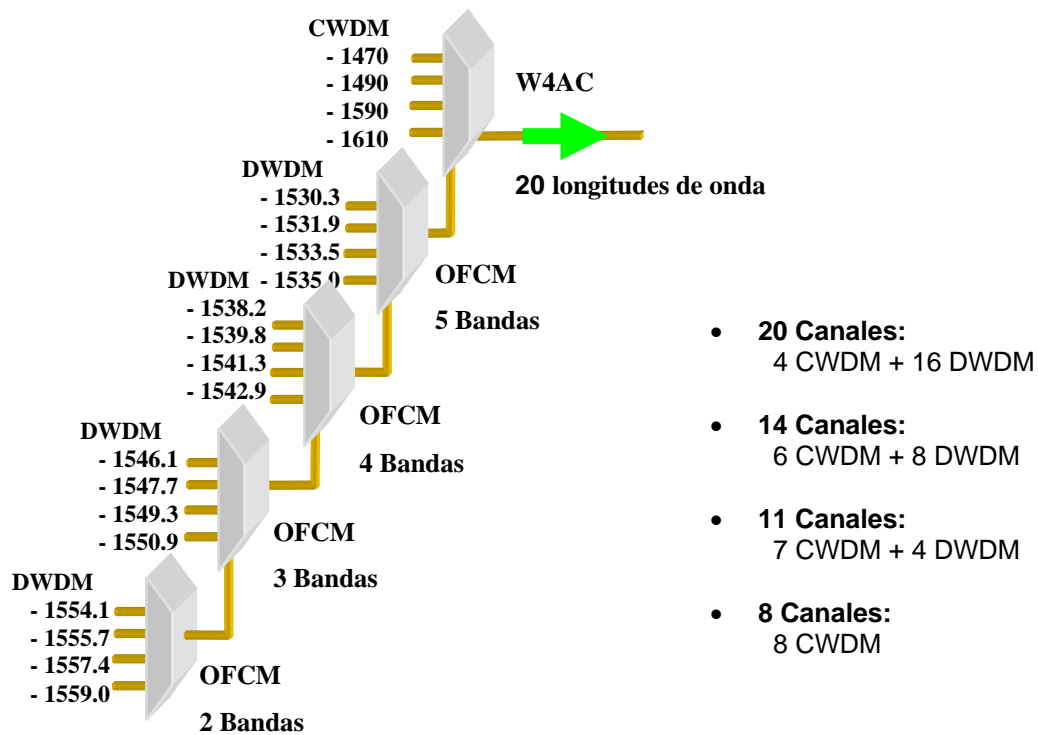


Figura 4.9 Combinación CWDM / DWDM [3]

El GigaMux puede ser gestionado utilizando GigaView, un software de administración grafica. Esta interfaz es usada para monitorear y configurar los elementos de red GigaMux con sus respectivos módulos instalados.

CONCLUSIONES

- Se lograron identificar todos los elementos que intervienen en la actual red de telecomunicaciones de EMCALI instalados en los nodos distribuidos en toda el área de cobertura de las Empresas Municipales de Cali (Municipios de Cali, Yumbo y Jamundi).
- Aprovechando las características de los equipos CWDM se puede utilizar el ancho de banda disponible en la fibra óptica, los cuales combinan varias señales para transmitir las a través de esta.
- La plataforma SDH tiene utilizados la gran mayoría de hilos de fibra existentes y si se utiliza la potenciación con equipos CWDM permitirá liberar hilos de fibra para otras aplicaciones e incrementar enormemente el ancho de banda.
- La capacidad de 10 Gbps que poseen cada uno de los tres anillos es suficiente para soportar al ancho de banda de servicios como VoIP y datos XDSL por lo cual satisfacen la primera y segunda fase de migración.
- La interconexión de tramos de escaso número de longitud de onda por medio de equipos CWDM, prepara a la RMS para seguir creciendo en el propósito de una red totalmente paquetizada.
- Con la implementación de equipos CWDM se evita ampliar nuevo tendido óptico en la red de área metropolitana de la ciudad de Cali.

En cuanto a recomendaciones podemos sugerir las siguientes:

- Teniendo en cuenta que una red CWDM ofrece un gran ancho de banda, la futura red de EMCALI Telecomunicaciones podría tomar ventaja de esta tecnología para prestar nuevos servicios y/o mejorar los existentes.

- Antes de contactar a los proveedores, se debe tener claro que es lo que se va a necesitar de ellos, porque estos son muy celosos a la hora de suministrar información.

- Se debe contactar a los proveedores con mucha anticipación para que la información que se requiere, como ejemplo para nuestro caso equipos CWDM, llegue a tiempo.

GLOSARIO

ADSL: (Asymmetric Digital Subscriber Line - Línea de Abonado Digital Asimétrica). Tecnología que permite efectuar transmisiones con gran anchura de banda por líneas telefónicas convencionales para el acceso de los abonados a aplicaciones basadas en multimedios. Como vídeo a la carta.

ABONADO: Persona que cuenta con un aparato telefónico conectado a una central telefónica

ANCHO DE BANDA: Gama de frecuencias que se ubican entre una frecuencia máxima y una frecuencia mínima.

ATM: (Asynchronous Transfer Mode - modo de transferencia asíncrono). es una tecnología de conmutación y multiplexado de alta velocidad, usada para transmitir diferentes tipos de tráfico simultáneamente, incluyendo voz, vídeo y datos.

BANDA ANCHA: Capacidad de transmisión cuya anchura de banda es suficiente para la transmisión combinada de señales vocales, de datos y vídeo.

CARRIER: Empresas que ofrecen servicios de telecomunicaciones y transporte de datos entre ciudades.

CWDM: (Coarse Wavelength Division Multiplexing – Multiplexación por división de longitud de onda aproximada). Una de las técnicas de la tecnología WDM.

DEMÚLTIPLEXACION: Proceso aplicado a una señal compuesta formada por multiplexación para recuperar las señales independientes originales o grupos de esas señales.

DWDM: (Dense Wavelength Division Multiplexing - Multiplexación por división de longitud de onda densa). Una de las técnicas de la tecnología WDM.

ERLANG: Unidad internacional de tráfico telefónico, se le denomina Erlang en reconocimiento al matemático danés A. K. Erlang, fundador de la teoría de tráfico telefónico. Un Erlang representa un circuito ocupado por una hora.

ETHERNET: Red local de trabajo, en forma de bus, que soporta una velocidad de 10 Mbit/s.

FAST ETHERNET: Red local de trabajo que soporta una velocidad de 100 Mbit/s.

GIGABIT ETHERNET: Extensión dentro de la familia Ethernet, facilitando una velocidad de 1 Gbit/s, plenamente compatible con las otras dos opciones. Ethernet y Fast Ethernet.

HDSL: (High bit rate Digital Subscriber Line - Línea de abonado digital de alta velocidad binaria). Esta es una más de las tecnologías de la familia DSL, las cuales han permitido la utilización del clásico bucle de abonado telefónico, constituido por el par simétrico de cobre, para operar con tráfico de datos en forma digital.

HUB (CONCENTRADOR): Elemento o armario, sobre el que se interconectan los distintos tipos de cableados, utilizados en una red de cableado. En él se concentran, por tanto, el conjunto de red extendida y que agrupa a todos los terminales y puestos integrados en la misma.

IP (Internet Protocol): Protocolo sobre el que se basa el encaminamiento de paquetes, método de comunicación utilizado en Internet.

ISP (Proveedor de servicios internet): Proveedor de servicios de acceso a Internet, como característica fundamental, en su práctica

totalidad. Habitualmente, no se limitan a dar tan sólo servicio de acceso, sino que facilitan otros servicios, como cuentas de correo o alojamiento de páginas web en su servidor.

LAN: Local Area Network - red de área local). Red de alta velocidad que interconecta computadores de oficina.

MODEM: Dispositivo que transforma una señal digital en analógica, y viceversa. La denominación típica es la modulador de modulaciones, lo cual permite realizar el circuito analógico-digital-analógico, pudiendo recibirse en terminales analógicos señales digitales, gracias a la conversión indicada.

MULTIPLEXOR: Equipo que combina varios canales afluentes en un número reducido de canales portadores combinados, con una relación fija entre los canales afluentes y combinados.

NODO: Es el elemento de red, ya sea de acceso o de conmutación, que permite recibir y reenrutar las comunicaciones.

PROTOCOLO: Conjunto de normas que regulan las comunicaciones, bien en general, particular, redes, transmisiones, etc.

RED DIGITAL DE SERVICIOS INTEGRADOS (RDSI): Red de servicios integrados que proporciona conexiones digitales entre interfaces usuario-red. Red conmutada digital que permite transmitir voz, datos e imágenes por líneas telefónicas convencionales, existen don técnicas BRI o accesos Básicos con velocidad máxima de 128 kbps y PRI o accesos primarios con velocidades superiores.

RED INTELIGENTE (RI): Arquitectura de una red de telecomunicaciones, cuya flexibilidad facilita la introducción de servicios y capacidades nuevos, incluidos los que están bajo el control del cliente.

ROUTER (Encaminador): Elemento que tiene como función principal el encaminamiento de un tráfico concreto hacia los diferentes destinos. Un

router se utiliza siempre que se pretenda distribuir una señal entre varios puntos o puestos. En una red local, por ejemplo, se instala un router para distribuir el ancho de banda de una línea telefónica, con la que se ha establecido una conexión a Internet, dando acceso a todos los puestos integrados en la misma.

SDH: (Synchronous Digital Hierarchy - jerarquía digital síncrona). Norma de transmisión digital para las comunicaciones en banda ancha.

TOPOLOGÍA: Situación, o disposición física, de los diferentes elementos existentes. en una red de cableado.

TRÁFICO: Toda emisión, transmisión o recepción de signos, señales, datos, escritos, imágenes, voz, sonidos o información de cualquier naturaleza que se efectúe a través de una red de telecomunicaciones.

UIT: Unión Internacional de Telecomunicaciones.

VLAN: Red LAN Virtual.

VPN: Redes privadas virtuales. Túneles en Internet para aplicaciones seguras.

XDSL: DSL es una tecnología que facilita, o proporciona, una gran capacidad de transferencia de datos, utilizando el actual cableado de cobre, al que denominamos bucle de abonado. La letra x corresponde a las múltiples variables existentes, sobre dicha tecnología: ADSL, HDSL, SHDSL, etc.

WAN (Red de zona amplia): Red de propiedad y explotación privadas que ofrece comunicaciones de datos y textos (y a veces vídeo y vocales) entre sitios muy distantes entre sí.

WDM: (Wavelength Division Multiplexing - Multiplexación por división de longitud de onda): Técnica para cable de fibra óptica, mediante la cual se pueden acomodar múltiples señales de luz en un solo cable utilizando diferentes frecuencias.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Ing. Eugenio Castro, Ingeniero de proyectos Departamento de Planeación e Ingeniería, EMCALI Telecomunicaciones
- [2] <http://www.conelectronica.com.co>.
- [3] <http://www.verytel.com.co>
- [4] <http://www.emcali.com.co>
- [5] JARDÓN AGUILAR, Hildeberto, Sistemas de Comunicaciones por Fibras, Editorial Alfaomega, México D.F., México; 257 pp. 1995
- [6] Belove, Charles Enciclopedia de la Electrónica Ingeniería y Técnica, Editorial Océano, Barcelona, España; 2175 pp.
- [7] Dugan, Frank R. Sistemas Electrónicos de Telecomunicación: Editorial Paraninfo, Madrid, España; 639 pp. 1993
- [8] Rubio Martínez, Baltasar Introducción a la Ingeniería de la Fibra Óptica: Editorial ADDISON-WESLEY IBEROAMERICA.1994
- [9] N. Kashima, Passive optical components for optical transmission, Artech House, Boston, 1995
- [10] G. P. Agrawal, Fiber Optics Communication Systems 2da Ed, John Wiley & Sons (1997).
- [11] LATORRE, Maria José. Estudio de la migración de un carrier de larga distancia a técnica WDM: Popayán C, Universidad del Cauca, 2003.