

LA FIBRA ÓPTICA Y LAS CARACTERÍSTICAS DE POTENCIACIÓN DE TRÁFICO EN LA RED METROPOLITANA DE LAS EMPRESAS MUNICIPALES DE CALI



HENRY FABIÁN ARBOLEDA BRAVO

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
POPAYÁN
2006**

LA FIBRA ÓPTICA Y LAS CARACTERÍSTICAS DE POTENCIACIÓN DE TRÁFICO EN LA RED METROPOLITANA DE LAS EMPRESAS MUNICIPALES DE CALI

HENRY FABIÁN ARBOLEDA BRAVO

Proyecto de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Físico.

DIRECTOR Ing. GIOVANNY LÓPEZ P.

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
POPAYÁN
2006**

Nota de aceptación

Ing.GIOVANNY LÒPEZ P.
Director Trabajo de Grado

Mg.LUÍS FERNANDO ECHEVERRI E.
Jurado

Ing.ALFREDO MONTENEGRO M.
Jurado

fecha de sustentación: Popayán, 28 de Septiembre de 2006

*Definitivamente a DIOS, a mis
PADRES, HERMANOS,
COMPAÑEROS, y todos aquellos
que me ayudaron a construir un
tesoro cuando confiaron y creyeron
en que los sueños si eran
posibles.....*

*.....por su gran AMOR,
CONFIANZA Y APOYO
INCONDICIONAL, espero que los
sentimientos que me embargan los
llenen a todos como muestra de mi
humilde e inmensa gratitud.*

Henry Fabián Arboleda Bravo.

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sus agradecimientos a:

Giovanny López P, jefe del Departamento de Telecomunicaciones de la Universidad del Cauca, por su labor de dirección y orientación en el desarrollo del proyecto.

Edgar Matallana, profesor del Departamento de Física de la Universidad del Cauca, por su colaboración en la parte de conceptualización matemática del proyecto.

El Grupo I+D en Ingeniería Física y al Grupo de Óptica y Láser de la Universidad del Cauca por su apreciable colaboración y gran acogida durante la ejecución del proyecto.

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

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	10
RESUMEN	12
1. GENERALIDADES DE LA EMPRESA	14
MISIÓN	14
VISIÓN	15
EMCALI EN LA ACTUALIDAD	15
CAPÍTULO 1	17
FUNDAMENTOS DE FIBRA ÓPTICA	17
1.1 VENTANAS DE TRANSMISIÓN	20
1.2 FIBRA ÓPTICA	24
1.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA FIBRA ÓPTICA	27
1.4 TIPOS DE FIBRA ÓPTICA	30
1.4.1 FIBRA MULTIMODO	31
1.4.2 FIBRA MONOMODO	33
1.4.3 CARACTERÍSTICAS DE LA FIBRA MONOMODO ESTÁNDAR SSMF	34
1.4.4 CARACTERÍSTICAS DE LA FIBRA DE DISPERSIÓN DESPLAZADA DSF	34
1.4.3 CARACTERÍSTICAS DE LA FIBRA DE DISPERSIÓN DESPLAZADA NO NULA, NZDSF	35
1.5 SEÑALES DE VOZ	36
CONCLUSIONES	42
CAPÍTULO 2	43
WDM: COMO SISTEMA DE COMUNICACIÓN POR FIBRA	43
2.1 ¿QUE ES WDM?	44
2.1.1 FUNCIONAMIENTO	45
FIGURA 3.1. ESQUEMA DE MULTIPLEXACIÓN WDM	45
2.1.2 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE WDM	46
2.2 LA NECESIDAD DE CAPACIDAD CONDUCE AL USO DE TECNOLOGÍA WDM	49
2.3 VENTAJAS WDM	51
2.4 DESVENTAJAS WDM	53
2.5 MULTIPLEXACIÓN POR DIVISION DE LONGITUD DE ONDA AMPLIA CWDM (WDM COARSE)	54

2.5.1 MÁS ACERCA DE CWDM	56
2.6 DWDM (DENCE WAVELENGTH DIVISION MULTIPLEXING)	58
2.7 COMPONENTES CWDM EN DISPOSITIVOS DE RED	59
2.7.1 FIBRA ÓPTICA OPTIMIZADA CWDM	59
2.7.2 LÁSERES CWDM EXISTENTES	60
2.7.3 RECEPTORES	61
2.7.4 REPETIDORES Y AMPLIFICADORES	62
2.8 APLICACIONES	62
FIGURA 3.3. TRANSPORTE CWDM	64
2.9 ESTÁNDARES ITU G.694.2	64
FIGURA 3.4. BANDAS DE TRANSMISIÓN CWDM	65
2.10 TENDENCIAS CWDM	66
CONCLUSIONES	67
CAPÍTULO 3	70
LA FIBRA ÓPTICA	70
3.1 TRANSMISIÓN POR FIBRA	74
3.1.1 TRANSMISOR	75
3.1.2 CANAL FÍSICO DE COMUNICACIÓN (FIBRA ÓPTICA)	76
3.1.3 RECEPTOR	76
3.2 DISTORSIONES LINEALES	77
3.3 DISTORSIONES NO LINEALES: AUTOMODULACIÓN DE FASE (SPM)	79
3.3.1 EFECTO KERR ÓPTICO	79
ESTE TIPO DE DEGRADACIONES TIENEN ORIGEN EN LA DEPENDENCIA DE ÍNDICE DE REFRACCIÓN DEL NÚCLEO DE LA FIBRA CON LA INTENSIDAD DE LOS PULSOS TRASMITIDOS. EL ÍNDICE DE REFRACCIÓN QUEDA EXPRESADO COMO:	79
3.4 EFECTOS NO LINEALES EN WDM: MODULACIÓN DE FASE CRUZADA (XPM) Y MEZCLA DE CUATRO ONDAS	81
3.5 RANGOS TÍPICOS PARA FENÓMENOS LINEALES Y NO LINEALES	83
3.6 SOLITONES ÓPTICOS	84
3.7 SISTEMA WDM DE ALTA CAPACIDAD	86
3.8 ESTIMACIÓN DE EFECTOS DEGRADANTES PARA LA RED DE FIBRA ÓPTICA DE EMCALI	87
CONCLUSIONES	90
CAPÍTULO 4	91
DESCRIPCIÓN DE LOS TIPOS DE FIBRA Y LA RED EXISTENTES	91

4.2 MEDIOS DE TRANSMISIÓN	92
4.3 GESTION DE REDES Y SERVICIOS DE TELECOMUNICACIONES - GERTEL	95
4.3.1 CONEXIÓN EN RED	95
4.3.2 CENTRALES TELEFONICAS DE LA RED	95
4.4 RED DE SEÑALIZACIÓN	99
4.4.1 SISTEMA DE INTERCONEXIÓN	100
4.4.2 SISTEMA DE GESTIÓN GERTEL	100
4.4.3 SERVICIOS	100
4.4 RED PÚBLICA DE DATOS (ATM/FR)	101
4.4.1 NODOS DE CONMUTACIÓN	101
4.4.2 SINCRONIZACIÓN	102
4.4.3 TARIFICACIÓN	102
4.4.4 TIPOS DE ACCESO	102
4.4.5 SISTEMAS DE INTERCONEXIÓN	103
4.5 DESCRIPCIÓN DE LA RED XDSL	103
4.6 NODO DE INTERNET	103
4.7 RED DE TRANSMISIÓN	105
4.7.1 SISTEMA DE GESTIÓN	106
4.7.2 SINCRONEZACIÓN	106
4.7.3 SERVICIOS	106
CONCLUSIONES	107
CAPÍTULO 5	108
PROYECTO POTENCIACIÓN DE LAS 140.032 LINEAS	108
5.1 LAS UNIDADES DE ACCESO MULTIPLE	109
5.2 SOFTSWITCH	109
5.3 NÚCLEO O CORE ÓPTICO	111
5.4 GATEWAY DE TRONCAL Y GATEWAY DE SEÑALIZACIÓN	111
5.5 ARQUITECTURA DE RED	111
5.6 MANEJO DE TRÁFICO	112
5.7 TRANSMISIÓN PARA LAS UNIDADES DE ACCESO MULTISERVISIO (UAMS)	115
CONCLUSIONES	116
CAPÍTULO 6	117
DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN PARA CLIENTES EN LA RED DE ACCESO DE EMCALI E.S.P.	117

6.1 ESTIMACIÓN DE ANCHO DE BANDA APLICADO A LAS UNIDADES DE ACCESO MULTISERVICIO (UAMS)	117
6.1 DISTRIBUCIÓN DE ACCESO DEL PROYECTO (140.032 LÍNEAS)	120
6.2 ESPECIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN	132
CONCLUSIONES	140
GLOSARIO DE TERMINOS	141
COMPONENTES	148
BIBLIOGRAFÍA	150

INTRODUCCIÓN

“El hombre encuentra a Dios detrás de cada puerta que
la ciencia logra abrir”
Albert Einstein

Las condiciones del mercado se han modificado de manera ostensible, en todos los componentes de la cadena de valor. Es decir los usuarios al igual que las tecnologías también migran, pero estos lo hacen hacia un nuevo tipo de clientes con necesidades en cuanto a calidad, tecnología y nuevas aplicaciones.

De igual forma, los operadores de telecomunicaciones ofrecen servicios empaquetados, integrados con múltiples opciones de pago, en un ambiente comercial caracterizado por la competencia, la convergencia y la creciente sustitución de los servicios tradicionales de voz de telefonía fija por los móviles y de datos.

EMCALI EICE ESP, al igual que otros operadores del mundo desea prestar este tipo de servicios. Para lo cual requiere la sugerencia de soluciones que le permitan repotencializar su red de acceso para grandes clientes, permitiéndole obtener mejor provecho de la infraestructura de enlace (loop) de fibra que actualmente posee y satisfacer las crecientes necesidades de enlaces tipo ethernet que demandan sus clientes actuales y futuros, manteniendo los servicios de E1 que hoy se ofrecen.

Antes de estimar la posibilidad de prestar estos nuevos servicios es conveniente estimar la actual situación de los cables de fibra óptica que conforman la Red de Acceso de las Empresas Municipales de Cali. La idea es obtener algún parámetro para la toma de decisiones al momento de

desarrollo y puesta a punto de una plataforma destinada a permitir el acceso de sus clientes mediante enlaces dedicados a través de nuevas tecnologías como lo es caso de CWDM, garantizando unas condiciones de accesibilidad y velocidad de transferencia mínimas acordes con los planes comerciales establecidos por Emcali.

RESUMEN

Las actuales condiciones de la Red de Fibra Óptica de las Empresas Municipales de Cali y la creciente demanda de acceso a múltiples servicios, estimulan la elaboración de proyectos emergentes 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 de Multiplexación por División de longitud de Onda (WDM) y la técnica Multiprotocolo de Conmutación de Etiqueta (MPLS).

Los requerimientos de la empresa EMCALI comunicaciones son posibles de encarar gracias a la implementación de la Red Multiservicios mediante la cual se amplían 44.800 nuevas líneas en una red de nueva generación (Red de Nueva generación, NGN) y se reponen 95.232 líneas de tecnología AXE de la actual Red PSTN (Red Telefónica Pública Conmutada).

Emcali, actualmente con una red PSTN con tecnología de conmutación de circuitos, evolucionará a una red de nueva generación (NGN), basada en paquetes como la red mundial de Internet.

Esta nueva estructura de red, próxima a ser implementada, deberá tener alternativas de potenciación de tráfico. Siendo de gran interés para este trabajo aspectos como “la introducción de equipos de multiplexación CWDM” en lugar de nuevo tendido óptico. Considerando además las actuales condiciones de fibra óptica con las que cuenta EMCALI.

El interés en la red de Fibra Óptica del área metropolitana (a largo de toda su red troncal y su red de acceso de enlace (o loops de abonado), 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 clientes emergentes.

Esta nueva red proveerá a EMCALI de una diversidad de servicios de comunicaciones basados en IP (protocolo de Internet) tales como los servicios de telefonía tradicionales, datos y video.

1. GENERALIDADES DE LA EMPRESA

EMCATEL es una organización autónoma, rentable, orientada a actividades comerciales y de servicios dirigida al sector de las Telecomunicaciones. Esta organización hace parte de las Empresas Municipales de Cali EMCALI junto a otros entes complementarios como: actividades industriales, comerciales y de servicios en los sectores de Agua Potable, tratamiento de Aguas residuales, Saneamiento Básico, Energía.

Comprometida siempre con sus usuarios a innovar y mejorar sus servicios permanentemente durante todo el tiempo. Llevando el afán de desarrollar un plan estratégico de crecimiento e incorporación de nuevos servicios gracias a la implementación de tecnologías vanguardistas

Para la consecución de tales ideales es pertinente que el proyecto de las Empresas Municipales sea adelantado en conjunto con instituciones de educación superior como lo es el caso de la Universidad de Cauca.

MISIÓN

Lograr la satisfacción de las necesidades de los clientes y de la comunidad, contribuyendo al mejoramiento de sus condiciones de vida, con niveles óptimos de calidad, precios y oportunidad, cumpliendo con sus responsabilidades sociales, de protección al medio ambiente, desarrollo de las regiones donde actúa y apoyo al crecimiento personal y profesional de los trabajadores.

VISIÓN

Ser en los próximos años en el contexto nacional, la empresa con mayor cobertura y mejor calidad de servicios públicos, de agua potable, saneamiento básico, energía y telecomunicaciones.

Ser reconocida por su contribución al desarrollo del Valle del Cauca y de aquellas regiones donde actúe, por su liderazgo en las distintas actividades industriales, comerciales y de servicio en los respectivos sectores.

EMCALI EN LA ACTUALIDAD

La evolución de las Empresas Municipales en el sector de las telecomunicaciones ha llegado a incorporar teléfonos de tarjeta chip y sistemas de comunicación vía radio para las zonas rurales alejadas donde no hay acceso a las líneas telefónicas cableadas. Persistiendo aun la necesidad de mejorar la red de acceso para los sectores empresariales e industriales de la ciudad, además de una posible introducción de fibra óptica y equipos multiplexores en el lado del abonado.

Estas perspectivas de mejoramiento son adelantadas con el desarrollo de un plan de la red de acceso para los sectores empresariales e industriales de la ciudad. Para el servicio de transmisión de datos, la Gerencia de Teléfonos ofrece a los usuarios líneas dedicadas (pares aislados), canales digitales PCM, canales digitales a través de la RDSI, sistemas digitales E1 a nivel de abonado utilizando tecnología HDSL y SDH, y a nivel troncal utilizando la red de transmisión existente con tecnología SDH.

En los próximos meses, entrará en servicio una red de transmisión de datos con tecnología ATM con múltiples accesos, interfases, velocidades y protocolos, permitiendo a los usuarios la interacción remota y veloz con otro usuario de la red. Esta red servirá para prestar servicios portadores de datos, mejorará el último kilómetro hacia el usuario solucionando el problema que los aqueja cuando se utilizan pares aislados o canales dedicados, haciendo posible el intercambio de grandes volúmenes de información de manera confiable.

CAPÍTULO 1

FUNDAMENTOS DE FIBRA ÓPTICA

[FUNDAMENTOS DE FIBRA ÓPTICA](#)

[1.1 VENTANAS DE TRANSMISIÓN](#)

[1.2 FIBRA ÓPTICA](#)

[1.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA FIBRA ÓPTICA](#)

[1.4 TIPOS DE FIBRA ÓPTICA](#)

[1.5 SEÑALES DE VOZ](#)

[CONCLUSIONES](#)

Este capítulo contiene fundamentos físicos básicos que intervienen en una comunicación por fibra óptica, entre ellos, los tipos de fibra existentes, las ventanas de comunicación y la introducción en los sistemas de comunicación óptica, además de una noción básica de señal de voz.

En los últimos 170 años desde la invención del telégrafo en 1830 el aumento en la tasa de transmisión (o cantidad de bits transportados por segundo) ha marcado una creciente necesidad en la capacidad de transmisión de los sistemas de comunicación.

A mediados del siglo pasado se había advertido del fenómeno físico de la luz como medio de transporte capaz de incrementar la tan necesitada capacidad de transmisión; sin embargo solo hasta 1960 se contó con un transmisor o láser como fuente de luz coherente para la inducción de información, pero aun no se contaba con un medio adecuado de transmisión para confinar esta información [3].

Las primeras fibras fueron presentadas en el año de 1966 pero su alta atenuación de un decibel por metro (o 20% por metro recorrido) hizo que se esperara hasta la década de los años 70's la aparición de fibras de atenuación de 20 dB/Km en la región de longitud de onda de $1. \mu m$.

Solo en el año de 1980 y luego de mas de 100 años de comunicación eléctrica y analógica se introduce el primer sistema óptico comercial operando a una tasa de 45 Mbits/s a una longitud de onda de $0.8 \mu m$ [4].

Desde entonces, las redes de Telecomunicaciones han experimentado una mejora significativa, principalmente para dar respuesta y soporte al incremento de comunicaciones de teléfono y fax. Esta mejora se ha implementado en lugares como Norteamérica y Japón sin descartar nuestro país y muy especialmente en la ciudad de Cali.

En un principio las redes fueron diseñadas para tráfico de voz (llamada interurbana y líneas privadas, con un crecimiento anual de, aproximadamente un 10-15%). Sin embargo, las redes no fueron diseñadas ni planeadas para soportar el crecimiento de demanda de las comunicaciones de datos.

La demanda de intercambio de datos evoluciona al mismo tiempo que el negocio de las telecomunicaciones, empezando a variar con la regulación del mercado.

Las privatizaciones, las desregulaciones (monopolizan) el desarrollo de voz y fax y el crecimiento de trafico de Internet han sido los mayores factores que han contribuido al cambiaren la industria de las telecomunicaciones [1].

Alimentando este crecimiento constante, podemos encontrar demanda de servicios como redes privadas virtuales (VPNs, por sus siglas en ingles), comercio electrónico, acceso por cable a servicios de banda ancha y desarrollo de línea digital asimétrica de abonado (ASDL, de sus siglas en ingles).

La demanda generada por la empresa y el usuario ha desembocado en un crecimiento porcentual en el mercado de Telecomunicaciones tal como sigue:

- Voz: 5-10%.
- Líneas Privadas: 10-15%.
- Datos como Modo de Transferencia Asíncrono (ATM, por sus siglas en ingles): 100%
- Internet: 150%.

La capacidad de la red se duplica cada 12-18 meses y el protocolo de internet (IP, por sus siglas en ingles) se aproxima a los requerimientos del mercado de transporte de datos.

Mientras el tráfico de voz continúa creciendo, el porcentaje de tráfico de datos se ha disparado mucho más. La tendencia es de un 100 a un 150% por año. Estudios de mercado predecían que entre los años 2000 y 2006, el tráfico de datos llegará a ser casi el 100% del tráfico total en las redes de comunicación. Desde 1998 ya se podía apreciar que la transmisión de datos supone la mitad de ese tráfico, con usuarios finales y corporativos liderando un gran crecimiento [1].

Este crecimiento de demanda de información ha causado gran impacto en las capacidades de red, de hecho, en los años 80 se hablaba de capacidades

entorno a decenas de Mb/s, mientras que en el año 2000 se multiplica constantemente el número de Tb/s admitidos por la red.

En el ámbito local EMCALI no es la excepción a toda esta creciente demanda de ancho de banda; basta con ver las condiciones actuales de sus usuarios para comprender la necesidad, a la hora de ofrecer nuevos servicios de banda ancha y transmisión de datos.

La gran demanda de capacidad y aprovechamiento de ancho de banda orientado a conexión a través de los actuales sistemas de transmisión, será posible gracias a las revolucionarias tecnologías ópticas capaces de multiplexar mayor tráfico por medio de una sola fibra óptica como lo es el caso de WDM [1] [3] [7]. Este tráfico genera la necesidad de realizar un estudio de migración tecnológica en equipos de la red de Fibra Óptica de la ciudad de Cali, para proveer a más de 600.000 usuarios con múltiples servicios a través del mismo hilo hasta su residencia.

1.1 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 (Ver figura 1.1).

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.

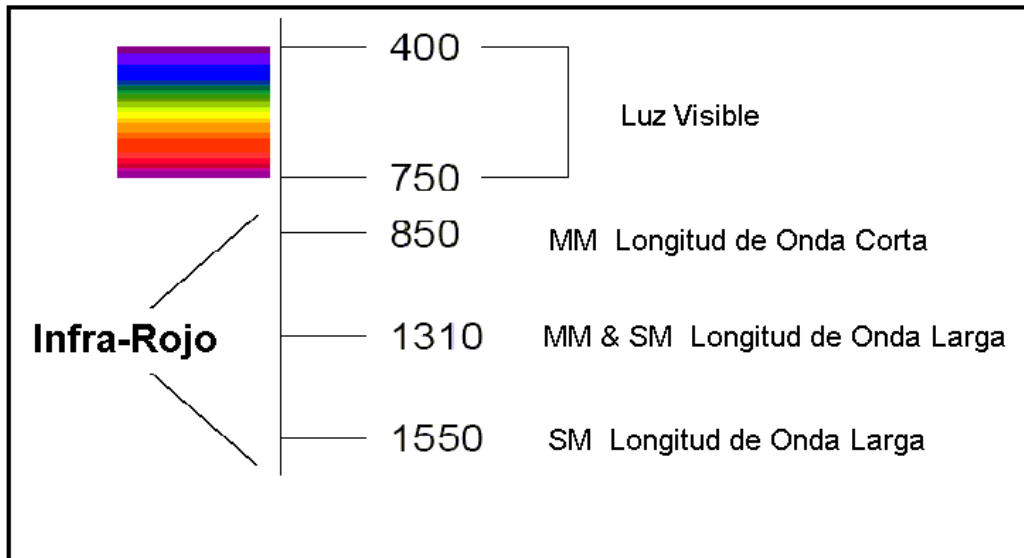


FIGURA 1.1. LONGITUDES ÓPTICAS (tomado de *Fibras Ópticas*, referencia [4]).

La primera generación de sistemas de comunicación óptica, introducida comercialmente en 1980, operaba en longitudes de $0.8 \mu\text{m}$, i.e. la llamada primera ventana de comunicaciones ópticas. Estos sistemas operaban a una tasa de transmisión de 45 Mbits/s con una distancia entre repetidores (puntos de generación de la señal) de 10 Km. La máxima distancia posible entre repetidores estaba dada por la atenuación de las fibras ópticas que limitaban la relación señal-ruido entregada por el sistema (ver figura 1.2).

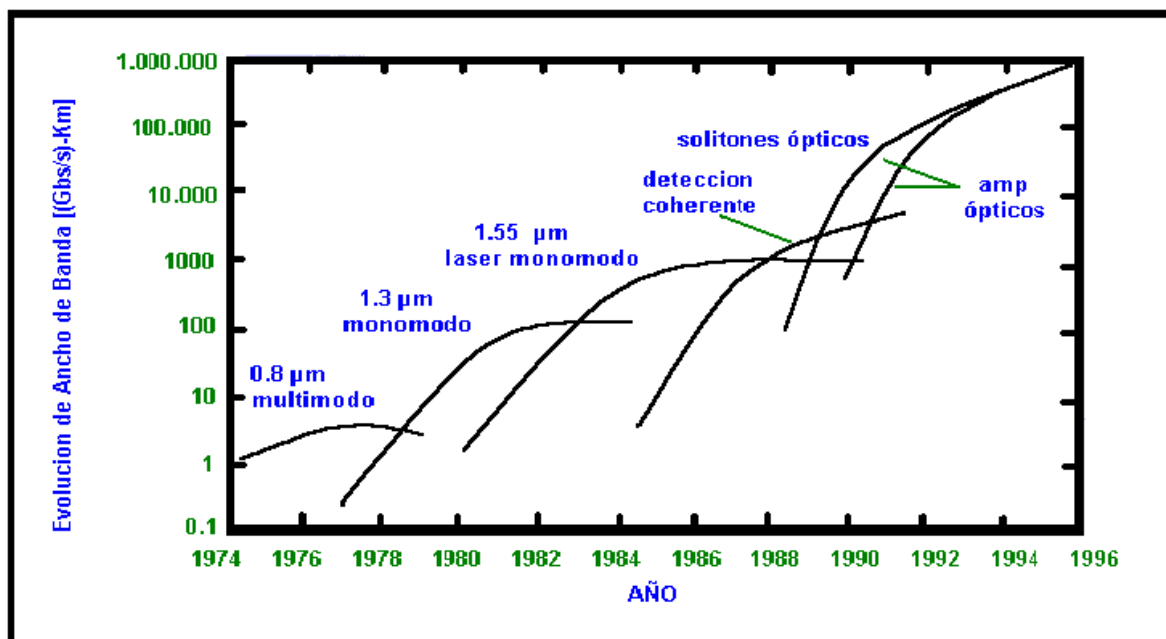


FIGURA 1.2. EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN ÓPTICA (tomado de referencia [8]).

Quedaba claro en la época que era deseable transmitir información en longitudes de onda mas altas aprovechando la menor atenuación de las fibras y así conseguir aumentar la distancia entre repetidores. Esto impulsó el desarrollo de láseres de semiconductores que emitieran luz en longitudes de onda de 1.3 μm , donde la atenuación de las fibras es menor a 1 dB/Km.

Esta nueva generación operando en la segunda ventana fue introducida en la primera mitad de los 80 y, como estos sistemas estaban limitados a una capacidad menor a 100 Mbits/s debido a la dispersión modal propia de las fibras multimodo, problema que fue solucionado mediante el uso de fibras monomodo. Ya en 1987, existían sistemas comerciales con capacidades de 1.7 Gbits/s y repetidores separados 50 Km.

Desde el punto de vista de atenuación de la fibra, la intención esta en trabajar en torno del mínimo en la región de $\lambda = 1.55 \mu\text{m}$, donde la

atenuación es de $\alpha = 0.2$ dB/Km. Esta región es llamada “tercera ventana”. Sin embargo las llamadas fibras ópticas monomodo estándar (Standard Single Mode Fiber- SSMF, de sus siglas en ingles) presentan un valor de dispersión cromática elevado en la tercera ventana.

La dispersión cromática, es consecuencia de la dependencia del índice de refracción de la fibra con la longitud de onda; es decir, diferentes componentes de frecuencia de pulsos transmitidos viajan a diferentes velocidades, produciendo un ensanchamiento temporal de los pulsos transmitidos. Este efecto puede originar la superposición de diferentes pulsos, aumentando así la probabilidad de ocurrencia de errores de detección.

La búsqueda de fibra óptica representara un mínimo de dispersión cromática en la tercera ventana llevo al desarrollo, y posteriormente a la introducción comercial a comienzos de los años 90, de las llamadas fibras de dispersión desplazada DSF (Dispersion- Shifted Fibres, de sus siglas en ingles). Estas fibras tienen una dispersión cromática aproximadamente 10 veces inferior a de las fibras monomodo estándar.

La introducción de estas fibras DSF llevó a la producción de nuevos tipos de fibras ópticas con valores de dispersión en la tercera ventana mayores a las DSF pero menores a las fibras estándar. Estas fibras son llamadas fibras de dispersión desplazada no nula NZ-DSF (Non-Zero Dispersion Shifted Fibres).

Finalmente la introducción comercial a comienzos de los años 90, de los amplificadores ópticos y de los sistemas de Multiplexación por División de Longitud de onda (WDM Wavelength Division Multiplexing, de sus siglas en ingles), en los cuales se transmiten varios canales a diferentes longitudes de

onda por una misma fibra óptica, produjo un enorme incremento de la capacidad de transmisión de los sistemas de transporte óptico.

Existe además una quinta generación: $B = (1.3-1.65) \mu\text{m}$

1.2 FIBRA ÓPTICA

Antes de adentrar en las condiciones de la Red de Fibra Óptica es conveniente hablar de la fibra óptica desde el punto de vista de sus propiedades físicas. A continuación se escudriña sobre los fundamentos de estas guías de onda:

Inicialmente se habla de los hilos de fibra óptica los cuales no son más que filamentos de vidrios flexibles, con un diámetro típico de $125 \mu\text{m}$ (Ver Figura 1.3). Estos hilos llevan mensajes en forma de haces de luz que pasan a través de ellos de un extremo a otro, donde quiera que el filamento vaya incluyendo curvas y esquinas sin interrupción.

Originalmente, la fibra óptica fue propuesta como medio de transmisión debido a su enorme ancho de banda, sin embargo con el tiempo se ha planteado para un amplio rango de aplicaciones además de la telefonía, automatización industrial, computación, sistemas de televisión por cable y transmisión de información de imágenes astronómicas de alta resolución entre otros. También pueden usarse, tanto en pequeños ambientes autónomos (tales como sistemas de procesamiento de datos de aviones), como en grandes redes geográficas (como los sistemas de largas líneas urbanas mantenidos por compañías telefónicas).

Para una comunicación práctica, la fibra óptica debe transmitir señales fónicas detectables a muchos kilómetros. El vidrio ordinario tiene un haz

luminoso de pocos metros de alcance. Sin embargo, se han desarrollado nuevos vidrios muy puros con transparencias mucho mayores que la del vidrio ordinario. Este gran avance ha dado ímpetu a la industria de fibras ópticas. La mayoría de las fibras ópticas se hacen de arena o sílice, materia prima abundante en comparación con el cobre.

Los tres constituyentes esenciales de las fibras ópticas son el núcleo, la funda óptica y el revestimiento. El núcleo es la parte más interna de la fibra y es la que guía la luz en una o varias hebras delgadas de sílice, cuarzo fundido o plástico con diámetro de $50\ \mu\text{m}$ o $62.5\ \mu\text{m}$ para la fibra multimodo y $9\ \mu\text{m}$ para la fibra monomodo. La funda óptica, generalmente de los mismos materiales que el núcleo pero con aditivos, que confina las ondas ópticas en el núcleo. Y el revestimiento de protección, por lo general está fabricado en plástico y asegura la protección mecánica de la fibra, la protege contra la humedad, el aplastamiento, los roedores, y otros riesgos del entorno [2]. Ver Figura 1.

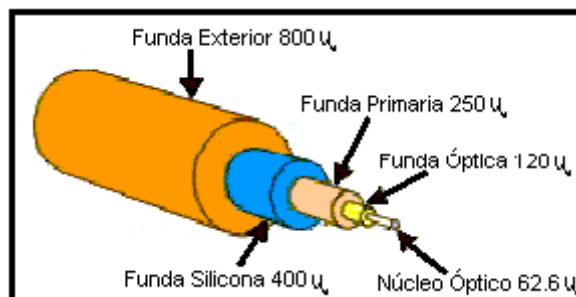


FIGURA 1.3. PARTES DE LA FIBRA ÓPTICA

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 en la transmisión de datos y voz 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 según la eficiencia de modulación. 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. Algunos datos técnicos están consignados en la tabla 1.

1.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA FIBRA ÓPTICA

Se pueden mencionar como ventajas y desventajas las siguientes:

Ventajas:

- ✚ Livianas y angostas al momento de llevar un gran número de señales por un mismo cable. Se facilita la movilidad en áreas reducidas.
- ✚ Alta calidad de transmisión. Inmunidad a transmisiones cruzadas entre cables, causadas por inducción magnética.
- ✚ Reducción de costos de protección contra el ruido. Inmunidad a interferencia estática debida a las fuentes de ruido.
- ✚ Eliminación de los problemas de bucle de tierra. No es necesario tener puesta a tierra de señales, como ocurre con alambres de cobre que quedan en contacto con ambientes metálicos.

- ✚ Comparte una bandeja con cables de energía, aún de alta tensión o frecuencia, o al aire con mínimas fijaciones.
- ✚ Travesía segura en zonas peligrosas. La seguridad en cuanto a la instalación y mantenimiento, es decir, las fibras de vidrio y plástico no son conductoras de electricidad, se pueden usar cerca de líquidos y gases volátiles. Seguridad contra descargas eléctricas.
- ✚ Mayor confiabilidad gracias al menor número de repetidoras. En el sistema de fibra óptica se pueden instalar tramos de hasta 70 km. Sin necesidad de recurrir a repetidores lo que también hace más económico y de fácil mantenimiento este material.
- ✚ Menor mantenimiento. Reducción de los costos de instalación y reparación.
- ✚ Gran capacidad de transmisión debido al ancho de banda mayor disponible en frecuencias ópticas.
- ✚ Eliminación de igualadores o ecualizadores.
- ✚ Atenuación independiente del ancho de banda del mensaje transmitido.
- ✚ Confiabilidad y alta privacidad de la transmisión, las fibras no pierden luz, por lo que la transmisión es segura y no puede ser perturbada.
- ✚ Niveles pequeños de potencia eléctrica en el transmisor.

- + Gran abundancia en la naturaleza del material base SiO₂, por tanto, fáciles de conseguir en el mercado.
- + Interferencias pequeñas entre fibras.
- + Mayor economía para enlaces mayores de 2 km y velocidades mayores a 2 Mbps.
- + Compatibilidad con la tecnología digital.
- + La fibra es una tecnología probada, sencilla, estandarizada y de alta confiabilidad.

Desventajas:

- + Fragilidad de las fibras.
- + Dificultad de reparar un cable de fibra roto en el campo.
- + Sólo puede utilizarse por las personas ubicadas en las zonas por las cuales ya esté instalada la red de fibra óptica.
- + Disponibilidad limitada de conectores.
- + Las fibras ópticas presentan limitaciones químicas que adquieren mayor intensidad para determinadas longitudes de onda, a los efectos de la irradiación, determinándose que los láseres de elevada potencia pueden motivar cierto deterioro. La irradiación conduce a

modificar el color del material transparente de las fibras, produciendo su oscurecimiento.

1.4 TIPOS DE FIBRA ÓPTICA

Se hará alusión a los tipos de fibra, para conformarse una idea de las condiciones del actual tendido óptico que posee EMCALI y la posibilidad de alguna incursión tecnológica en su red troncal.

La fibra óptica está considerada aún como una tecnología relativamente nueva con respecto a otros medios físicos. Su ya extendida utilización, se encuentra en plena evolución.

Según sea la forma de guiar los rayos de luz por la fibra óptica (ya sea en un cierto número de modos o en uno solo) el tipo de fibra se denomina multimodo o monomodo. Las características más sobresalientes se consignan en la tabla 1.

<i>Características</i>	<i>Multimodo</i>	<i>Multimodo</i>	<i>monomodo</i>
	<i>Índice</i>	<i>Índice gradual</i>	
<i>Diámetro del núcleo</i>	100µm<0<600µm	50µm<0<100µm	8µm <0<10µm
<i>Diámetro</i>	140µm	25µm	125µm
<i>Índice del núcleo</i>	Constante	Carece del centro a la	Creciente o decrece
<i>Apertura</i>	0.30	0.20 a 0.27	Muy
<i>Banda de paso</i>	20 a 10 Mhz/Km	200 a 1200	>10
<i>Atenuación</i>			
850 nm	8 a 20 dB/Km		
1300nm		2.5 a 4 dB/Km	0.3 a 0.5
1550nm		0.6 a 1.5	0.150 a 0.3

TABLA 1. CARACTERÍSTICAS DE LOS TIPOS DE FIBRA ÓPTICA (tomado de referencia [4]).

1.4.1 FIBRA MULTIMODO

Dentro de las fibras multimodo existen dos tipos, de índice de escalón o índice abrupto y de índice gradual.

En el tipo de fibra de índice abrupto, las fibras se componen de revestimiento de baja refracción y de un núcleo de elevado índice de refracción, por el que se guía la luz mediante reflexión total en el límite revestimiento-núcleo.

En el caso de fibras ópticas con perfil de índice gradual la luz se desvía continuamente hacia el eje de la fibra en las regiones externas con índice de refracción menor. el índice de refracción varía gradualmente del núcleo al revestimiento.

Fibras de índice abrupto: En este tipo de fibra óptica, el índice de reflexión del núcleo es completamente distinto al índice de refracción de la cubierta. De esta forma, durante la transmisión la luz va chocando contra las paredes de la cubierta, siendo reflejada en cada choque hacia el núcleo.

Este sistema es el más fácil de construir, pero presenta como inconvenientes una mayor atenuación y un ancho de banda más estrecho.

Dado que el núcleo presenta un índice de refracción constante, la velocidad de los rayos luminosos también será constante, así a mayor espacio recorrido por dichos rayos, mayor será el tiempo que tardarán en llegar al otro extremo de la fibra óptica.

Los rayos luminosos se propagan por la fibra en zigzag, de ahí que los rayos sigan recorridos diferentes, es decir que unos tardarán más tiempo que otros en llegar al extremo opuesto de la fibra. Este es el motivo por el que producen algunos retardos en la transmisión. Así pues, cuando se transmiten mensajes a alta velocidad, como es el caso de la información digital, los impulsos sufren un alargamiento tendiendo a superponerse, por lo que la información puede distorsionarse. Este tipo de propagación de fibra se puede observar en la figura 1.4.

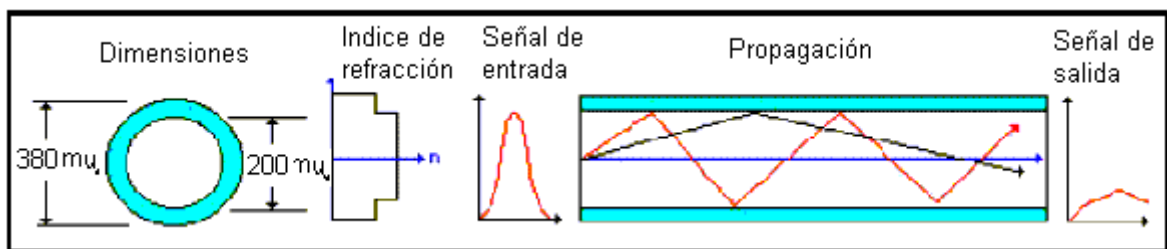


FIGURA 1.4. PROPAGACIÓN EN UNA FIBRA ÓPTICA DE ÍNDICE ABRUPTO

Fibras de índice gradual: En estas fibras la energía luminosa se propaga de una forma diferente a las fibras de índice abrupto. Al ir variando gradualmente el índice de refracción a lo largo del diámetro de la fibra e ir disminuyendo hasta que en el límite, entre el núcleo y la cubierta alcance el valor mínimo, los modos varían de forma helicoidal. Al no existir una diferencia grande entre el índice de refracción del núcleo y de la cubierta, la luz no choca bruscamente contra el y no viaja a través del núcleo en zigzag, como ocurre en el índice abrupto.

Los rayos de luz que se propagan por las zonas exteriores del núcleo, tienen un índice de refracción más bajo, por tanto viajarán a mayor velocidad, según la expresión de la velocidad de la luz a través del medio.

Por el contrario, los rayos que viajan por el centro del núcleo, al tener un índice de refracción mayor, se propagan a menor velocidad. De estas dos afirmaciones se deduce que, aunque los rayos de luz viajan de distintos modos, llegarán al mismo tiempo al extremo opuesto de la fibra ya que, a pesar que algunos rayos recorren más camino que otros, van a mayor velocidad. Este tipo de fibra se puede observar en la figura 1.5.

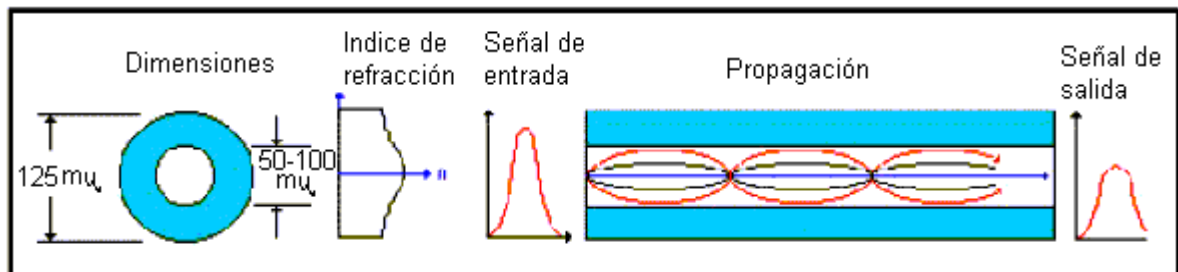


FIGURA 1.5. PROPAGACIÓN EN UNA FIBRA ÓPTICA DE ÍNDICE GRADUAL

1.4.2 FIBRA MONOMODO

En el segundo tipo de fibra, denominado monomodo, 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. Este tipo de fibra 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 [4]. Este tipo de fibra se puede observar en la figura 1.6.

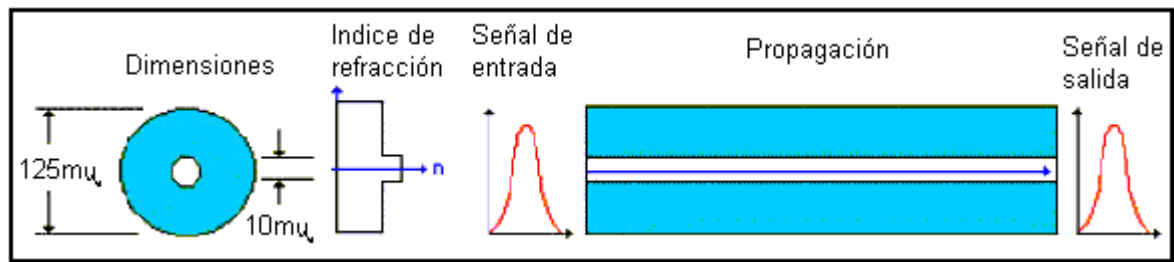


FIGURA 1.6. PROPAGACIÓN EN UNA FIBRA ÓPTICA MONOMODO.

1.4.3 CARACTERÍSTICAS DE LA FIBRA MONOMODO ESTÁNDAR SSMF

Las fibras ópticas monomodo estándar (SSMF) presentan un valor de dispersión cromática elevado en la tercera ventana, entre otras:

- Representa el 95% de la planta exterior instalada (>100 millones de Km en todo el mundo)
- Está Normalizada en la Recomendación ITU G.652.
- Permite la transmisión en segunda, tercera y cuarta ventana.
- Elevada dispersión en tercera y cuarta ventana (precisa compensadores para distancias largas).
- Productos comerciales: Fibra Corning SMF-28 y AllWave de Lucent.

1.4.4 CARACTERÍSTICAS DE LA FIBRA DE DISPERSIÓN DESPLAZADA DSF

Las fibras de dispersión desplazada (DSF) presentan una dispersión cromática aproximadamente 10 veces inferior a de las fibras monomodo estándar, además:

- Mediante una modificación geométrica de su perfil de índice desplaza el punto de mínima dispersión de 2^a a 3^a ventana.
- Sus pérdidas son ligeramente superiores (0.25 dB/Km @ 1550 nm)
- Su área efectiva (A_{eff}) es inferior (38 μm^2).
- Pérdidas de empalme con fibra SMF-28 y dispositivos que empleen dicho tipo de fibra como pigtails.
- Buena para transmisión monocanal. Mala para WDM ya que con dispersión $D=0$ y A_{eff} pequeña aumenta el efecto de los mecanismos no lineales considerablemente (Modulación de Autofase SPM y Modulación de cuatro ondas FWM).



FIGURA 1.7. FIBRA DSF, CAMBIO DE N DE 2^a A 3^a VENTANA

1.4.3 CARACTERÍSTICAS DE LA FIBRA DE DISPERSIÓN DESPLAZADA NO NULA, NZDSF

- Su dispersión D es baja, pero no nula en la tercera ventana.
- D puede ser de signo positivo o negativo para conseguir una dispersión total nula empleando el concepto de **Gestión de Dispersión**.
- La recomendación ITU G.655 recoge la información relativa sobre su normativa.
- A_{eff} suele ser pequeña, salvo excepciones.
- Productos comerciales: Teralight (Alcatel), Truewave (Lucent) y LEAF (Corning).

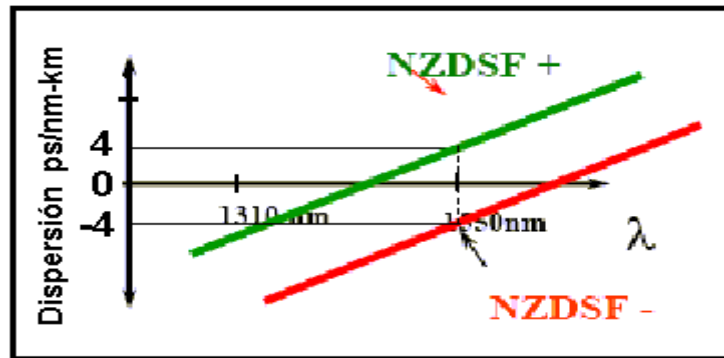


FIGURA 1.8. DISPERSIÓN DE FIBRA NZDSF (TOMADO REFERENCIA [4]).

1.5 SEÑALES DE VOZ

Varias formas de comunicación no eléctricas encierran un proceso de modulación, y la voz es un buen ejemplo. La voz humana es analógica, es decir, su comportamiento se modela con una función continua, no presenta cambios bruscos. La voz captada por un micrófono y llevada a un osciloscopio, no presenta el aspecto de una señal rectangular o con pendientes muy elevadas, por el contrario, presenta una serie de curvas complejas. En forma simplificada puede representarse por una señal senoidal cambiante en frecuencia y amplitud.

Las señales de audio perceptibles por el oído humano, tienen unas características bien definidas. La más importante de ellas, para su transmisión es su pequeño ancho de banda, esto debido a que el espectro de frecuencias que percibe el humano está entre los 300 Hz y los 20 kHz [5]. El conjunto de características que debe cumplir el canal de 64 kbps para telefonía está determinadas en ITU-T (antes CCITT) G.712 para circuitos de 4 hilos y en ITU-T G.713 para 2 hilos. La ITU (Internacional Telecommunication Union) ha definido un canal de voz en el enlace local

(local loop) que va de 300 Hz a 3400 Hz, conocido como canal nominal de 4 kHz.

La modulación es la modificación de la señal portadora en función de las características de la señal moduladora, el caso que nos interesa tratar es aquel en el que la señal moduladora es digital (la voz) y la portadora es analógica, obteniendo así una señal modulada digital que puede ser transmitida con una mayor calidad.

El primer paso en la codificación analógica - digital se llama PAM (modulación de amplitud de pulso), esta es la base de PCM (modulación de pulsos codificados, por sus siglas en inglés). PAM recoge información analógica, la muestrea y genera una serie de pulsos.

En esta técnica, a la señal senoidal original se le toman una serie de muestras a intervalos regulares de tiempo como lo muestra la figura 1.9. En un momento dado el nivel de la señal es leído y retenido brevemente. El valor muestreado sucede solamente de modo instantáneo a la forma actual de la onda, pero es generalizada por un periodo todavía corto pero medible.

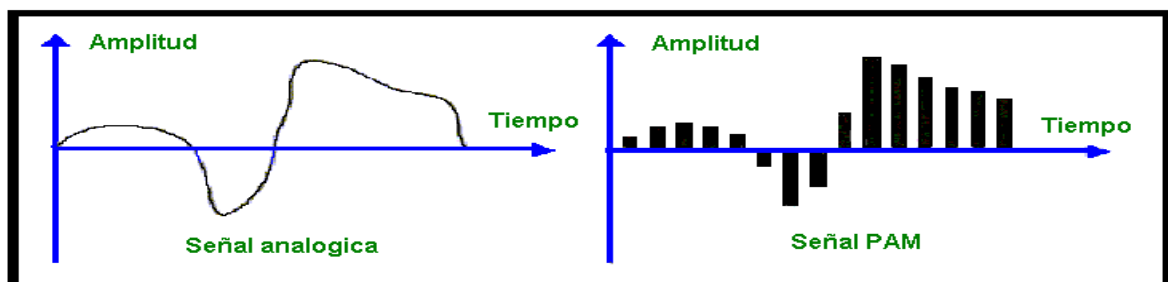


FIGURA 1.9. MODULACIÓN DE AMPLITUD DE PULSO

El motivo por el que PAM sea ineficaz en comunicaciones es por que aunque traduzca la forma actual de la onda a una serie de pulsos, siguen teniendo infinita amplitud es (todavía señal analógica y no digital). Para hacerla digital, se deben de modificar usando modulación de pulsos codificados (PCM, por sus siglas en ingles), se cuantifica y se codifican las muestras y se obtiene PCM.

PCM modifica los pulsos creados por PAM para crear una señal completamente digital. Para hacerlo, PCM, en primer lugar, cuantifica los pulsos de PAM.

La cuantificación es un método de asignación de los valores íntegros a un rango específico. Luego, cada uno de esos valores finitos será codificado, es decir, a cada muestra cuantificada se le otorga un código concreto, convirtiendo de esta forma la señal original en una señal digital que podrá tomar dos únicos valores cuando la codificación es binaria, siendo transmitidos los códigos de cada muestra (ver figura 1.10).

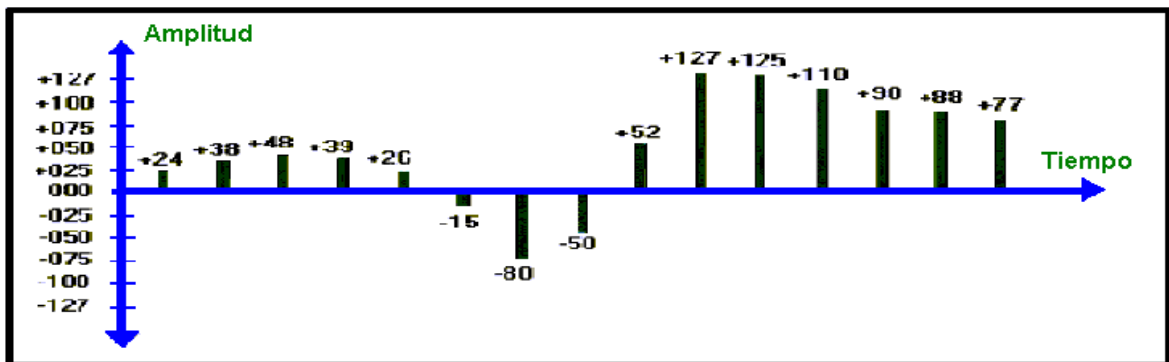


FIGURA 1.10. SEÑAL CUANTIFICADA

Después, se asigna un código binario a cada valor y estos dígitos binarios son transformados en una señal digital usando una de las técnicas de codificación digital-digital. Figura 1.11.

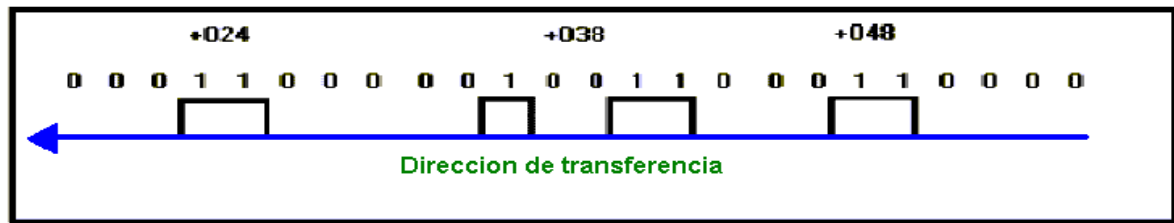


FIGURA 1.11. PCM

Finalmente, se consigue transmitir de forma digital la señal análoga original y, por tanto, realizar una transmisión digital. En la figura 1.12 se puede ver la representación del proceso. PCM es el método de prueba usado para digitalizar la voz en la transmisión de línea-T en los sistemas de telecomunicaciones en América del Norte [8].

Actualmente, se requiere poca información para la reconstrucción de señal analógica. En lo referente al Teorema de Nyquist, para asegurarse que la reproducción exacta de una señal analógica original usando PAM, la tasa de muestreo debe ser al menos el doble de la frecuencia máxima de la señal original.

De este modo, si deseamos muestrear la información de voz que tiene como frecuencia máxima 4000 Hz, la tasa de muestreo debe ser de 8000 muestras/s. A una velocidad de muestreo menor, la información se perdería; a una mayor, no se ganaría información extra.

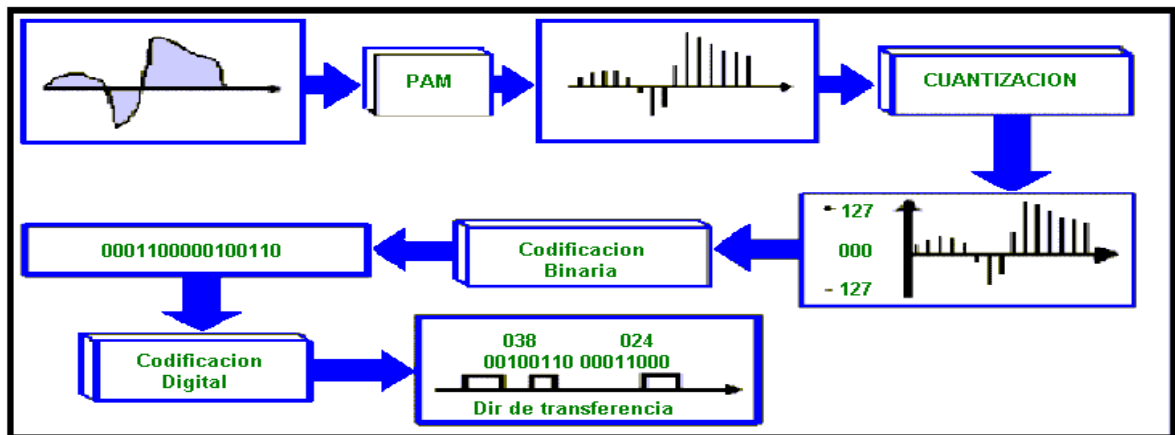


FIGURA 1.12. DE SEÑAL ANALÓGICA A DIGITAL

La primera manifestación con carácter digital tomó lugar cuando se hizo uso de la telegrafía con su codificación binaria. La evolución sufrida por la transmisión digital desde entonces ha sido enorme. La telegrafía transmitía un código que era decodificado en el receptor para componer el mensaje que se había transmitido; actualmente, es la propia voz la que se transmite digitalmente después de haber pasado por una serie de conversiones previa a ser transmitida.

Las principales ventajas que ofrece la comunicación digital son entre otras, una mayor calidad en la transmisión, casi independiente de la distancia. Otra de sus ventajas es que debido a su carácter binario es más robusta en presencia de ruido a lo largo de la transmisión. Por tanto, la transmisión digital puede emplearse en líneas o cables que no presenten las condiciones más favorables para la transmisión.

La importancia que siempre ha tenido la voz en el proceso de comunicación humana se ve, en nuestros días, incrementada por el rápido avance tecnológico. La enorme cantidad de posibilidades que ofrece la tecnología digital, basada en el desarrollo de microprocesadores cada vez más potentes, hace que las aplicaciones de señales de voz se multipliquen.

Entre estas aplicaciones, han permitido disponer de un conjunto de servicios que hasta hace algunos años eran impensables. Redes de integración de voz y datos, diálogo hombre-máquina, síntesis a partir de texto, identificación/verificación de locutores, son algunos ejemplos de los logros alcanzados.

Gracias a la digitalización de la voz se pueden alcanzar mejoras y aplicaciones prácticas tales como:

- a) Mejorar las comunicaciones frente al ruido e interferencias.
- b) Almacenar la voz, procesarla y tratarla exactamente como cualquier otro tipo de información digital, por ejemplo la introducida manualmente por el teclado de un terminal.
- c) Permite la robotización o control sin manos, de equipos, vehículos, ascensores, etc., con lo que los mandos, botones pulsadores, etc. irán desapareciendo y quedarán sustituidos por un micrófono.

Una aplicación práctica del desempeño de este módulo de transmisión de voz puede ser por ejemplo que sirva como sistema multiplexado para apoyo de una red de citofonía para una unidad residencial.

CONCLUSIONES

- ✚ La fibra óptica es un canal físico muy útil capaz de confinar la luz o información fotonica y transportarla para ser entregada a un receptor en el momento de la transmisión
- ✚ La problemática física a través de la fotonica encontró una óptima solución mediante la creación de un medio tan eficiente como la fibra la que a su vez presenta un bajo coeficiente de atenuación.
- ✚ La necesidad de transmitir información con bajo índice de atenuación llevo a la exploración de las ventanas de transmisión y deja una interesante búsqueda de nuevas técnicas y equipos emergentes de aprovechamiento de ancho de banda como actualmente lo requiere EMCALI

CAPÍTULO 2

WDM: COMO SISTEMA DE COMUNICACIÓN POR FIBRA

[2.1 ¿QUE ES WDM?](#)

[2.2 LA NECESIDAD DE CAPACIDAD CONDUCE AL USO DE TECNOLOGÍA WDM](#)

[2.3 VENTAJAS WDM](#)

[2.4 DESVENTAJAS WDM](#)

[2.5 MULTIPLEXACIÓN POR DIVISION DE LONGITUD DE ONDA AMPLIA CWDM \(WDM COARSE\)](#)

[2.6 DWDM \(DENSE WAVELENGTH DIVISION MULTIPLEXING\)](#)

[2.7 COMPONENTES CWDM EN DISPOSITIVOS DE RED](#)

[2.8 APLICACIONES](#)

[2.9 ESTÁNDARES ITU G.694.2](#)

[2.10 TENDENCIAS CWDM](#)

[CONCLUSIONES](#)

La tecnología de Multiplexación por División de Longitud de onda WDM (de sus siglas en ingles) es hoy en día la opción mas utilizada a la hora aprovechar el ancho de banda de una fibra óptica.

Las características que presenta esta técnica emergente en el ámbito de las comunicaciones, sus aplicaciones según sus ventajas y desventajas en una en una Red de Área Metropolitana, son las razones de mayor interés a la hora de sugerir una alternativa de Potenciacion a las Empresas Municipales de Cali.

Ya habiendo conocido el proceso de digitalización de la voz en la fibra, se ve un poco acerca de como son los medios de comunicación por fibra, para hablar un poco acerca de WDM:

Desde 1970, los sistemas de comunicación que emplean la fibra óptica como medio de transmisión han tenido un desarrollo considerable. Este gran auge se debió a las bondades que representa este medio de transmisión como son las bajas atenuaciones. Las atenuaciones introducidas por la fibra óptica para sistemas de comunicación, están dentro del intervalo de 0.2 dB/Km a 5 dB/Km, y las fuentes ópticas pueden acoplar niveles de luz a las fibras ópticas desde varios microwatts a varios miliwatts, y las sensibilidades típicas de los receptores ópticos están en el intervalo de -20 dBm a -60 dBm. Los enlaces por fibra óptica hoy en día se encuentran en aplicaciones de corta y larga distancia, tanto para enlaces punto a punto como punto a multipunto y multipunto a multipunto.

2.1 ¿QUE ES WDM?

Es una tecnología de banda ancha que opera sobre redes de Fibra óptica, capaz de solucionar el problema de incremento de tráfico en tecnologías como: modo de transferencia asíncrono (ATM, de sus siglas en ingles), Jerarquía Digital Sincrona (SDH, de sus siglas en ingles), Ethernet, canal de fibra (Fibre Chanel), etc. (ver figura 3). Además de lograr evitar las ineficiencias a la hora de llevar a cabo la transmisión óptica de información en forma de paquetes, consigue aumentar la capacidad de las fibras ópticas de manera considerable.

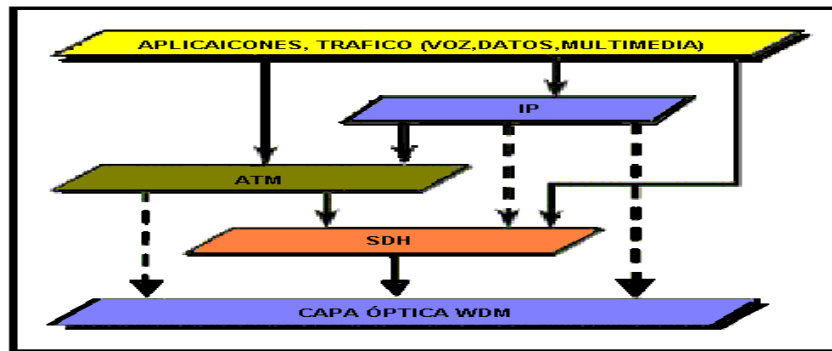


FIGURA 3. MODELO DE TRANSPORTE BANDA ANCHA

2.1.1 FUNCIONAMIENTO DE WDM

Esta tecnología permite el envío simultáneo de diferentes canales a longitudes de onda a través de una sola fibra dentro de la banda espectral desde (1.45 a 1.62) μm . Conceptualmente, esta forma de multicanalización es similar a FDM (Multicanalización por división de frecuencia, de sus siglas en inglés), 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, obteniendo una mayor velocidad en la transferencia de datos (ver siguiente figura).

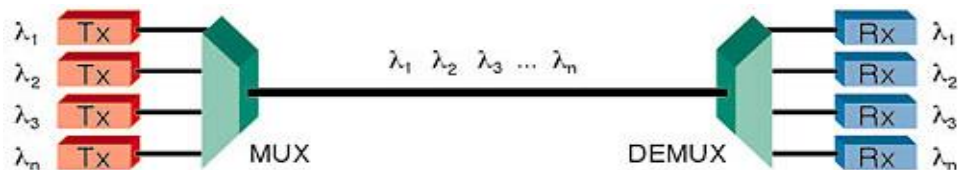


FIGURA 3.1. ESQUEMA DE MULTIPLEXACIÓN WDM

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 tecnología WDM tiene dos variantes WDM-amplia CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing, de sus siglas en inglés) y WDM-denso DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing, de sus siglas en inglés), 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.

2.1.2 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE WDM

Los sistemas de comunicación que utilizan como medio de transmisión una fibra óptica se basan en inyectar en un extremo de la fibra, la señal a transmitir (previamente la señal eléctrica procedente del emisor se ha convertido en óptica mediante un LED o Láser y ha modulado una portadora) que llega al extremo receptor, atenuada y, probablemente con alguna distorsión, debido a la dispersión cromática propia de la fibra, donde se recibe en un fotodetector; es decodificada y convertida en eléctrica para su lectura por el receptor. El tipo de modulación y/o codificación que se emplea con los sistemas de fibra óptica depende de una serie de factores, y algunas fuentes de luz se adaptan mejor a unos tipos que a otros. Así, los LED, con un amplio espectro en el haz luminoso, admiten muy bien la modulación en intensidad, mientras que el láser -un haz de luz coherente se adapta mejor a la modulación en frecuencia y en fase. En el siguiente capítulo se muestra un poco más acerca de los problemas de la fibra en los componentes de un sistema de comunicación.

Los dos métodos tradicionales para la Multiplexación de señales en un sistema de fibra óptica que utiliza luz coherente (láser) han sido multiplexación por División de Tiempo TDM (Time División Multiplexing, de

sus siglas en inglés) y FDM, al que se viene a añadir WDM. Al contrario que las otras técnicas, WDM suministra cada señal en una frecuencia láser diferente, de tal manera que puede ser filtrada ópticamente en el receptor.

En distancias cortas, como es en el entorno de una oficina, la atenuación de la fibra mínima para una longitud de onda de 1,55 (nm) y la dispersión mínima para 1,3 (nm) no presenta un gran problema, pero a distancias mayores, como las que se requieren en los enlaces de comunicaciones a larga distancia, realmente lo es y se requiere el uso de amplificadores/repetidores que regeneren la señal cada cierta distancia. Por ejemplo en los cables trasatlánticos se colocan repetidores cada 75 km que, primero, convierten la señal óptica degradada en eléctrica, la amplifican y la vuelven a convertir en óptica mediante un diodo láser, para inyectarla de nuevo en la fibra óptica. Todo un proceso complejo y que introduce retardos debido a los dispositivos electrónicos por los que ha de pasar la señal. Este inconveniente se evitaría si todo el camino pudiese ser óptico (all-optical), algo que ya es posible gracias a los resultados obtenidos, hace ya más de una década, por investigadores de la Universidad de Southampton, que descubrieron la manera de amplificar una señal óptica en una longitud de onda de 1,55 nm haciéndola pasar por una fibra de 3 metros de longitud dopada con iones erbio e inyectando en ella una luz de láser a 650 nm (fenómeno que se conoce como bombeo o pumping).

Los iones de erbio, que reciben la energía del láser, se excitan cediendo su energía mediante un proceso de emisión estimulada, lo que proporciona la amplificación de la señal, consiguiéndose de esta manera hasta 125 dB de ganancia. Dependiendo de la distancia y del tipo de fibra se pueden requerir amplificadores ópticos para unir dos sistemas WDM, que son las piezas clave en esta tecnología. Los sistemas amplificadores de fibra dopada con erbio comerciales actuales EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier,

de sus siglas en inglés) utilizan, típicamente, un láser con una longitud de onda de 980 o 1.480 nm, en lugar de los 650 nm de las primeras pruebas de laboratorio y la inyección de la radiación (con diodo láser DFB) en el núcleo de la fibra se hace mediante un acoplador direccional especial, viajando ambas señales juntas por el núcleo, necesitándose muy poca potencia debido a las reducidas dimensiones de éste, pero que ha de ser bombeado a lo largo de toda él para evitar resonancias debido a la absorción causada por átomos de erbio no excitados. Cada receptor lleva un filtro óptico constituido por dos espejos que forman una cavidad resonante (DBR) en la que se puede seleccionar la longitud de onda, lo que sirve para sintonizarlo a la frecuencia que se desea separar [4].

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 (STM-16 / OC-48), llegando en algunos casos a 10 Gbps (STM-64 / OC-192). En definitiva, hoy es posible emplear una fibra

óptica para transmitir información a una velocidad del orden de cientos de Gbps o incluso Tbps.

2.2 LA NECESIDAD DE CAPACIDAD CONDUCE AL USO DE TECNOLOGÍA WDM

Antes de relacionar WDM con transmisión de banda ancha es conveniente nombrar a La Jerarquía Digital Sincrona (SDH, de sus siglas en ingles) como el inicio de las telecomunicaciones ópticas y actual estructura (backbone) instalado en EMCALI.

La necesidad para aprovechar más la capacidad de transmisión de las fibras ópticas se hacía necesario el uso de técnicas de mayor eficiencia al momento de transmitir mayor ancho de banda

A principios de los 90, se denominó transmisión WDM en banda ancha a la transmisión de una señal a 1550nm y otra de retorno a 1310nm. Más tarde, a mediados de los 90, el desarrollo WDM permitía espaciamentos más cortos, implementando transporte bidireccional de 2x2 y 4x4 canales a 1550 nm, alcanzando velocidades de 2,5 Gb/s en enlaces punto a punto. Finalmente, a finales de los 90, los sistemas densos (DWDM) llegaron a ser una realidad cuando gran número de servicios y multitud de longitudes de onda comenzaron a coexistir en la misma fibra, llegando a enviar 32/40/64/80/96 longitudes de onda a 2,5 Gb/s y 10Gb/s. Aun así, pronto se verán los sistemas ultra-densos de WDM (UDWDM, por sus siglas en ingles) con transmisión de 128 y 256 longitudes de onda a 10Gb/s y 40 Gb/s por canal, ya que la infraestructura actual de fibra óptica no será suficiente para cubrir la demanda.

Se recuerda la ley de Moore: (la disponibilidad de gran ancho de banda genera nuevas aplicaciones que emplean más ancho de banda, generando y de nuevo la necesidad de mayor ancho de banda), lo cual nos conduce a una necesidad indefinida de fibra y de servicios.

La multiplexación en longitud de onda se desarrolló a gran velocidad para cubrir una necesidad a corto plazo. Lo que no se desarrolló a tal ritmo fue la infraestructura asociada. Así, el más común de los usos de la fibra sigue siendo el enlace punto a punto.

Mediante el uso de tecnología WDM, cada longitud de onda transmitida por la misma fibra soporta un canal independiente y, consecuentemente, aumenta el ancho de banda disponible para diferentes servicios. Por ejemplo, con tecnología estándar SONET, 1344 señales de líneas estándar T1 (de señal SDH) se transmiten por un par de fibras. Empleando tecnología WDM y el mismo par de fibras, se llegan a transmitir hasta 53.760 señales T1.

Con todo este tipo de tecnologías apoyando al sistema DWDM, cada aplicación en la red DWDM tendrá asociada una única longitud de onda, por lo cual, se necesitará un tipo de fibra óptica diseñada para soportar un gran número de longitudes de onda (canales) transmitidas a muy alta potencia. Esta fibra no deberá variar su comportamiento a causa de fenómenos como PMD (Dispersión por cambio de Modo de Polarización) u otros efectos no lineales.

En los resultados de las investigaciones realizadas por Lucent Technologies Bell Labs Innovation se puede ver el gran desarrollo de esta tecnología durante la última década [7]:

En teoría, el ancho de banda total disponible en una fibra monomodo es de 50 THz, mientras que es muy difícil predecir el ancho de banda necesario para cubrir la demanda y los servicios esperados. DWDM está siendo aceptada por la mayoría de los operadores, y seguirá siendo aceptada como la tecnología ideal de transporte en todas sus combinaciones, tanto en tierra como en grandes tramos troncales submarinos.

2.3 VENTAJAS WDM

- ✚ WDM trae consigo una reducción de costos en la instalación de fibra óptica. Al ser mayor su capacidad, debido principalmente al hecho de que se pueden transportar varias longitudes de onda dentro de una sola fibra, será necesario desplegar un número menor de fibras para atender una misma demanda de tráfico. En este sentido, se presenta como una solución mucho más eficiente que SONET/SDH.
- ✚ Permite a los operadores aumentar la capacidad de sus redes de manera incremental, dándoles la posibilidad de ajustarse a la demanda que exista en cada momento. Para ello, les basta con instalar la fibra al momento de montar el proyecto e ir activando sus diferentes longitudes de onda de manera progresiva conforme se vayan necesitando. Esto también se traduce en una mayor rapidez a la hora de afrontar aumentos en la capacidad de la red. Esta característica resulta fundamental para que nuevos agentes entren al mercado sin tener que hacer frente a un elevado costo de inversión inicial.
- ✚ El despliegue de esta tecnología no requiere la instalación de nuevas fibras, puesto que permite la reutilización de las ya instaladas.

- ✚ Cada una de las longitudes de onda puede incluir información transmitida a diferentes velocidades y con distinto formato. Es decir, que WDM permite transportar información de diversas naturalezas y procedente de aplicaciones distintas dentro de una misma fibra.
- ✚ Se puede aumentar la capacidad de la fibra para adaptarse a incrementos de la demanda con sólo cambiar los interfaces de los equipos de transmisión. Por ejemplo, se puede pasar de un STM-16 / OC-48 (que proporciona una velocidad de 2,5 Gbps) a un STM-64 / OC-192 (que alcanza los 10 Gbps) con sólo cambiar las tarjetas de dichos equipos.
- ✚ Permite reducir el número de componentes requeridos en la red óptica y, con ello, su costo total. Por ejemplo, para transmitir 16 flujos de información con SONET/SDH se necesita emplear 16 fibras distintas e incluir 16 amplificadores cada vez que haya que regenerar la señal. Con WDM bastaría emplear 1 sola fibra y 1 único equipo amplificador.
- ✚ WDM incorpora también mecanismos de protección y de recuperación ante caídas de enlaces o nodos de la red, adoptando de esta manera parte de las funcionalidades de SONET/SDH.
- ✚ La posibilidad de disponer de varias longitudes de onda en una sola fibra aporta una mayor flexibilidad a la hora de desplegar los servicios. La asignación de longitudes de onda a calidades de servicio permite ofrecer servicios en los que la calidad esté garantizada y por los que se pueda cobrar, con ello, más que por un servicio básico.

Esta opción suele, no obstante, conllevar un uso poco eficiente de la capacidad en el caso de que los flujos de tráfico sean bajos.

- ✚ Otra posibilidad pasa por la asignación directa de longitudes de onda a clientes. Ello permite dar servicio a usuarios que demandan grandes capacidades de conexión: centros de almacenamiento de datos, redes de área local LAN o RAN (*Regional Area Network*) de gran capacidad y flexibilidad, etc. En estos casos se asigna una longitud de onda a cada cliente y se requiere la instalación de multiplexores en sus dependencias y conmutadores en cada nodo de acceso.
- ✚ Adicionalmente, las labores de gestión y enrutamiento de la red tienden a realizarse completamente en el dominio óptico, lo que les proporciona gran flexibilidad.

2.4 DESVENTAJAS WDM

Sin embargo, y como no podía ser de otra manera, también trae consigo una serie de limitaciones:

- ✚ Las características de las fibras influyen de manera directa en las prestaciones de WDM, pudiendo llegar a limitarlas de manera considerable. Cuanto mayor sea la pureza de la fibra, mayor será el número de longitudes de onda que podrá transportar, así como la velocidad de la información transmitida por cada una de ellas.
- ✚ Se requieren componentes ópticos (láseres, fibra) de gran calidad, que elevan el costo de la solución. Sin embargo, teniendo en cuenta que se produce un ahorro en número de componentes, la solución final resulta más económica.

- ✚ Hay muchos parámetros que difieren en función del suministrador (como la distancia máxima sin amplificación, el número de canales por fibra, el ancho de banda de cada canal o la tasa óptica agregada de salida) y que van a influir de manera directa en la configuración y las prestaciones de los sistemas.
- ✚ Además se requieren técnicos altamente cualificados para la instalación y gestión de este tipo de soluciones. En este sentido están en desventaja con los sistemas SONET/SDH, que presentan unos mecanismos de gestión realmente eficientes y maduros, pese a tratarse de soluciones de un precio realmente elevado.

2.5 MULTIPLEXACIÓN POR DIVISION DE LONGITUD DE ONDA AMPLIA CWDM (WDM COARSE)

La 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. Los despliegues iniciales implicaron longitudes de onda múltiples con espaciamientos de 25nm en la ventana de 850nm sobre fibra multimodo en redes de área local. Sin embargo, en aquellos tiempos fueron simplemente referidos como tecnologías WDM. Los usos incluyeron: distribución de múltiples canales de video, aplicaciones bidireccionales, telemetría y datos de control transmitidos sobre un solo hilo de fibra.

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 metropolitano (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 tecnología WDM más cerca del usuario con unos costes relativamente bajos.

Los sistemas basados en tecnología CWDM usan láser de distribución retroalimentada (DBF, distributed-feedback por sus siglas en inglés) 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 tecnología 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).

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 multimodo. Existe una variante de CWDM denominada WWDM (*Wide Wavelength Division Multiplexing*) 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. Para distancias mayores de 40km se pueden utilizar amplificadores ópticos, generalmente para cuatro longitudes de onda.

2.5.1 MÁS ACERCA DE CWDM

El término CWDM en sí mismo no se empleó en la industria hasta 1996 aproximadamente. En sus primeros tiempos, CWDM no tenía estándares específicos y esto trajo confusión respecto a su significado y uso.

A finales de los años 90, CWDM se convirtió en un tema de interés dentro del Grupo de Estudios de Alta Velocidad IEEE 802.3, para solucionar los problemas de la dispersión y de la pérdida para 10 Gigabit Ethernet en redes de área local y algunas aplicaciones 10xGbE de la red de área amplia. Para las aplicaciones 10 GbE sobre LANs, 4 longitudes de onda en las

ventanas de 850nm o 1310nm fueron propuestas para extender la vida de la fibra multimodo instalada en ambientes de edificios y de campus.

A lo largo de la última mitad de los 90, existieron también referencias a CWDM en aplicaciones de redes de acceso de operadores como Redes Ópticas Pasivas (PONs, por sus siglas en inglés). Sin embargo, por los estándares actuales, estos fueron realmente divisores de banda justo para multiplexar tráfico de subida y de bajada en las ventanas de 1310nm y 1550nm.

Desde el año 2000 se comenzó a promover a la tecnología CWDM y sus estándares para aplicaciones en el área metropolitana. Posteriormente, la ITU (International Telecommunication Union, Unión Internacional de Telecomunicaciones) aprobó el estándar ITU-T G.694.2. “Rejilla espectral para aplicaciones WDM: Rejilla de longitudes de onda de CWDM.” (Junio 2002- anteproyecto).

Las tecnologías “Metro CWDM” ahora abarcan los filtros ópticos y los láseres sin enfriar con espaciamiento de 20nm. Hay 18 longitudes de onda especificadas actualmente con rango de longitudes de onda nominales desde 1270nm hasta 1610nm incluyéndolos.

La Figura 3.2 muestra la rejilla de longitudes de onda de CWDM en las bandas O, E, S, C y L; según ITU-T G.694.2.

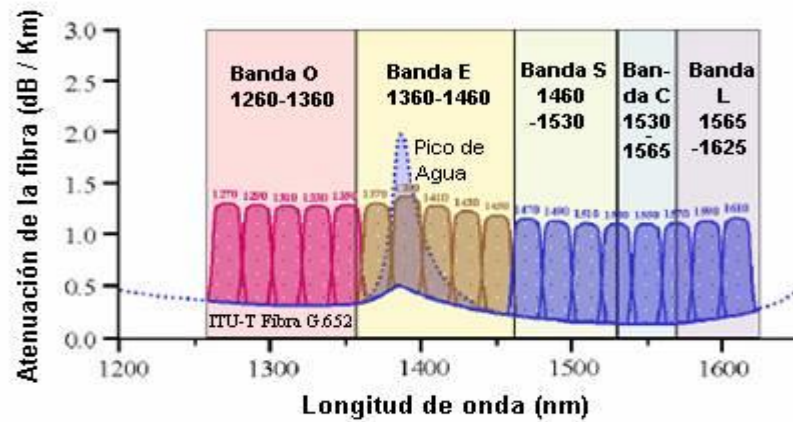


FIGURA 3.2. REJILLA DE LONGITUDES DE ONDA DE CWDM METROPOLITANA SEGÚN ITU-T G.694.2

El abordar las propiedades tendencias y aplicaciones de CWDM frente a DWDM para una futura implementación en la red de fibra óptica de EMCALI es de gran importancia al momento de sugerir una propuesta para su red de acceso.

2.6 DWDM (DENSE WAVELENGTH DIVISION MULTIPLEXING)

La tecnología DWDM (*Dense WDM*), 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, que encarecen en gran medida la tecnología.

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 Unión Internacional de Telecomunicación (UIT). Los láseres DBF se usan como fuentes en sistemas DWDM. La longitud de onda varía 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.

2.7 COMPONENTES CWDM EN DISPOSITIVOS DE RED

2.7.1 FIBRA ÓPTICA OPTIMIZADA CWDM

La más reciente tecnología de fibra ITU-T G.652.C, que elimina substancialmente el pico de agua en 1383nm y de esa manera, libera la banda E para la extensión adicional de su capacidad. Además, la fibra de dispersión cambiante (fibra DSF o DS), que no se puede utilizar con DWDM en la banda C debido a los problemas de la mezcla de 4 longitudes de onda, ahora puede ser reutilizada con las nuevas tecnologías de CWDM metropolitana.

2.7.2 LÁSERES CWDM EXISTENTES

Láseres CWDM modulados directamente: Los láseres CWDM modulados directamente son optimizados para bajos costos. Su diseño se basa en la probada tecnología DFB (Distributed Feed-Back, Retroalimentación Distribuida), la cual proporciona un desempeño bajo de la dispersión. Consecuentemente, dichos láseres son capaces de transmitir a 2.5Gbit/s sobre distancias de 80 kilómetros en fibra de ITU G.652.

VCSELs (Vertical Cavity Surface Emitting Laser, Láseres de emisión de superficie de cavidad vertical): Los VCSELs son un tipo de láser diodo semiconductor que cumplen con las siguientes condiciones: pequeño tamaño, eficiencia elevada y capacidad de modulación de alta velocidad. Su diseño provee ventajas de bajo costo de fabricación.

A continuación se resumen las diferencias entre los transmisores DWDM y CWDM:

- ✚ El volumen ocupado por un transmisor láser DWDM es cerca de ocho veces el volumen de un transmisor coaxial láser CWDM.

- ✚ La energía consumida por un transmisor DWDM es cerca de 20 veces la energía consumida por un transmisor CWDM.

- ✚ Debido a los aspectos anteriores, el empaquetado de un transmisor láser DWDM es más costoso que el de un transmisor láser CWDM sin enfriar. El diseño sin enfriar, significa que no tienen disipadores de calor abultados, circuitos de control ni

refrigeradores termoelectricos (TECs) acoplados junto al chip del láser. Consecuentemente, los componentes del transmisor DWDM tienen típicamente de 4 a 5 veces el costo de sus contrapartes en CWDM.

2.7.3 RECEPTORES

Las interfaces de los receptores utilizan detectores PIN (Positive Intrinsic Negative, Positivo Intrínseco Negativo) o APD (Avalanche Photo-Diode, FotoDiodo de Avalancha) que cubren la banda entera de CWDM de ITU. La ventaja de los detectores PIN es que presentan un costo más bajo y un diseño de recepción más simple. La ventaja de los detectores APD es una mejora de 9-10dB en la sensibilidad del receptor. Estos filtros CWDM proporcionan selectividad de longitud de onda.

Los filtros de CWDM están implementados usando la tecnología de filtro de película delgada (TFF), por lo que son intrínsecamente menos costosos de realizar que los filtros DWDM. En dicho diseño se necesita depositar menos capas en comparación con aquellos para DWDM, los cuales deben cumplir unos requisitos estrictos para las bandas de paso y de guarda. El resultado es un tiempo más corto de fabricación, menos materiales y producciones más altas de filtros CWDM. Adicionalmente, se produce también un ahorro de costos en el empaquetamiento de los TFFs como consecuencia de unos requisitos de alineamiento menos severos, lo cual permite una mayor automatización de los procesos de fabricación. Consecuentemente, los costos del filtro CWDM son generalmente menos de 50% de los costos del filtro DWDM comparable.

2.7.4 REPETIDORES Y AMPLIFICADORES

La expansión de las redes CWDM a mayores distancias y/o a más nodos requiere la introducción de repetidores y/o amplificadores. Los repetidores pueden proporcionar la regeneración 2R (re-conformar y re-sincronizar) o 3R (re-amplificar, re-conformar y re-sincronizar) para superar las limitaciones de dispersión y pérdida; mientras que los amplificadores proporcionan la regeneración 1R (reamplificar) para vencer solamente las limitaciones de pérdida de suministro de energía óptica.

2.8 APLICACIONES

- ✚ Existen diversos escenarios donde CWDM constituye una opción atractiva. Por ejemplo, los sistemas de acceso de banda ancha sobre redes HFC (Hybrid Fiber Coaxial, Híbrido de Fibra y Coaxial) requieren a menudo la transmisión de tráfico de retorno desde los nodos HFC hacia la cabecera situada a unos 75km de distancia de éstos, siendo CWDM un candidato ideal para esta aplicación.

- ✚ Por otra parte, los proveedores de servicio deben ser capaces de acomodar un amplio margen de alcances del sistema y también de proporcionar múltiples servicios (voz, vídeo y datos) a los usuarios finales a distintas longitudes de onda usando una variedad de protocolos y tasas de bits: SONET/SDH, ATM, QAM, ESCON, FICON, DV-6000, OC-3 hasta OC-48, Gigabit Ethernet, etc. En este caso, CWDM se ajusta perfectamente a este paradigma, ya que ofrece ancho de banda escalable de una forma económica. Si en un futuro

se necesitara aumentar la capacidad por encima de los 16 canales, entonces podrían colocarse varios canales DWDM en sustitución de uno o dos canales CWDM de la banda C. Esta técnica se conoce como DWDM-sobre-CWDM y permite hacer crecer el sistema de una forma flexible con un costo inicial reducido.

- ✚ Los sistemas de acceso de bucle de abonado, fibra hasta la acera (FTTC, fiber to the curb), fibra hasta el edificio (FTTB, fiber to the building, de sus siglas en inglés) o fibra hasta la casa (FTTH, fiber to the home, de sus siglas en inglés), caracterizados por alcances de hasta 20km, constituyen otro campo de aplicación donde CWDM puede ser beneficioso.
- ✚ La tecnología CWDM puede admitir diversas topologías: anillos con distribuidor (hubbed ring), punto a punto y redes ópticas pasivas. Además, se adapta correctamente a las aplicaciones de redes metropolitanas por ejemplo, anillos locales CWDM que conectan oficinas centrales con los principales anillos express metropolitanos (DWDM) y a las aplicaciones relativas al acceso, como los anillos de acceso y las redes ópticas pasivas, como se muestra en la siguiente figura 3.3:



FIGURA 3.3. TRANSPORTE CWDM

2.9 ESTÁNDARES ITU G.694.2

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, como se indica en las recomendaciones G.652, G.653 y G.655.

La Recomendación UIT-T G.694.2 se aprobó en virtud del procedimiento de aprobación rápida denominado proceso de aprobación alternativo (AAP). 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.

Entre algunas recomendaciones de esta serie pueden mencionarse las siguientes, como se indica en la siguiente tabla:

<ul style="list-style-type: none"> • UIT-T G.691 (2000) 	– Interfaces ópticas para sistemas STM-64, STM-256 de un solo canal y otros sistemas de la jerarquía digital
<ul style="list-style-type: none"> • UIT-T G.692 (1998) 	– Interfaces ópticas para sistemas multicanales con amplificadores ópticos
<ul style="list-style-type: none"> • UIT-T G.693 (2001) 	– Interfaces ópticas para sistemas intraoficina
<ul style="list-style-type: none"> • UIT-T G.694.1 	– Spectral grids for WDM applications: DWDM frequency grid (aún sin traducción al español)
<ul style="list-style-type: none"> • UIT-T G.957 (1999) 	– Interfaces ópticas para equipos y sistemas relacionados con la jerarquía digital síncrona
<ul style="list-style-type: none"> • UIT-T G.959.1 (2004) 	– Interfaces de capa física de red de transporte óptica

TABLA 3. RECOMENDACIÓN UIT-T PARA WDM

La Recomendación UIT-T G.694.2, la más reciente de la serie, describe los atributos de la capa física de las interfaces ópticas indicados en la siguiente figura:

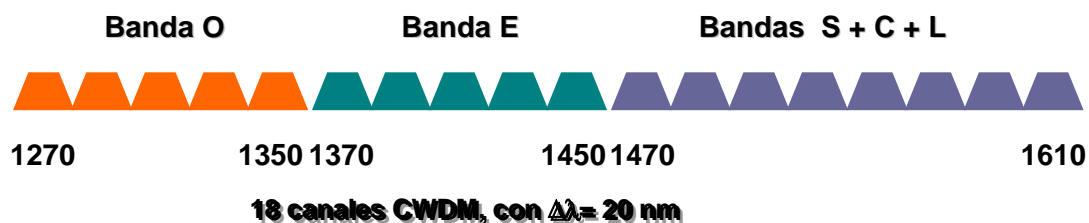


FIGURA 3.4. BANDAS DE TRANSMISIÓN CWDM

2.10 TENDENCIAS CWDM

La transmisión por CWDM está ganando popularidad en aplicaciones tales como acceso metropolitano 10 GbE, CATV, FTTH-PON, y otros sistemas de corto alcance punto a punto con servicios transparentes utilizando protocolos tales como ESCON, FICON, Fiber Channel, Gigabit Ethernet y Fast Ethernet.

Por otra parte, la mayoría de los sistemas CWDM que ya se encuentran implantados en la actualidad transportan tráfico SAN (storage area networking, redes de almacenamiento) de grandes empresas. Esta aplicación se encuentra en auge últimamente y los sistemas CWDM son un candidato ideal debido a su bajo costo.

CONCLUSIONES

CWDM en EMCALI.

El área metropolitana de Cali tenía los siguientes requerimientos: las distancias que sus enlaces manejaban son cortas; la fibra instalada estaba subutilizada; además de SDH ya instalado, podría ser soportado por CWDM; las cantidades de información que se emigraría era típico de una ciudad de 600.000 líneas; y la capacidad para pagar el ancho de banda requerido es limitado. Dadas estas características, CWDM comenzó a emerger como alternativa obvia. Sin embargo, el producto CWDM que había sido desarrollado para aplicaciones LAN de cortas distancias necesitó ser rediseñado para proporcionar una gama de longitudes de onda más adaptables a los requerimientos de distancia de la transmisión en aplicaciones metropolitanas.

Estas son algunas de la razones de la sugerencia de implementación de equipos de tecnología CWDM en la red de fibra óptica de las Empresas Municipales

- ✚ El desarrollo de CWDM responde al crecimiento de la demanda de redes de fibra. CWDM es un método de combinar múltiples señales en un rayo láser de varias longitudes de onda para transmitir a lo largo de cables de fibra óptica, tal que el número de canales es menor que en DWDM.

- ✚ Los principales componentes de los sistemas CWDM son: fibra óptica monomodo como la que ya ha sido instalada, debido a las cortas distancias que manejan los nodos de EMCALI no es necesario la aplicación de repetidores.
- ✚ El bajo costo, el pequeño consumo de energía y las ventajas del tamaño reducido de los componentes de CWDM que resultan de su diseño sin necesidad de enfriamiento, permite un ahorro considerable de corriente eléctrica y espacio.
- ✚ CWDM ha evolucionado de forma que ha sido posible su aplicación en ambientes LAN, MAN. Un campo atractivo de aplicación fueron 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.
- ✚ CWDM permite el desarrollo de nuevas aplicaciones altamente demandantes de ancho de banda, al contar con plataformas que pueden sustentarlas. Aunque CWDM tiene la capacidad de multiplexar un par de fibra óptica en 8 longitudes de onda (o chorros) que están en capacidad de potencializar enormemente la Red instalada, también esta en la capacidad de operar bajo una plataforma de multiplexación mas densa DWDM con gran afinidad en equipos.

- ✚ La transmisión por CWDM está ganando popularidad en aplicaciones tales como acceso metropolitano 10 GbE, CATV, FTTH-PON, y otros sistemas de corto alcance punto a punto con servicios transparentes utilizando protocolos tales como ESCON, FICON, Fiber Channel, Gigabit Ethernet y Fast Ethernet. Además últimamente se encuentra en auge el transporte de tráfico SAN de grandes empresas y los sistemas CWDM son un candidato ideal debido a su bajo costo. Se espera que en el futuro CWDM se convierta en un importante nicho de mercado.

CAPÍTULO 3

LA FIBRA ÓPTICA

[3.1 TRANSMISIÓN POR FIBRA](#)

[3.2 DISTORSIONES LINEALES](#)

[3.3 DISTORSIONES NO LINEALES: AUTOMODULACIÓN DE FASE \(SPM\)](#)

[3.4 EFECTOS NO LINEALES EN WDM: MODULACIÓN DE FASE CRUZADA \(XPM\) Y MEZCLA DE CUATRO ONDAS](#)

[3.5 RANGOS TÍPICOS PARA FENÓMENOS LINEALES Y NO LINEALES](#)

[3.6 SOLITONES ÓPTICOS](#)

[3.7 SISTEMA WDM DE ALTA CAPACIDAD](#)

[3.8 ESTIMACIÓN DE EFECTOS DEGRADANTES PARA LA RED DE FIBRA ÓPTICA DE EMCALI](#)

[CONCLUSIONES](#)

La exploración en el mundo de las fibras ópticas nos lleva a las preguntas como: ¿será la fibra óptica capaz de soportar una potenciación en una Red de Telecomunicaciones de área metropolitana? , ¿Que efectos degradantes existen en una transmisión óptica y que tanto afectan en esta potenciación? En el transcurso de este capítulo se hará alusión al tipo de problemas mas comunes que presentan los sistemas de comunicación por fibra, denominados “efectos limitantes” y por ultimo se estimara posibles rangos a presentarse en la Red de EMCALI.

Es una guía de onda formada por un núcleo generalmente de silicio con índice de refracción n rodeada por una capa de cubrimiento externa de

índice de refracción menor n_2 , con el fin de aprovechar las propiedades de reflexión total entre los dos medios.

Las fibras que poseen un índice de refracción abrupto o de escalón, se denominan <<step- index>> y se diferencian de las fibras de índice gradual en las interfaces de capa externa y el núcleo llamadas <<graded-index>>, ver figura 3.1

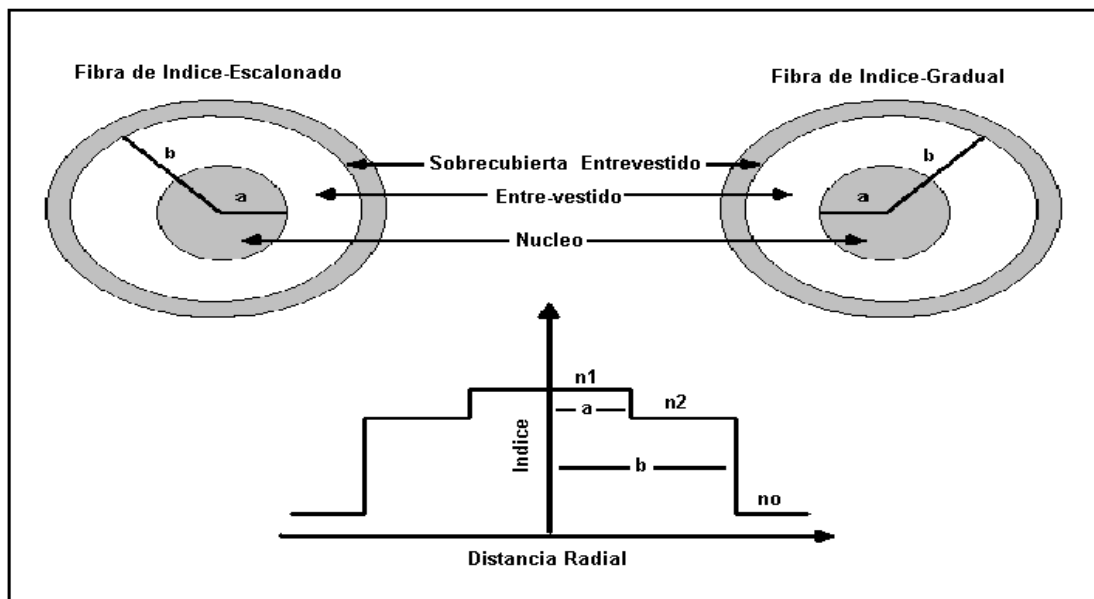


FIGURA3.1. CORTE TRANSVERSAL DE UNA FIBRA ÓPTICA Y LA RESPECTIVA VARIACIÓN DE ÍNDICE DE REFRACCIÓN EN FUNCIÓN DE LA COORDENADA RADIAL

Un parámetro importante de una fibra óptica es su diferencia relativa de índice de refracción n y de interface núcleo de la capa dada por:

$$\Delta = (n_n - n_c) / n_n \quad (1)$$

Donde n_n y n_c son el índice de refracción del núcleo y capa externa respectivamente.

Otro parámetro importante es V que indica el número de modos que puede propagar la fibra y esta dada por:

$$V = K_o a \sqrt{n_n^2 - n_c^2} \quad (2)$$

Donde a es el radio de la fibra, $K_o = 2\pi / \lambda$ es el número de onda y λ es la longitud de onda. Teóricamente la diferencia entre un solo modo (monomodo) y múltiples modos (multimodo) en una fibra esta determinada por el parámetro $V < 2.045$ para un modo.

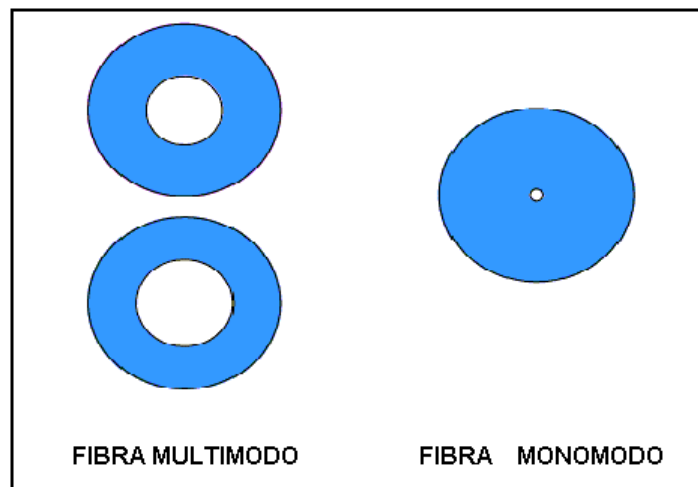


FIGURA 3.2. PARÁMETRO V DE DIFERENCIA MONOMODO- MULTIMODO

Las fibras monomodo típicamente tienen una diferencia relativa de índice de refracción $\Delta \sim 0.003$, para un radio $r < 5 \mu m$, mientras que las multimodo cuentan con un radio típico de $25 - 30 \mu m$. Sin contar que estas últimas sufren el fenómeno de dispersión modal que entre otras palabras significa diferentes modos viajan a diferentes velocidades, conduciendo a un ensanchamiento temporal de los pulsos mucho más degradante que la dispersión cromática. Debido a estas razones no se recomienda el uso de

fibras multimodo las cuales han sido relevadas a trasmisiones del rango de decenas de kilómetros.

La capa externa de la fibra de radio b e índice de refracción n_c tendrá un radio menos crítico cumpliendo con la condición de confinar completamente a un modo.

$b = 62.5\mu m$, para un valor típico para ambos tipos de fibra.

Un parámetro muy importante de la señal que viaja por fibra óptica es su pérdida de potencia, influyendo en la potencia transmitida mediante la siguiente relación:

$$P_t = P_o \exp(-\alpha L) \quad (3)$$

Donde P_o es la potencia al comienzo de la fibra (Potencia inducida), α es un coeficiente de atenuación y L la longitud recorrida de la fibra.

El coeficiente α es expresado en dB/Km y su conversión entre unidades lineales y decibeles esta dada por:

$$\alpha_{dB} = -(10/L)\log(P_T / P_o) = 4.343\alpha \quad (4)$$

En la siguiente gráfica se muestra como el coeficiente de atenuación depende de la longitud de onda.

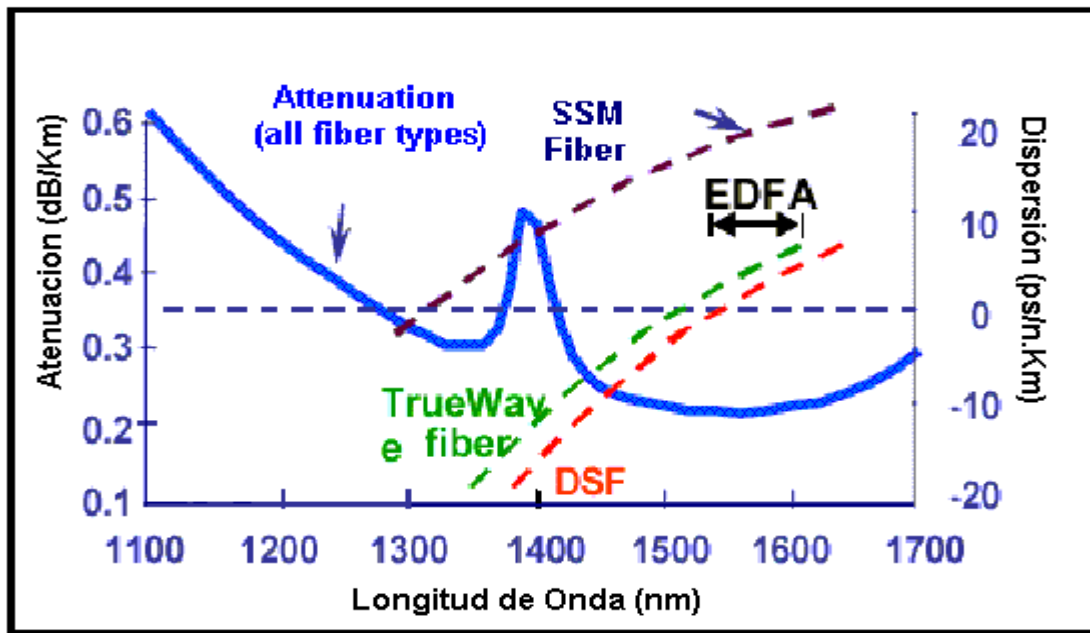


FIGURA 3.3. CURVAS DE ATENUACIÓN Y DISPERSIÓN PARA DIFERENTES TIPOS DE FIBRAS ÓPTICAS (TOMADO DE REFERENCIA [3]).

Se observa el mínimo valor de coeficiente de atenuación $\alpha = 0.2 \text{ dB/Km}$, en la longitud de $\lambda = 1.5 \mu\text{m}$ perteneciente a la tercera ventana para su mejor rendimiento de transmisión en la fibra [8].

Existe desde el año 2000 fibras que corrigen la resonancia de absorción del material a los $1.4 \mu\text{m}$ presentando bajas pérdidas en la región espectral de $1.3 - 1.6 \mu\text{m}$ entre la segunda y la tercera ventana de transmisión.

3.1 TRANSMISIÓN POR FIBRA

La información digital es el método que usan casi todos los sistemas ópticos de alta capacidad, modulando su amplitud es decir su intensidad de una onda portadora. Esta información digital es representada por la presencia o

ausencia de luz asignando los valores de los bits <<1>> y <<0>> respectivamente en el instante de su detección.

La tasa o velocidad de transmisión del sistema B esta relacionada con el tiempo asignado T , para un bit determinado (llamado bit slot), mediante la relación $B=1/T$. Un pulso estará representado por el bit <<1>> en un intervalo de tiempo dado << T >>, a su vez el bit 0 será la ausencia del pulso en el tiempo << T >>.

La tasa de bit B no es más que la velocidad de transmisión de un sistema por lo general dada en Gbits/s (10^9 bit/s), Tbits/s (10^{12} bit/s) para sistemas de alta capacidad.

Los componentes que hacen posible la transmisión en una fibra óptica son:

3.1.1 TRANSMISOR

Lleva a cabo el proceso de codificación tomando una señal eléctrica (una llamada telefónica) y la trasforma en una secuencia de bits óptica con algún formato determinado.

Este dispositivo no es más que un láser de transmisión continua (CW, continuous wave) que para sistemas ópticos de alta capacidad opera en la tercera ventana $\lambda = 1.55\mu m$ acompañada por un modulador el cual controla la secuencia eléctrica de pulsos (bits) a transmitir. Es decir el bit <<1>> será un estado de baja pérdida y este dejara pasar la luz del láser y bloqueará la luz ante un estado de alta pérdida para un bit <<0>>.

La relación del bit <<1>> y el bit <<0>> es conocida como “grado de extensión” e indica proporcionalmente el valor de la relación señal -ruido.

3.1.2 CANAL FÍSICO DE COMUNICACIÓN (FIBRA ÓPTICA)

En este trabajo es de gran importancia la capacidad de transmisión que posee la fibra óptica considerando las distorsiones que puede sufrir esta, especialmente para un ambiente de Red de Área Metropolitana.

Ya se ha considerado la fibra como un medio físico que permite que los bits lleguen del transmisor al receptor. Ahora para una transmisión real debemos tener en cuenta la adición de ruido y distorsiones lineales que afectan la información degradándola generando grandes problemas en la recepción.

Estas degradaciones lineales son aquellas que “no dependen” de la potencia de la señal transmitida a diferencia de las degradaciones no lineales que son aquellas que “sí dependen” de la potencia de la señal transmitida. La resistencia a estos tipos de degradaciones es un buen parámetro para la elección de un formato de comunicación

3.1.3 RECEPTOR

Realiza el proceso de fotodetección, donde recibe la secuencia de bits ópticos para transformarlo a bits eléctricos, además realiza la sincronización o la llamada recuperación de reloj.

Este dispositivo es capaz de fijar valores de los bits recibidos mediante la comparación con un umbral ó un valor fijo, si este umbral es superado el

detector fijará el valor de bit a <<1>> y de igual forma fijará el valor de bit <<0>> si el valor detectado es inferior al umbral.

Las técnicas de señalamiento (over head) requieren mayor ancho de banda en la transmisión permitiendo reducir la tasa de errores en el receptor. Hoy en día se habla de una tasa de error de 10^{16} bits transmitidos (un bit de error de cada diez millones de bits).

3.2 DISTORSIONES LINEALES

Distorsión cromática: En una fibra óptica el índice de refracción de su núcleo (n_n) depende de la longitud de onda de luz que se propaga en su interior (λ). A consecuencia de la dispersión del material, la duración temporal del pulso aumenta a medida que esta se propaga.

El mecanismo que se indica en siguiente figura esta expuesto a la detección de errores en la presencia de potencia óptica de los bit <<0>>.

$$T_1/T_o = \sqrt{1 + (B_2 L / T_o^2)^2} \quad (5)$$

Esta relación indica en forma apropiada el factor de ensanchamiento temporal de un pulso de forma gaussiana.

Donde T_1 es la duración del pulso a la salida de la fibra, T_o es la duración inicial del pulso, B_2 es el llamado parámetro de dispersión de velocidad de grupo, este parámetro es consecuencia de la dispersión del material (núcleo de la fibra óptica) e indica como varia la velocidad del pulso con la frecuencia.

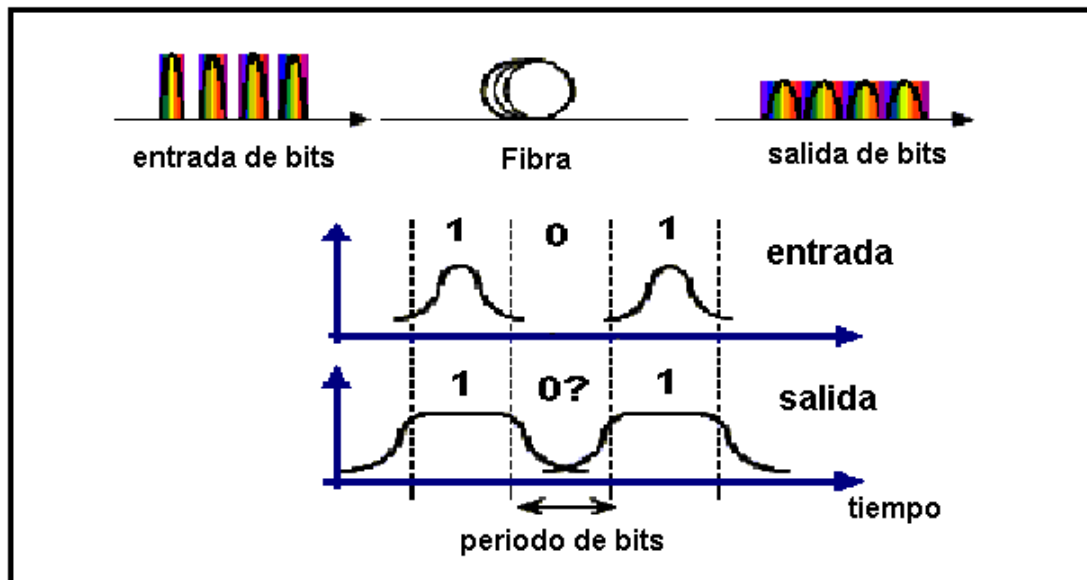


FIGURA3.4. EFECTO DE LA DISPERSIÓN CROMÁTICA SOBRE LA TASA DE ERROR EN UN SISTEMA DIGITAL (TOMADO DE REFERENCIA [8]).

Los pulsos cortos de un bit <<1>> sufren ensanchamiento temporal causado por la dependencia de n_n con λ . O lo que es igual diferentes colores viajan a diferentes velocidades dentro de la fibra.

Al fijar la cota superior al coeficiente T_1/T_0 mediante la condición.

$$B\sqrt{|B_2|L} \leq 1/4 \quad (6)$$

Con B como la tasa del sistema, se lograría que los pulsos transmitidos conserven la mayor parte de su energía en el intervalo temporal asignado siendo una forma de estimar el impacto de una dispersión cromática.

Por ejemplo, en una fibra de 30 km con un parámetro de $B_2 = -20ps^2 / Km$ se podrá transportar una tasa máxima de 10.Gbit/s [3], para fibra monomodo estándar de 1.55 μm .

En la práctica se emplean módulos compensadores de dispersión (DCM, por sus siglas en inglés) capaces de cancelar la dispersión cromática acumulada.

3.3 DISTORSIONES NO LINEALES: AUTOMODULACIÓN DE FASE (SPM)

3.3.1 EFECTO KERR ÓPTICO

Este tipo de degradaciones tienen origen en la dependencia de índice de refracción del núcleo de la fibra con la intensidad de los pulsos transmitidos. El índice de refracción queda expresado como:

$$n(I, \omega) = n_0 + n_2 I \quad (7)$$

Donde n_0 es el índice de refracción a baja intensidad y su dependencia con la frecuencia es el origen de la dispersión cromática. Con n_2 como el índice de dispersión no lineal, I es la intensidad de pulsos transmitidos (Potencia por unidad de área).

A consecuencia del efecto kerr óptico un pulso con potencia $P_{(t)}$ propagado a través de una fibra de longitud L ensancha su espectro una cantidad $\Delta\omega$ y despreciando la atenuación de la fibra esta dada por la siguiente expresión:

$$\Delta\omega = \gamma L * dP_{(t)} / dt \quad (8)$$

Donde γ es el parámetro no lineal, expresado como $\gamma = n_2 \omega_0 / A_{eff} c$, con ω_0 como la frecuencia central del pulso, A_{eff} como la área efectiva del modo el cual aproximadamente vale πr^2 con r como el núcleo de la fibra y c la velocidad de la luz en el vacío. En la práctica γ varía típicamente en el rango de $1.2 - 2(W * Km)^{-1}$.

El efecto de la SPM es, por tanto, “el de aumentar el ancho espectral de los pulsos transmitidos”. En la práctica este efecto por sí solo no afecta el desempeño del sistema de transmisión. Sin embargo, la combinación de efectos de dispersión cromática con efectos de SPM puede conducir a la degradación de los pulsos transmitidos o, en algunos casos muy particulares, a una mejora del rendimiento del sistema.

La potencia de señal transmitida decrece como consecuencia de la atenuación α de la fibra óptica. Sin despreciar la atenuación de la fibra el espectro se incrementa en la siguiente proporción:

$$\Delta\omega = \gamma L_{eff} * dP_{(t)} / dt \quad (9)$$

La corrección de longitud efectiva $L_{eff} \sim 1/\alpha$. Una señal con $L \gg L_{eff}$ experimenta efectos lineales hasta una longitud efectiva, es decir mientras la potencia de la señal sea grande.

3.4 EFECTOS NO LINEALES EN WDM: MODULACIÓN DE FASE CRUZADA (XPM) Y MEZCLA DE CUATRO ONDAS (FWM)

WDM: es una técnica que permite que varias longitudes de onda transportan información por separado sean multiplexadas y transmitidas por una misma fibra.

Esta técnica ha multiplicado la capacidad en transporte de información, sin embargo a consecuencia del índice de refracción no lineal (n_2) las diferentes longitudes de onda o canales interactúan dando origen a fenómenos como la “modulación de fase cruzada XPM” y “mezcla de cuatro ondas”.

Similar al comportamiento de Modulación de Autofase, la modulación de fase cruzada actúa con un ensanchamiento espectral que sufre un canal debido a una potencia $P_{1(t)}$, ahora en presencia de un canal $P_{2(t)}$, dada por la siguiente expresión se tiene un incremento adicional:

$$\Delta W = \gamma L * dP_{1(t)} / dt + \gamma L * dP_{2(t)} / dt \quad (10)$$

El primer término es la SPM y el segundo es la XPM. El efecto XPM es producir una interacción entre diferentes canales. En presencia de dispersión este efecto conduce a distorsiones de pulsos transmitidos y presenta un factor limitante en el desempeño de sistema WDM [3].

La mezcla de cuatro ondas FWM consiste en la creación de nuevas frecuencias a partir de frecuencias de los canales transmitidos en un sistema WDM. Es decir una frecuencia f_{abc} es producida por interacción de frecuencias f_a, f_b, f_c .

La formación de este proceso depende fuertemente de la dispersión de la fibra.

En el caso de la fibra DSF de dispersión muy baja la generación de tonos FWM es muy alta, e incluso puede producir una frecuencia en la interacción FWM para determinados espaciamientos de frecuencias entre canales WDM. Esta producción de una cuarta frecuencia afecta el desempeño de la siguiente manera:

La frecuencia generada f_{abc} crece en forma parásita a expensas de la frecuencia de potencia transmitida.

Existe el caso donde esta frecuencia (f_{abc}) coincida con la frecuencia de otro canal transmitido causando interferencia con este, degradando así la calidad de los pulsos transmitidos al momento de recepción.

En la práctica el uso de fibras NZ-DSF de dispersión cromática acotada según el rango de dispersión de onda de interés es suficiente para combatir los efectos de mezcla de cuatro ondas FWM.

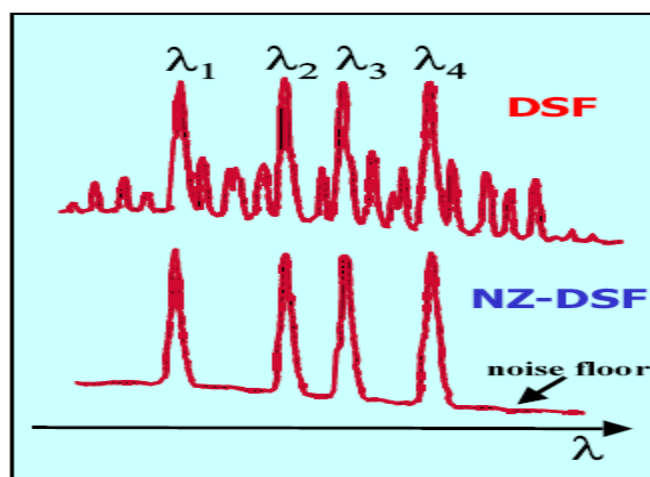


FIGURA 3.5. EFECTO FWM Y SU DEPENDENCIA CON DISPERSIÓN DE LA FIBRA, CORRECCIÓN DE FIBRA NZ-DSF (TOMADO DE REFERENCIA [8]).

También suele considerarse el uso de espaciamiento en frecuencias no uniforme a lo largo de la banda de transmisión a fin de evitar interferencia entre las frecuencias transmitidas y las generadas. Sin embargo los efectos FWM no son tan importantes como los XPM en el desempeño de un sistema.

3.5 RANGOS TÍPICOS PARA FENÓMENOS LINEALES Y NO LINEALES

Para el caso de la atenuación la escala de longitud efectiva L_{eff} esta dada por la proporción $L_{eff} \sim 1/\lambda$. En el caso de la longitud de dispersión L_D y longitud no lineal L_{NL} esta dada por las siguientes expresiones.

$$\text{Longitud de dispersión: } L_D = T_o^2 / |B_2| \quad (11)$$

$$\text{Longitud No-Lineal: } L_{NL} = 1/(\gamma P_o) \quad (12)$$

Donde T_o y P_o son la duración y la potencia inicial del pulso transmitido respectivamente. Estas longitudes características permiten prever que efecto será relevante en un sistema dado. Por ejemplo un sistema que opere a 10 Gbits/s ($T_o = 100 \text{ ps}$), sobre fibra SSMF ($B_2 = -20 \text{ ps}^2 / \text{Km}$) a una potencia inicial $P_o = 2 \text{ mW}$ tiene $L_D = 500 \text{ Km}$ y $L_{NL} \sim 410 \text{ Km}$. Para el caso donde la longitud de la fibra es tal que $L \ll L_D, L_{NL}$ los efectos dispersivos y no lineales serán pequeños y no muy considerables. Es decir, para un segmento de $L = 50 \text{ Km}$ solo se debe tener en cuenta la atenuación de la fibra. En cambio, si la potencia inicial es de $P_o = 20 \text{ mW}$, cambia el valor de $L_{NL} \sim 40 \text{ Km}$, a un valor comparable con la longitud del enlace; en este caso, los efectos no-lineales serán más importantes que los dispersivos y no podrán despreciarse.

Operando a una tasa $B = 40.Gbits/s$, la longitud de dispersión para la fibra SSMF es de $L_D \sim 30Km$, de modo que los efectos dispersivos se vuelven muy importantes en los enlaces cortos.

Estas longitudes solo estiman la importancia relativa de estos efectos, sin embargo una simulación numérica y experimental nos acerca más a un dato real de un sistema en particular

3.6 SOLITONES ÓPTICOS

Los efectos de dispersión cromática y automodulación de fase tienen asociadas longitudes específicas que nos permiten prever que características de propagación serán las dominantes. Para el caso de efecto dominante existen soluciones analíticas muy interesantes, para el caso de evolución de la señal transmitida implicaría simulaciones numéricas y/o montajes experimentales complicados en la detección de evolución del pulso.

Existe el caso donde fenómenos físicos como dispersión cromática y automodulación de fase de magnitudes similares, logren obtener una solución analítica.

Básicamente la dispersión cromática reacomoda las componentes de frecuencias de pulsos debido a la diferencia de velocidad que experimental. En el llamado régimen de dispersión modal caracterizado por el parámetro GVD $B_2 > 0$ las frecuencias bajas (rojas) viajan más rápido que las frecuencias altas (azules), de forma contraria también existe el régimen de

dispersión anormal el cual tiene un comportamiento opuesto con un $B_2 < 0$ siendo el más utilizado por la mayor parte de las fibras para su tercera ventan de transmisión.

En la automodulación se crean nuevas frecuencias a medida que se propaga el pulso.

Ambos fenómenos dispersiones cromática y SPM tienen como resultado la aparición de un chirp en los pulsos transmitidos, es decir los pulsos adquieren un exceso de ancho espectral. Es posible mostrar que en el régimen anormal ($B_2 < 0$) y sin considerar la atenuación de la fibra los efectos GVD y SPM pueden cancelarse exactamente para un pulso cuya forma inicial es de la forma secante hiperbólica ($\text{sech}(T/T_0)$).

Cuando la longitud de dispersión es igual a la longitud no lineal $L_D = L_{NL}$ se obtiene la relación entre los parámetros:

$$\gamma P_0 = |B_2| / T_0^2 \quad (13)$$

Un pulso de la forma secante hiperbólica y de potencia y duración iniciales que satisfagan esta condición logran propagar un pulso sin cambios en su perfil temporal espectral.

Este pulso o milagro de las comunicaciones de nueva generación llamado soliton no sufre distorsión alguna no importa cuan lejos se propague, es tema de gran importancia en el desarrollo de nuevas tecnologías.

Comercialmente la transmisión solitónica ya es posible, sin embargo su implementación ha sido muy reducida debido a la presencia de atenuación de la fibra.

Los últimos avances al desarrollo de soluciones que combatan la atenuación han llevado al uso de las llamadas fibras de decrecimiento de dispersión DDF (Fibras de atenuación decreciente de forma exponencial inversamente proporcional a la pérdida de potencia).

3.7 SISTEMA WDM DE ALTA CAPACIDAD

Este sistema está constituido de un transmisor WDM, un medio de fibra óptica y un receptor WDM. El transmisor está formado de n-transmisores con láseres de longitudes de onda $\lambda_1 \dots \lambda_n$ que son multiplexados por un router de guía de onda, luego amplificados por una fibra óptica dopada con erbio (conocido como EDFA, de sus siglas en inglés) con el fin de compensar la pérdida del segmento posterior, volviendo a la potencia de la señal al nivel que tenía al comienzo del sistema y finalmente transmitidos por el enlace.

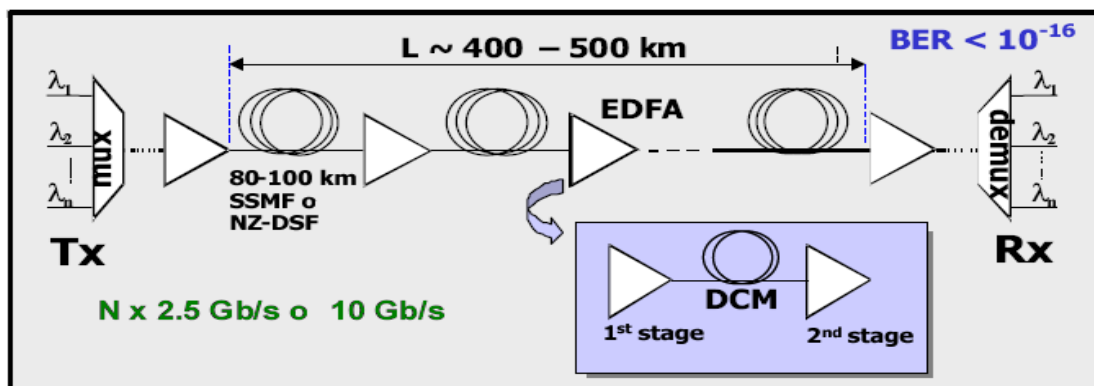


FIGURA 3.6. SISTEMA WDM (TOMADO DE SISTEMA WDM WWW.CONECTRONICA.COM)

El enlace es una secuencia de segmentos (o span) de fibra anidada con módulos de compensación de dispersión DSM seguidos de un EDFA. Típicamente los segmentos miden entre 80-120 Km y 40-50 para enlaces submarinos, para conservar una adecuada relación señal/ruido.

La atenuación en 100 Km de fibra es de es de aproximadamente de 22 dB correspondiente a un factor de atenuación de la señal de aproximadamente 160 veces, por tanto estos amplificadores exhiben ganancias de 17-24 dB. Es importante que un EDFA además de amplificar la señal también introduzca ruido degradando la relación señal/ruido. Sumado a esto la degradaciones lineales (dispersión cromática) y no lineales (efectos de SPM, XPM y FWM) determinan la distancia máxima que la señal transmitida puede recoger aun pudiendo ser detectada con una adecuada tasa de error.

El ultimo segmento del sistema WDM es el receptor el cual consiste de un demultiplexor que separa los canales y un detector/receptor detctando los canales individuales por sendos receptores.

Actualmente, los sistemas WDM disponibles comercialmente son capaces de transmitir mas de 160 canales a una tasa de 10 Gbits/s cada uno, es decir un total de 1.6 Tbits/s para cubrir distancias hasta de 500 Km.

3.8 ESTIMACIÓN DE EFECTOS DEGRADANTES PARA LA RED DE FIBRA ÓPTICA DE EMCALI

Para el caso de un posible sistema WDM a implementar en la red de acceso en la Red de las Empresas Municipales de Cali, no seria necesario un sistema

tan robusto WDM de alta capacidad. Solamente con transmisor sencillo de un láser de potencia suficiente para inducir el ancho de banda de cada uno (que se describirá en el siguiente capítulo según la proyección de potenciación entregada por EMCALI) de los 39 nodos que conforman la Red de fibra óptica de EMCALI, o visto de otra forma la potencia necesaria para transferir el caudal de información de cada nodo a través de el medio físico instalado actualmente. De igual forma el equipo receptor tendrá la capacidad necesaria para demultiplexar la información recibida

Para el caso de los efectos degradantes en la transmisión se recurre a introducir datos típicos y dimensionados de atenuación y potencia en un sistema óptico para estimar las longitudes de dispersión y de no-linealidad posibles en EMCALI

Si el sistema con que se cuenta operase a una dimensionada tasa de 10 $Gbits/s$ (a un tiempo $T_o = 100ps$), sobre una fibra monomodo SSMF (con un $B_2 = -20ps^2 / Km$) a una potencia inicial muy considerable para un promedio metropolitano de $P_o = 2mW$, tendría una longitud de dispersión $L_D = 500Km$ y una longitud de dispersión no- lineal $L_{NL} \sim 410Km$. Estas longitudes de (L_D y L_{NL}) superan en longitud a cualquier segmento entre nodos de la ciudad. Es decir se tiene el caso donde la longitud de un segmento de la fibra dimensiono a 10 Km es tal que $L \ll L_D, L_{NL}$, se esta frente al caso en que los efectos dispersivos y no lineales son pequeños y no muy considerables, y solo se deberá tener en cuenta para el diseño la atenuación de la fibra.

En cambio, si la potencia inicial es dimensionada a $P_o = 20mW$, cambia el valor de $L_{NL} \sim 40Km$, a un valor todavía mayor a cualquier longitud del enlace; en este caso, los efectos no-lineales aun serán despreciables

Se puede decir que la Red de fibra con que actualmente cuenta EMCALI esta en optimas condiciones, y no habría de considerar dispersión cromática ni dispersión no-lineal, además técnicas de conservación de pulso de transmisión o pulso solitonico no se hacen necesarias en un ambiente metropolitano.

La buena condición de la fibra en base a dispersión, optimizaría toda la Red para una eventual Potenciacion a través de una técnica de aprovechamiento de ancho de banda como WDM.

Sin embargo la evolución de las telecomunicaciones cuenta con problemas como la eficiencia espectral

La eficiencia espectral depende de la Modulación y del esquema de codificación. Tiene como propósito fundamental aumentar la distancia de transmisión.

En el caso de la Red de Fibra de las Empresas Municipales de Cali el único parámetro que hay que considerar respecto a la degradación de la señal óptica, es la atenuación de la fibra. Aun si las distancias son cortas.

La proximidad o separación entre canales una vez definida la tasa de bits, B , no es una función de la eficiencia espectral.

CONCLUSIONES

- ✚ La topografía de la Red de fibra Óptica está exenta de problemas dispersivos cromáticos y de no-linealidad debido al rango que se maneja en sus longitudes y su potencia de entrada.
- ✚ La buena condición de la fibra frente a posibles degradaciones para un sistema WDM de alta capacidad, sienta un buen precedente para una eventual Potenciación a través de una técnica de aprovechamiento de ancho de banda como lo es WDM.
- ✚ La capacidad de una fibra óptica en el rango de 1.2 a 1.6 μm es del orden de los 50 Thz. Para un valor típico de $S/N = 100$, la capacidad de del ancho es, 350 Tb/s, aproximadamente.

CAPÍTULO 4

DESCRIPCIÓN DE LOS TIPOS DE FIBRA Y LA RED EXISTENTES

[4.1 SISTEMAS DE CONMUTACION TDM](#)

[4.2 MEDIOS DE TRANSMISIÓN](#)

[4.3 GESTION DE REDES Y SERVICIOS DE TELECOMUNICACIONES - GERTEL](#)

[4.4 RED DE SEÑALIZACIÓN](#)

[4.4 RED PÚBLICA DE DATOS \(ATM/FR\)](#)

[4.5 DESCRIPCIÓN DE LA RED XDSL](#)

[4.6 NODO DE INTERNET](#)

[4.7 RED DE TRANSMISIÓN](#)

[CONCLUSIONES](#)

El interés de este capítulo es el de presentar los principales componentes que conforman la actual Red de Fibra de la Empresas Municipales de Cali “EMCALI”.

Información actual y necesaria como la ubicación longitud y cantidad de líneas que poseen los enlaces de los 39 nodos existentes.

Además de conocer el sistema de conmutación TDM (601.000 líneas en planta) de 30 centrales telefónicas y tres de ellas, Colon2, Guabito 3,

Centro 5, son centrales tandem combinadas (Función Tándem y líneas telefónicas). Las centrales con sus líneas se describen a continuación:

EDIFICIO	CENTRALES	DIRECCIÓN
Colon	Col2, Col3, Col4	CLL 14 No. 33-40
Limonar	Lim1, LIM2	CRA 75 CLL 15
Centro	Cen1, Cen5, Cen6, Cen3	CRA 7 No 13-122
Tequendama	Teq2, Teq6, Teq3	CLL. 6 No. 44-110
Guabito	Gua3, Gua4, Gua5	CLL 34 No 8A- 165
Salomia	Sal1, Sal2	CRA 1D No 52-05
La Flora	Lfl1	AV 3N No 53N-11
Peñón	Pen1	CRA 30E No. 1-24
San Fernando	Sfd2, Sfd3	CRA 25 No 5-35
Versalles	Ver2, Ver3	AV. ESTACION No. 5AN-56
Prados del Sur	Pds1	CRA 80 CALLES 2C Y 2B
Unión de Vivienda	Uvi4	CRA 41F No 46-00
Poblado	Pob5	CLL 72T No. 28-04
San Luís	Snl4	CRA 1A5 No 72-05
Yumbo	Yum3	CRA 4 No. 5-01
Alfonso López	Alf2	CLL 73 CRA 7aN
Marroquín	Mar3	CRA. 27 CLL 103

TABLA 4.1. DISTRIBUCIÓN DE LAS CENTRALES EN LOS EDIFICIOS DE EMCALI

4.2 MEDIOS DE TRANSMISIÓN

la conexión los equipos SDH y PDH a nivel troncal y de acceso se utilizan cables de fibra óptica de diferentes capacidades, instalados en ductos y terminados en ODFs o cajas terminales ópticas en las diferentes centrales o premisas de grandes clientes. En la figura Red de Fibra Optica se describe la Red de Fibra Optica de EMCALI, además de flujos por medio de par cobre y sistema wifi de protección.

El tipo de fibra que se utiliza es monomodo, de acuerdo con la recomendación ITU-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.

La siguiente figura 4. Indica la distribución de la Red de Fibra Óptica

A continuación se presenta la longitud de los tramos:

TRAMO	NOMBRE DE TRAMOS INSTALADOS	FECHA INSTALACION	TOTAL FIBRAS	LONGITUD (mts)
CEN - ERT	CENTRO - ERT	15-Feb-96	10	3,153
CEN - SFD	CENTRO - SAN FERNANDO	2-Jan-94	10	2,669
CEN - TEL	CENTRO - TELECOM	11-Aug-93	8	665
CEN - TER	CENTRO - TERRON	26-Jun-96	8	4,985
CEN - VER	CENTRO - VERSALLES	1-Jan-94	8	2,708
COL - CEN	COLON - CENTRO	29-Dec-92	10	4,028
COL - GUA	COLON - GUABITO	27-Jul-93	8	5,674
COL - LIM	COLON - LIMONAR	15-May-92	8	4,582
COL - SFD	COLON - SAN FERNANDO	14-Dec-92	8	3,111
COL - TEQ	COLON - TEQUENDAMA	14-Dec-92	8	3,242
COL - UVI	COLON - UNION DE VIVIENDA	3-Jan-94	8	4,093
GUA - ALF	GUABITO - ALFONSO LOPEZ	19-Feb-93	8	4,545
GUA - CEN	GUABITO - CENTRO	18-Dec-92	10	2,833
GUA - POB	GUABITO - POBLADO	9-Mar-97	12	6,663
GUA - SAL	GUABITO - SALOMIA	15-Dec-95	10	4,386
GUA - SNL	GUABITO - SAN LUIS	29-Dec-94	8	7,435
GUA - VER	GUABITO - VERSALLES	14-Sep-93	8	4,599
LFL - CNC	LA FLORA - CENCAR	15-Apr-96	10	9,287
LFL - SAL	LA FLORA - SALOMIA	15-Oct-95	10	2,942
LFL - VER	LA FLORA - VERSALLES	3-Nov-95	10	3,607
LIM - PAR	LIMONAR - PARCELACIONES	15-Dec-96	10	7,343
SAL - SNL	SALOMIA - SAN LUIS	26-Feb-96	10	3,425
LIM - PRD	LIMONAR - PRADOS DEL SUR	9-Oct-98	10	3,036
SFD - PRD	SAN FERNANDO - PRADOS DEL SUR	9-Oct-98	10	6,305
SFD- TEL	SAN FERNANDO - TELECOM	12-Aug-93	8	2,660
SFD- TEL2	SAN FERNANDO - TELECOM II	5-May-96	10	12,911
SFD - TEQ	SAN FERNANDO - TEQUENDAMA	18-Oct-95	10	3,185
UVI - POB	UNION DE VIVIENDA - POBLADO	16-Dec-96	10	2,708
VER - ERT	VERSALLES - ERT	15-Aug-95	8	1,379
YUM - CNC	YUMBO - CENCAR	15-Apr-96	10	4,383
PAR - JAM	PARCELACIONES - JAMUNDI	10-Feb-97	10	11,651
CEN - PEÑ	CENTRO - PEÑON	16-Mar-97	8	2,020
SFD - PEÑ	SAN FERNANDO - PEÑON	16-Mar-97	10	2,724
POB - MAR	POBLADO - MARROQUIN	2-Jul-98	12	2,560
MAR-DESE	MARROQUIN - DESEPAZ	5-Mar-99	12	3,486
ALF-MAR	ALFONSO LOPEZ - MARROQUIN	30-Mar-99	12	5,532

TABLA 4.2. DISTANCIAS DE LOS TRAMOS DE FIBRA ÓPTICA FUENTE. EMCATEL. DEPARTAMENTO DE PROYECTOS - NOVIEMBRE DE 2005

4.3 GESTIÓN DE REDES Y SERVICIOS DE TELECOMUNICACIONES - GERTEL

EMCALI tiene implementada la plataforma de Gestión de Redes y Servicios de Telecomunicaciones denominada GERTEL, orientada por los principios del modelo de gestión de la UIT TMN (recomendaciones: M3010), mediante la cual se ha logrado optimizar y automatizar las funciones de administración, operaciones de O&M de Centrales Telefónicas, a través de sus componentes de Acceso, servicios de Gestión de Alarmas, y Colección de Datos y Ordenes de Trabajo, facilidades de activación y desactivación automática de servicios.

4.3.1 CONEXIÓN EN RED

El Tándem está conectado a la red corporativa de EMCALI, de esta forma los usuarios conectados a esta red y debidamente autorizados pueden hacer las emulaciones de terminal para hacer consultas. El computador Tándem y el AS-400 de Sitel están comunicados a través de la red corporativa intercambiando archivos (FTP) con protocolo TCP/IP.

4.3.2 CENTRALES TELEFONICAS DE LA RED

EMCALI tiene 30 centrales telefónicas de tecnología TDM en servicio cuyas cantidades de líneas POTS se describen a continuación:

Matriz	Central	Concentrado	Tipo	Líneas
ALF2	Alfonso L 2		EWSD	25.164
CEN1	Centro 1		AXE	17.408
CEN3	Centro 3		EWSD	13.351
CEN3		Banco de O	EWSD	512
CEN3		Edificio C	EWSD	296
CEN3		Terron C	EWSD	6.892
CEN5	Centro5 TA		AXE	5.248
CEN6	Centro 6		AXE	16.312
COL2	Colon2 TAM		AXE	4.976
COL2		Dada	AXE	250
COL2		Inal. Urbana	AXE	240
COL2		Inal. Urbana	AXE	240
COL2		Peñas N	AXE	240
COL2		Pico Aguila	AXE	960
COL2		Tres Cruces	AXE	800
COL3	Colon 3		AXE	19.696
COL4	Colon 4		EWSD	26.324
GUA3	Guabito3 TA		AXE	4.792
GUA4	Guabito 4		AXE	15.048
GUA5	Guabito 5		EWSD	33.528
LFL1	La Flora 1		AXE	25.680
LIM1	Limonar 1		AXE	32.184
LIM2	Limonar 2		EWSD	22.628
LIM2		Gratamira	EWSD	156
LIM2		Multicentro	EWSD	160

LIM2		Parcelaciones 2	EWSD	4.028
LIM2		Unicentro	EWSD	160
MAR3	Marroquin 3		EWSD	15.360
MAR3		Desepez 4	EWSD	1.296
PEN1	Peñón 1		AXE	14.336
PEN1		Arrovohondo	AXE	384
PEN1		Buitrera 1	AXE	500
PEN1		Chorro Plata	AXE	256
PEN1		Formatex	AXE	384
PEN1		Nubia	AXE	512
PEN1		Seguros Bol	AXE	384
ALF3	Alfonso L3		EWSD	5.367
CEN1	Centro 5		AXE	5.190
CEN3	Centro 7		EWSD	5.014
CEN3		Banco de O	EWSD	4.837
CEN3		Edificio C	EWSD	4.661
SFD2	San Fdo 2		EWSD	20.668
SFD2		Brisa C	EWSD	160
SFD2		Buitrera 2	EWSD	160
SFD2		Caribella	EWSD	156
SFD2		Desepez 2	EWSD	1.416
SFD2		Desepez 5	EWSD	1.216
SFD2		Montebello1	EWSD	312
SFD2		Montebello2	EWSD	312
SFD2		Montebello3	EWSD	156
SFD2		Poblado 2	EWSD	1.192

SFD3	San Fdo 3		FETEX	15.144
SFD3		Desepez 1	FETEX	882
SFD3		Desepez 3	FETEX	882
SFD3		Saladito	FETEX	418
SNL4	San Luis 4		AXE	32.766
SNL4		Cencar 2	AXE	512
SNL4		Dolores 1	AXE	768
SNL4		T/quimicas	AXE	384
TEO2	T/dama 2		AXE	16.288
TEO2		Jamundi 2	AXE	1.000
TEO2		Yumbo 2	AXE	1.664
TEO3	T/dama 3		NEAX	1.652
TEO6	T/dama 6		EWSD	18.804
TEO6		Jamundi 3	EWSD	8.000
TEO6		T/dama 5	EWSD	640
UVI4	Union de V		AXE	27.586
UVI4		Cavasa 2	AXE	256
VER2	Versalles 2		EWSD	22.056
VER2		Aeropuerto	EWSD	412
VER2		Cencar 1	EWSD	156
VER2		Chipichape1	EWSD	304
VER2		Chipichape2	EWSD	580
VER2		Imecol	EWSD	160
VER2		Mulalo 1	EWSD	156
VER2		Mulalo 2	EWSD	156
VER2		Rimax	EWSD	156
VER2		Zona F Aero	EWSD	144

VER2		Zona F Pac	EWSD	156
VER3	Versalles 3		FETEX	16.161
YUM3	Yumbo 3		EWSD	9.992
	Total			539.737

TABLA NO 4.3. CANTIDADES DE LÍNEAS POTS

Las tres centrales Tándem son centrales Tándem combinadas (Función Tándem y líneas telefónicas)

4.4 RED DE SEÑALIZACIÓN

La red de señalización CCN7 esta constituida por tres nodos de punto de transferencia de señalización (PTS) ubicados en las centrales Tándem (Colon2, Guabito 3, Centro 5) y las demás centrales locales tienen funciones de punto de señalización (PS) . Cada PS tiene enlaces de señalización con dos PTS. La señalización con los clientes es tipo MFCR2 y DTMF.

La red de señalización por canal común se ilustra en la Figura 4.1 “Red de señalización de la red de EMCALI”

4.4.1 SISTEMA DE INTERCONEXIÓN

Las centrales de conmutación se interconectan a través de enlaces a 2 Mbps utilizando las redes de SDH y PDH descritas en la “RED DE TRANSMISION”.

4.4.2 SISTEMA DE GESTIÓN GERTEL

GERTEL es un Sistema de Gestión que hace el tratamiento centralizado de la información de gestión de las centrales de conmutación AXE, EWSD y FETEX.

La información de gestión procedente de la central telefónica, ensamblada en el paquete X.25 (Recomendación CCITT año 1980), es convertida por una pasarela (Cisco Router) en paquetes IP y con la implementación de un multiplexor inverso (FCD-IP) 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

4.4.3 SERVICIOS

EMCALI presta actualmente en el nodo de Internet los siguientes servicios:

Acceso conmutado a Internet, Acceso dedicado: por RDSI, por la Red Pública de Datos, por ADSL, Correo Electrónico: clientes residenciales, clientes Empresariales (correo virtual), Conmutador virtual.

4.4 RED PÚBLICA DE DATOS (ATM/FR)

4.4.1 NODOS DE CONMUTACIÓN

La red de datos de EMCALI consta de conmutadores ATM en su backbone, basados en una infraestructura de conmutación de paquetes, con switches de la familia Magellan de Nortel. El backbone está implementado con 6 equipos Passport 160 (PP) y 13 equipos Passport 50 (614 puertos instalados) versión PCR 4.2 con los cuales también se atienden los requerimientos de alta velocidad (backplane 1.6 Gbps). El acceso está implementado con equipos DPN-100/3. Utiliza tecnología ATM con las cuales se pueden integrar todas las plataformas y aplicaciones existentes en el mercado, de conformidad con los estándares emanados de 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 con interfaces eléctricas a través de la red SDH de EMCALI E.I.C.E. E.S.P. 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.

4.4.2 SINCRONIZACIÓN

La Red de Datos recibe la señal de las centrales tandem sincronismo a través de un sistema E3 usado para la interconexión con la red nacional de las mismas características perteneciente a otro operador. Esta señal es recibida en el Passport de Versalles y luego distribuida a los demás Passport y DPN de la red.

4.4.3 TARIFICACIÓN

La facturación de los servicios se hace mediante tarifas planas dependientes de la velocidad, la cobertura y el tipo de protocolo de acceso utilizado. El sistema de información sobre el cual se soporta el proceso de facturación se llama NGN MANAGER. Este sistema está basado en JAVA y fue desarrollado por la firma IP TOTAL SOFTWARE.

4.4.4 TIPOS DE ACCESO

El acceso esta implementado con equipos DPN-100 para lo cual se cuenta con 42 equipos DPN-100/3 y 2 equipos DPN-100/20 (406 puertos instalados) y se utilizan para pequeñas soluciones dada su baja capacidad de conmutación (3600 pps).

Para acceder los switches, la red cuenta con equipos G.SHDSL, HDSL, 2B1Q y asincrónicos del proveedor GDC, con los cuales se ofrece la última milla. Cerca del 90% de los accesos son de este tipo.

Radios punto a punto.

Fibra óptica.

Coaxial.

4.4.5 SISTEMAS DE INTERCONEXIÓN

Los switches se interconectan a través de enlaces E1 y E3 utilizando la red de SDH y PDH sobre Fibra Optica descrita más adelante en la RED DE TRANSMISION.

4.5 DESCRIPCIÓN DE LA RED XDSL

Los Multiplexores DSLAM existentes son IP DSL Switch Cisco 6260, conformados cada uno por: Un (1) Cisco 6260 DSL Multiplexer Chassis, Dos (2) Cisco 6260 48V DC Power Supply Module, Una (1) NI2, 1 E3 WAN, 2 E3 Subtend, 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 G.SHDSL	40	32	56	24	16

4.6 NODO DE INTERNET

El nodo de Internet de Emcali tiene la topología descrita en la Figura 5.7: Nodo de Internet.

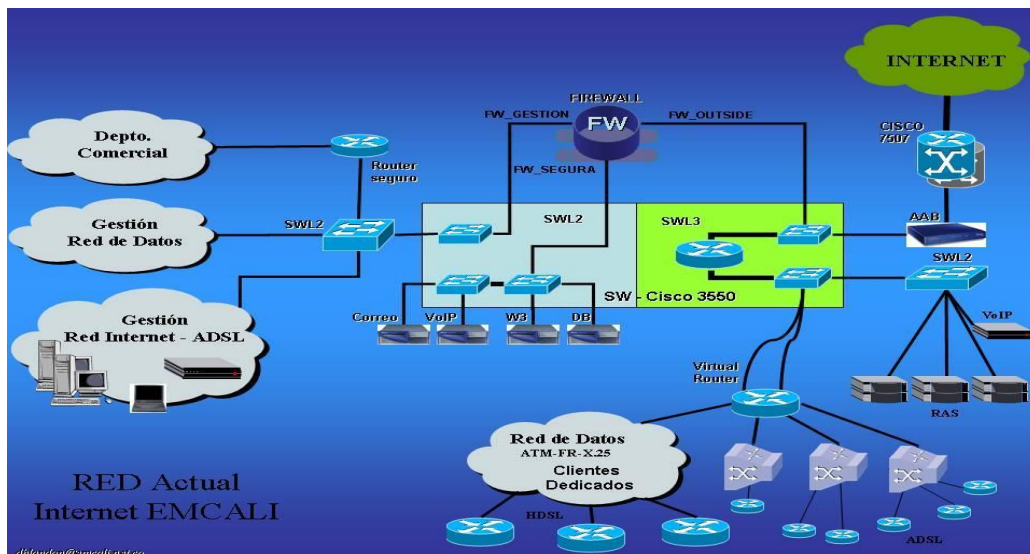


FIGURA 4.3. NODO DE INTERNET

Enumeración de los elementos:

2500 modems digitales de RAS (Servidores de Accesos Remoto)	MAX TNT Lucent
Enrutador de Borde	APX 8000 Lucent
Servidor de Base de Datos Oracle 8i	CISCO 7507
Servidor de Correo (sendmail)	SUN 280R Solaris 9
Servidor de Radius (NavisRadius 4.3 Lucent)	SUN 280R Solaris 9
Servidor de Hosting y FTP (Apache)	SUN 280R Solaris 9
Firewall	SUN 280R Solaris 9
Switch de Core	Duplicado CISCO PIX 535
GateKeeper (MVAM)	CISCO 3550
Gateway de voz	IBM @-server
Administración de usuario, servicios y tasación	MAX 6000 Lucent
	NGN Manager

TABLA 4.4. DESCRIPCIÓN DE ELEMENTOS NODO INTERNET

Los usuarios se conectan a los NAS (RAS) (MAX TNT, APX8000), los cuales están interconectados con la red PSTN a través de PRI's y son autenticados por un servidor AAA RADIUS (Navisradius de Lucent).

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.

Adicionalmente, se presta el servicio “Navegue y Hable” mediante el cual los usuarios pueden recibir o hacer llamadas de VoIP mientras están navegando, a través de un Gateway de VoIP (MAX 6000 de Lucent) y Gatekeeper (MVAM) con protocolo H.323.

Los servicios de Internet están descritos en el numeral 5.1.11 SERVICIOS DE VALOR AGREGADO Y EMPRESARIALES de este capítulo.

4.7 RED DE TRANSMISIÓN

Los nodos de transmisión son multiplexores SDH nivel 2 (STM-4) 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, PDH140, E3 y E1. Además se poseen tarjetas de alimentación y conmutación en configuración 1+1. En la Figura 4.4 “Red_SDH” se enumeran los elementos de la Red SDH de EMCALI

4.7.1 SISTEMA DE GESTIÓN

Para gestionar los multiplexores SDH se posee el sistema de gestión EM-OS V5.0 el cual se encuentra instalado en una estación HP Unix que está ubicada en la central telefónica de Colon.

4.7.2 SINCRONIZACIÓN

La red de sincronización del sistema SDH recibe dos señales de reloj estrato 1, del operador de larga distancia Telecom, procedente de los nodos Telecom-Centro y Telecom-Buitrera, los cuales se distribuyen por medio de las líneas ópticas STM4. Por medio de las interfaces de 2 Mbps se sincronizan los diferentes equipos que utilizan como medio de transporte la red SDH.

4.7.3 SERVICIOS

Con los equipos SDH y PDH se realiza la interconexión entre las 30 centrales digitales de conmutación, equipos de la red de datos, concentradores, ISP's, otros operadores de telefonía pública básica, telefonía móvil celular, operadores de larga distancia, enlaces punto a punto y grandes clientes.

CONCLUSIONES

- ✚ Se identificaron los sectores que intervienen en los nodos instalados, que más participaran en la proyección de los abonados que conformaran la Red de Acceso para la nueva Red Multiservicios.
- ✚ Los tramos de fibra instalada cuentan con la longitud según lo estimado en el capítulo anterior, donde se refleja la buena condición de la fibra monomodo ante problemas de degradación de señal permitiendo una Potenciación mediante equipos WDM.
- ✚ La Potenciación es posible ya que la plataforma SDH tenía subutilizada los tramos de fibra existentes, y el caudal de información operado bajo equipos CWDM permitirá incrementar enormemente su ancho de banda.

CAPÍTULO 5

PROYECTO POTENCIACIÓN DE LAS 140.032 LINEAS

[5.1 LAS UNIDADES DE ACCESO MULTIPLE](#)

[5.2 SOFTSWITCH](#)

[5.3 NÚCLEO O CORE ÓPTICO](#)

[5.4 GATEWAY DE TRONCAL Y GATEWAY DE SEÑALIZACIÓN](#)

[5.5 ARQUITECTURA DE RED](#)

[5.6 MANEJO DE TRÁFICO](#)

[5.7 TRANSMISIÓN PARA LAS UNIDADES DE ACCESO MULTISERVICIO \(UAMS\)](#)

CONCLUSIONES

El proyecto de Potenciación de las 140.032 líneas está dirigido a la implantación de una Red Multiservicios para EMCALI. La búsqueda de esta Red convergente de integración de servicios de voz, datos y video conlleva a describir en este capítulo la intervención de nuevos elementos como Softswitch, gateways de troncales, Gateway media, que determinan las condiciones que ayudaran a sugerir una solución con base a equipos para una red de acceso a la plataforma multi-servicios para las 140.032 nuevas líneas y 13.000 puertos XDSL.

En principio es necesario mencionar elementos previos para la postura de esta solución:

5.1 LAS UNIDADES DE ACCESO MULTIPLE

MAUs (Multiple Access Unit, de sus siglas en ingles) proporcionan a la Red de Acceso altas prestaciones y seguridad a las fallas; y en caso de salir una estación de servicio de cualquiera de los tres anillos no afectara a las demás, similares a los HUB en Ethernet.

Las UAM se conectan y paquetizan el tráfico de las 140.032 líneas POTS y los 13.000 puertos XDSL. Una característica esencial de las UAM es la propiedad de enviar el tráfico paquetizado de sus líneas POTS y de los puertos XDSL por la red de acceso hacia la red de paquetes, cumpliendo con la funcionalidad de Gateway de medicación. Además paquetizan y enrutan el tráfico por la red de acceso hacia la red de paquetes.

Luego de la incursión de la UAM, la nueva red de acceso estará conformada de switches de nivel 2/3 con funcionalidades MPLS que se interconectan por medio de los hilos de fibra óptica monomodo, disponibles en la red de fibra actual, configurada en anillo.

5.2 SOFTSWITCH

Además de las UAM y los switches, la incorporación del softswitch controlara 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 (Figura 2). 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 implementación de la Red de Nueva Generación basado en un core (núcleo) MPLS que interconecta tres anillos de unidades de acceso múltiple (UAM) sirve como plataforma de integración para aplicaciones e intercambio de servicios.

INCORPORACIÓN DE LAS 140.232 LÍNEAS POTS

Se parte inicialmente de la incorporación de 95.232 líneas de reposición y de la ampliación de las 43.000 nuevas líneas (de las 138.232 líneas POTS) en los tres anillos de unidades de acceso múltiple (UAM). Según se muestra en la siguiente figura.

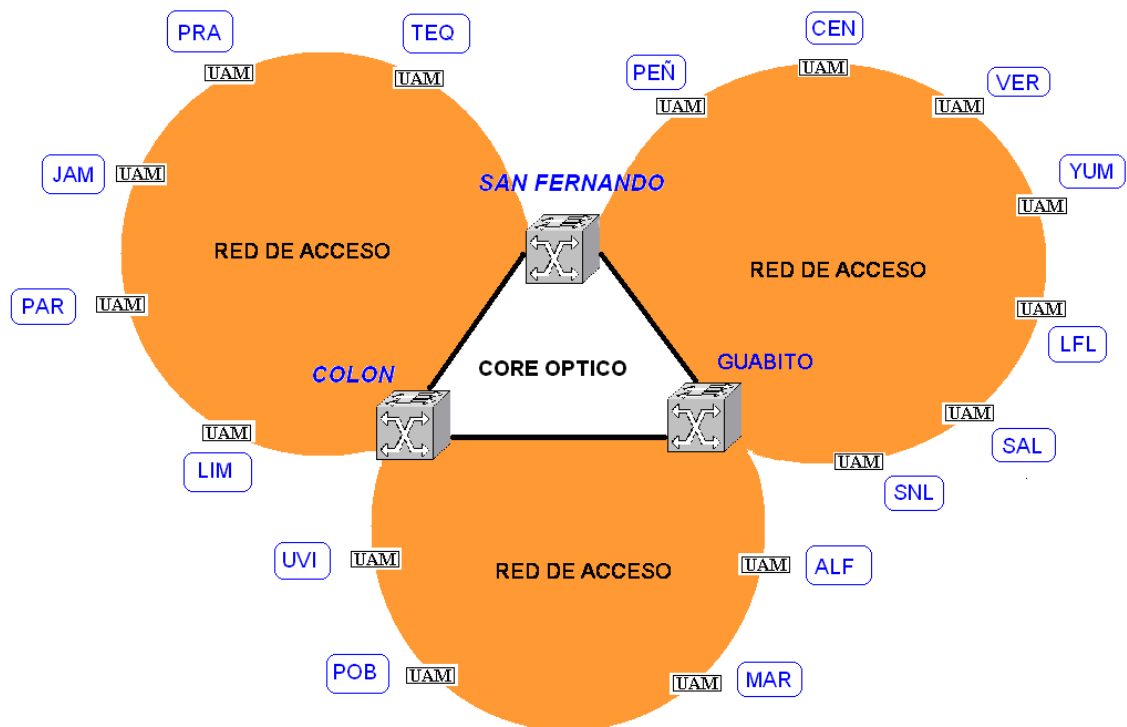


Figura 1 distribución de las UAMs en la nueva red de fibra

FIGURA 5.1. DISTRIBUCIÓN DE LAS UAM EN LA RED DE ACCESO

5.3 NÚCLEO O CORE ÓPTICO

La interconexión de estas UAMs será posible a través de un core o núcleo óptico en forma de triangulo que ara las veces de traductor de lenguaje de protocolos entre los variados tipos de tecnología de la nueva Red de Acceso.

5.4 GATEWAY DE TRONCAL Y GATEWAY DE SEÑALIZACIÓN

Las 140.232 líneas POTS requerirán de una Gateway de Troncal la cual hará las veces de interfaces troncales de circuitos de la antigua PSTN a la red de paquetes y/o viceversa. Además también es necesaria una Gateway de señalización para convertir la señalización CCN7 en señalización propia de una red de paquetes y a la inversa.

Los servicios residen 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

5.5 ARQUITECTURA DE RED

En la figura 5.2 que muestra la Arquitectura de Red, se indica la conmutación paquetizada de las líneas POST y los puertos XDSL (esquema de interconexión).

Esta Red esta conformada por los nodos situados en Colon, Guabito y San Fernando.

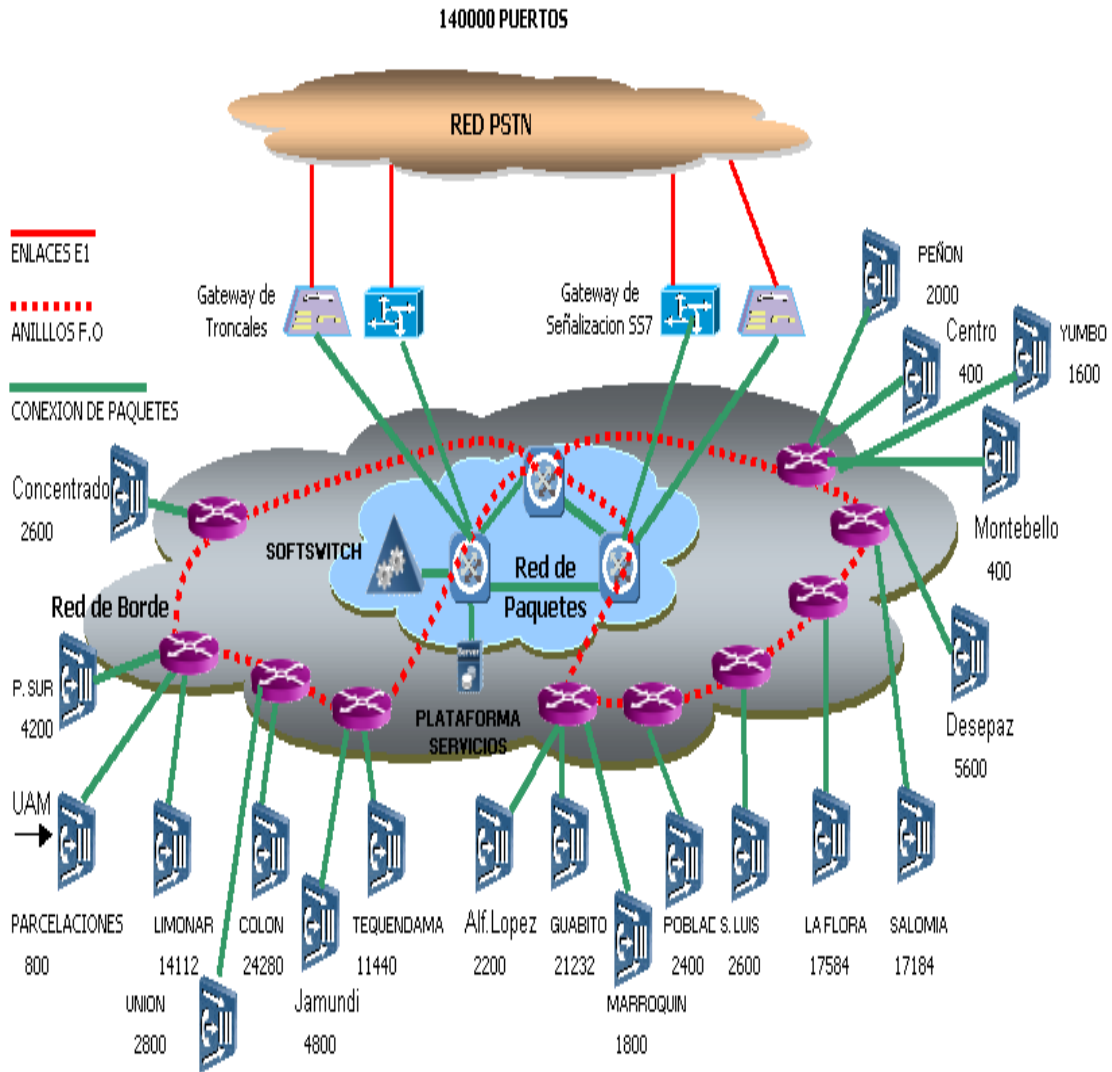


FIGURA 5.2. ARQUITECTURA DE RED

5.6 MANEJO DE TRÁFICO

A continuación se presenta el manejo de tráfico de la antigua Red PSTN hacia la Red de Paquetes.

TOPOLOGIA DE LA RED MULTISERVICIOS

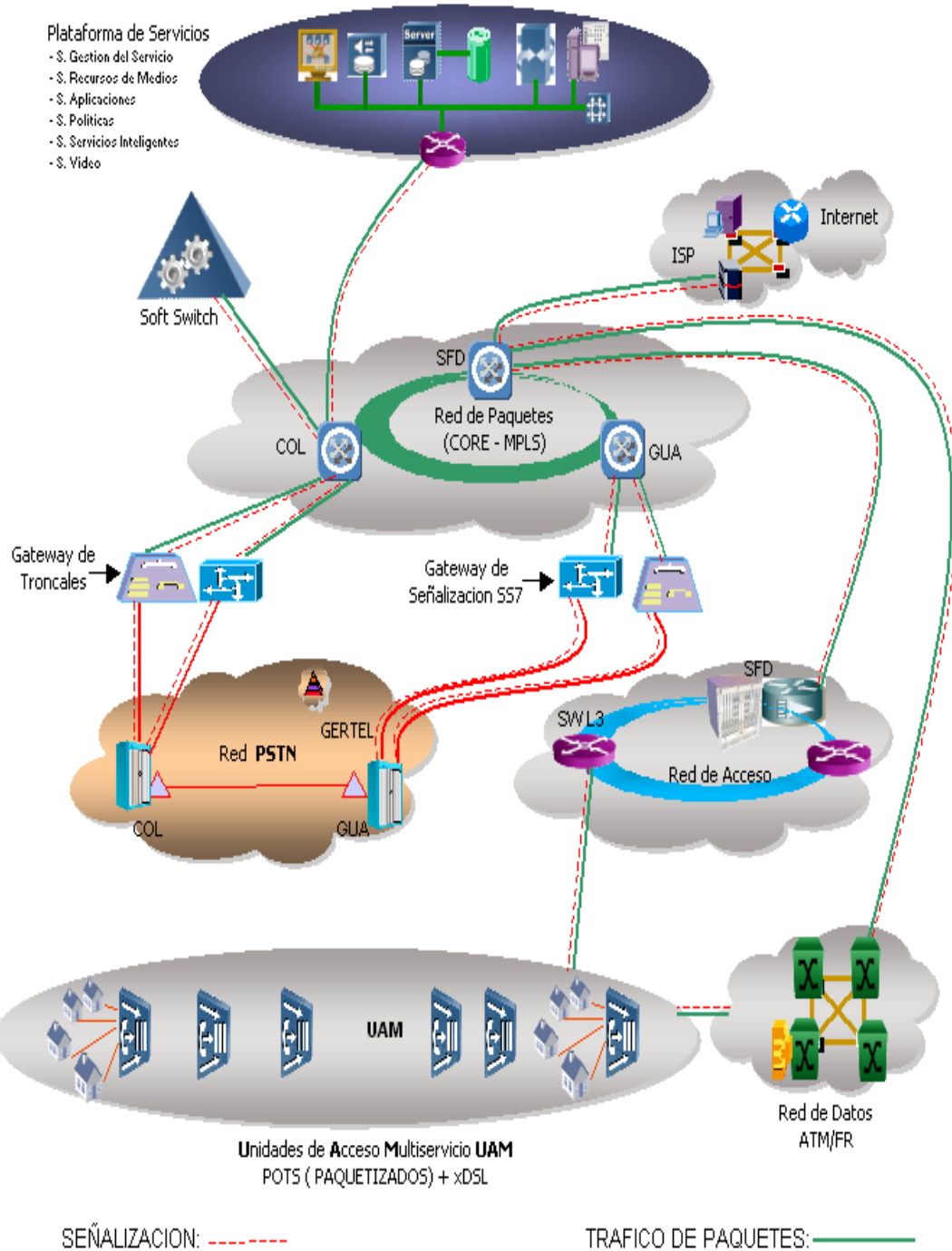


FIGURA 5.3.ESQUEMA DE INTERCONEXIÓN DE RED DE LÍNEAS POTS Y PUERTOS XDSL

El tráfico Paquetizado será manejado a través de la red de acceso, hacia la red de paquetes, controlado por el softswitch.

El tráfico de Internet Dial Up, de los clientes de la red multiservicios (138.032 líneas) y el tráfico de internet de alta velocidad de los puertos ADSL de la Red PSTN ya existente, se debe enrutar por la red de acceso y red de paquetes respectivamente, hacia el nodo de Internet, controlados por el softswitch.

El softswitch debe manejar el tráfico hacia otras redes (tráfico local, nacional, internacional, móvil celular, etc.), y enrutarlo por los gateway troncales o hacia softswitch de otros operadores.

Las ventajas de esta nueva Red de Paquetes (red NGN) sobre la red Troncal de Fibra Óptica es su capacidad de proveer a través de la red IP un sistema telefónico tradicional, confiable y de alta calidad en todo momento.

Además permitirá ofrecer servicios de voz avanzados así como nuevas aplicaciones multimedia como: la posibilidad de seleccionar los procesos aplicables a cada llamada, enrutamiento de las llamadas en función de la señalización y de la información almacenada en base de datos de los clientes, capacidad para transferir el control de una llamada a otro elemento de red que puede existir con las redes tradicionales de redes conmutadas (PSTN o red actual) así como proveer los servicios de la tecnología de conmutación de paquetes, donde los dispositivos finales incluyen teléfonos IP, computadores, beepers, terminales de conferencia videos y demás.

5.7 TRANSMISIÓN PARA LAS UNIDADES DE ACCESO MULTISERVICIO (UAMs)

El tráfico de voz paquetizado, el tráfico de Internet y el tráfico de datos de estas UAM, debe ser transportado por la Red de Acceso hacia la Red de paquetes en el interior de los tres anillos de UAM.

La Conmutación paquetizada de 140.032 líneas POTS y 13.000 Puertos XDSL “en la figura 5.3 se ilustran las UAM interconectadas a la red de paquetes a través de la red de acceso configurada en anillo.”

La distribución del número de líneas POTS y lo puertos XDSL en UAMs se describe a continuación según la potenciación en base a demanda de tráfico en sectores de alta demanda como: el tramo Parcelaciones - Jamundi, La Flora - Cencar - Yumbo, Limonar - Parcelaciones.

CONCLUSIONES

- ✚ Esta red convergente que integra todos los servicios de voz, datos y video en una sola red logrando una fácil gestión y aprovisionamiento de los servicios a través de la plataforma integrada de gestión y contiene todos los elementos tales como Softswitch, gateways de troncales, red de acceso, plataforma de servicios, y las unidades de acceso multiservicio que contienen 140.032 líneas y 13.000 puertos XDSL

- ✚ La opción de la Red Multiservicios presentada anteriormente sienta condiciones necesarias para la sugerencia de implantación de una nueva Red de Acceso

CAPÍTULO 6

DESPECIÓN DE LA SOLUCIÓN PARA CLIENTES EN LA RED DE ACCESO DE EMCALI E.S.P.

6.1 ESTIMACIÓN DE ANCHO DE BANDA APLICADO A LAS UNIDADES DE ACCESO MULTISERVICIO (UAMS)	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
6.1 DISTRIBUCIÓN DE ACCESO DEL PROYECTO (140.032 LÍNEAS)	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
6.2 ESPECIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

La propuesta sugerida de distribución de líneas hacia la Red de Acceso se muestra mas adelante y esta en la flexibilidad y versatilidad al momento de ofrecer nuevos y mejores servicios a los clientes de EMCALI E.S.P.

6.1 ESTIMACIÓN DE ANCHO DE BANDA APLICADO A LAS UNIDADES DE ACCESO MULTISERVICIO (UAMs)

Para la solución a esta Red de nueva Generación, tanto el tráfico de voz como el tráfico de datos se transferirán a través de una interfaz de enlace ascendente a la Red IP. Para el caso se tomara en cuenta la importancia de parámetros como el servicio de datos ADSL y muy especialmente el requerimiento de ancho de banda de voz IP.

Según condiciones sugeridas por EMCALI con base a requerimientos propios se ha fijado el tráfico total por abonado de 0.12 Erlang.

Para voz IP (VOIP) los equipos ofrecidos en el mercado soportan recomendaciones de compresión de voz de G.711 G.723 y G.729. Debido 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 fórmula.

$$WVOIP = W * 0.12 * N \quad (1)$$

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

Para G.711 la tara para MAC (18B) / IP (20B) / UDP (8B) / RTP (12B) y los requerimientos de ancho de banda de RTCP, el ancho de banda de voz será de:

Paquete de 5ms: 164.64 Kbps

Paquete de 10ms: 115.92 Kbps

Paquete de 15ms: 99.68 Kbps

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 5800 líneas en ampliación y su ancho de banda en VOIP será:

$$WVOIP = W * 0.12 * N = 164.64Kbps * 0.12 * 5800 = 114,589Mbps \quad (2)$$

Los resultados de las anteriores operaciones de conversión a ancho de banda aplicados al crecimiento del total de las 140.232 nuevas líneas

entregadas por el departamento de proyectos de EMCALI, son mostrados en la siguiente tabla:

6.1 DISTRIBUCIÓN DE ACCESO DEL PROYECTO (140.032 LÍNEAS)

UBICACIÓN UAM		AMPLIACIÓN		REPOSICIÓN	
NODO	Líneas	Ancho Banda Mbps	Líneas	Ancho Banda Mbps	
ALFOLSO	-	-	2200	43.46496	
CENTRO	400	7.90272	-	-	
COLON	5800	114.58944	18480	365.1056	
CONCENT	-	-	2600	51.36768	
DESEPAZ	-	-	5600	110.6380	
GUABITO	5800	114.58944	15432	304.8869	
JAMUNDI	-	-	4800	94.83264	
LA FLORA	9200	181.76256	8384	165.6410	
LIMONAR	10300	203.49504	3812	75.31292	
MARROQUI	-	-	1800	35.56224	
MONTEBEL	-	-	400	7.90272	
PARCELACI	800	15.80544	-	-	
PEÑON	200	3.95136	-	-	
POBLADO	-	-	2400	47.41632	
PRADOS	-	-	4200	82.97856	
SALOMIA	2300	45.44064	14884	294.0602	
SAN LUIS	-	-	2600	51.36768	
TEQUENDA	8200	162.00576	3240	64.01203	
UNION	-	-	2800	55.31904	
YUMBO	-	-	1600	31.61088	
TOTAL UAM REPOSICION			95.232 Líneas		
TOTAL UAM AMPLIACION			45.000 Líneas		

TABLA A. DISTRIBUCIÓN DE LAS 140.032 LÍNEAS POTS

TRAFICO DE LAS 140.032 LÍNEAS POTS

NODO	Canales de voz	Norma G.711	Total (Mbps)
ALFOLSO	2750	54331.2	54.331
CENTRO	500	9878.4	9.8784
COLON	30350	599618.88	599.61888
CONCENTRADO	3250	64209.6	64.2096
DESEPAZ	7000	138297.6	138.2976
GUABITO	26540	524345.472	524.345472
JAMUNDI	6000	118540.8	118.5408
LA FLORA	21980	434254.464	434.254464
LIMONAR	17640	348509.952	348.509952
MARROQUIN	2250	44452.8	44.4528
MONTEBELLO	500	9878.4	9.8784
PARCELACIONE	1000	19756.8	19.7568
PEÑON	250	4939.2	4.9392
POBLADO	3000	59270.4	59.2704
PRADOS DEL	5250	103723.2	103.7232
SALOMIA	21480	424376.064	424.376064
SAN LUIS	3250	64209.6	64.2096
TEQUENDAMA	14300	282522.24	282.52224
UNION	3500	69148.8	69.1488
YUMBO	2000	39513.6	39.5136

TOTAL
3413.777272
Mbps

TABLA B TOTAL TRAFICO DE 140.032 LÍNEAS POTS

Los 13.000 puertos XDSL están distribuidos en 12.500 puertos ADSL y 500 puertos G.SHDSL. Los 12.500 puertos ADSL se distribuyen en 3.250 conectados a UAM de las 95.232 líneas y 9250 conectados a las UAM de las 43.000 líneas como se ilustra en la las tabla No C.

NODO	12.500 PUERTOS ADSL		500PUERTS G.SHDSL
	9250 (Ampliación)	3.250 (Reposición)	
ALFONSO LOPEZ	-	320	4
CENTRO	370	-	96
COLON	540	-	12
CONCENTRADORES	-	290	4
GUABITO	640	-	24
JAMUNDI	-	510	8
LA FLORA	1010	-	56
DESEPAZ	-	200	-
LIMONAR	1490	-	56
MARROQUIN	-	260	4
	-	60	4
PARCELACIONES	300	-	4
PEÑON	500	-	16
PRADOS DEL SUR	-	200	-
POBLADO	-	200	-
SALOMIA	560	-	24
SAN FERNANDO	1310	-	36
SAN LUIS	-	350	4
TEQUENDAMA	1000	-	32
UNION DE	-	350	4
VERSALLES	1530	-	100
YUMBO	-	510	12
TOTAL	9250	3250	500

TABLA C DISTRIBUCIÓN DE LOS 13.000PUERTOS XDSL.

Los nodos de Versalles y San Fernando son nodos exclusivos con UAM's para puertos XDSL. Los 500 puertos G.SHDSL están conectados en las UAM como se ilustra al final de la tabla.

El ancho de banda para el servicio de datos se puede calcular mediante la siguiente formula:

$$W_{ADSL} = W * N_{ADSL} / R \quad (3)$$

W_{ADSL} = Es requerimiento de ancho de banda de ADSL para el sitio

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

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

N_{ADSL} = Total de número de abonados ADSL para el sitio

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

NODO	12.500 PUERTOS	500 PUERTOS G.SHDSL
------	-------------------	------------------------

Ancho Mbps	banda	Ancho Mbps	banda
---------------	-------	---------------	-------

ALFONSO LOPEZ	23.52	0.294
CENTRO	27.195	7.056
COLON	39.60	0.882
CONCENTRADORES	21.315	0.294
GUABITO	47.0	1.764
JAMUNDI	37.485	0.588
LA FLORA	74.235	4.116
DESEPAZ	14.7	-
LIMONAR	109.515	4.116
MARROQUIN	19.11	0.294
	4.41	0.294
PARCELACIONES	22.05	0.294
PEÑON	367.5	1.176
PRADOS DEL SUR	14.7	-
POBLADO	14.7	-
SALOMIA	41.16	1.764
SAN FERNANDO	96.285	2.646
SAN LUIS	25.725	0.294
TEQUENDAMA	73.5	2.352
UNION DE	25.725	0.294
VERSALLES	112.455	7.35
YUMBO	37.485	0.882

TABLA D DISTRIBUCIÓN DE LOS 13.000PUERTOS XDSL.

TRAFICO TOTAL	VOZ	ADSL	G.SHDSL
ALFONSO LOPEZ	54.331	23.52	0.294
CENTRO	9.8784	27.195	7.056
COLON	599.61888	39.60	0.882
CONCENTRADORES	64.2096	21.315	0.294
GUABITO	138.2976	47.0	1.764
JAMUNDI	524.345472	37.485	0.588
LA FLORA	118.5408	74.235	4.116
DESEPAZ		14.7	-
LIMONAR	434.254464	109.515	4.116
MARROQUIN	348.509952	19.11	0.294
	44.4528	4.41	0.294
PARCELACIONES	9.8784	22.05	0.294
PEÑON	19.7568	367.5	1.176
PRADOS DEL SUR	4.9392	14.7	-
POBLADO		14.7	-
SALOMIA	59.2704	41.16	1.764
SAN FERNANDO	103.7232	96.285	2.646
SAN LUIS	424.376064	25.725	0.294
TEQUENDAMA	64.2096	73.5	2.352
UNION DE	282.52224	25.725	0.294
VERSALLES	69.1488	112.455	7.35
YUMBO	39.5136	37.485	0.882
TOTAL en Mbps	3413.777272	1249.37	36.75

TABLA E TRAFICO TOTAL 14.032 LINEAS POST Y 13.000PUERTOS XDSL

Ahora considerando una proyección para el aumento del 20% para el total de las tres sumas anteriores 4699.897272 Mbps se obtiene un crecimiento de 5639.8767 Mbps

LA PROBLEMÁTICA DE LOS LOOPS

La creciente demanda a múltiples servicios para clientes, hace que el negocio de los servicios en paquetes oferentes como voz, video y datos sean cada vez más apetecidos.

Este incremento deliberado generó la necesidad de implantar una plataforma MPLS que permitiera brindar estos servicios y además soportase tecnologías existentes como ATM, FR.

La oferta básica presentada por EMCALI en la primera fase de migración requería implantación de core MPLS de paquetes de implementación GE. Pero este core requiere de fiabilidad, un alto ancho de banda y sobre todo ser proyectado a futuras pérdidas en el transporte de datos (por ejemplo una segunda fase de migración).

Para suplir la oferta básica solo bastaría con conectar los nodos por medio de un par de hilos de fibra óptica para conformar un anillo. Sin embargo la obstrucción causada por la congestión se extenderá al total de la red.

FUTURA PROYECCIÓN

Debido a la explosiva demanda que cada vez más se hace presente por parte de los usuarios de Red PSTN, cabe preguntarse: ¿que pasaría si EMCALI ampliara su número de líneas POST y accesos de banda ancha por ejemplo 210.048 nuevas líneas y 78.000 puertos XDSL?, ¿la Red de 10 Gbits resistiría este Nuevo tráfico?, ¿sería suficiente el uso de equipos CWDM?

Es evidente que en los próximos 5 años EMCALI seguirá en proceso de formar una Red Metropolitana totalmente paquetizada, para esto se estima el ancho de banda que esta futura proyección generaría.

De igual forma que el requerimiento de voz IP para la primera fase de migración (140.032 POST) se aplica la recomendación G.711 para la segunda fase de migración de EMCALI.

6.2 DISTRIBUCIÓN DE ACCESO DEL PROYECTO (210.048 LÍNEAS)

UBICACIÓN UAM		AMPLIACIÓN		REPOSICIÓN	
NODO	Líneas	Ancho Banda	Líneas	Ancho Banda	
ALFOLSO	-	-	4950	65.19744	
CENTRO	600	11.85408	-	-	
COLON	8700	171.88416	41580	547.6584	
CONCEN	-	-	5850	77.05152	
DESEPAZ	-	-	12600	165.957	
GUABITO	8700	171.88416	34722	457.3303	
JAMUNDI	-	-	10800	142.2489	
LA FLORA	13800	272.64384	18864	248.4615	
LIMONAR	15450	305.24256	8577	112.9693	
MARROQ	-	-	4050	53.34336	
MONTEB	-	-	900	11.85408	
PARCELA	1200	23.70816	-	-	
PEÑON	300	5.92704	-	-	
POBLADO	-	-	5400	71.12448	
PRADOS	-	-	9450	124.4678	
SALOMIA	3450	68.16096	33489	441.0903	
SAN LUIS	-	-	5850	77.05152	
TEQUEN	12300	243.00864	7290	96.01804	
UNION	-	-	6300	82.97856	
YUMBO	-	-	3600	47.41632	
TOTAL UAM AMPLIACION			67.200 Líneas		
TOTAL UAM REPOSICION			142.48 Líneas		
TOTAL			210.048 Líneas		

TABLA F: DISTRIBUCIÓN DE LAS 210.048 LÍNEAS POTS

El tráfico de las 210.048 líneas POST es convertido a canales de voz mediante la división empírica de su división entre 0.8, para efectos del cálculo de ancho de banda de compresión de voz.

TRAFICO DE LAS 210.048 LÍNEAS POTS

NODO	Canales de voz	Norma G.711 Total (Megas)
ALFOLSO	4125	81.4965
CENTRO	750	14.8176
COLON	45525	899.42832
CONCENTRA	4875	96.3144
DESEPAZ	10500	207.4464
GUABITO	39810	786.518208
JAMUNDI	9000	177.8112
LA FLORA	32970	651.38169
LIMONAR	26460	522.7649
MARROQUIN	3375	66.6792
MONTEBELLO	750	14.8176
PARCELACIO	1500	29.6352
PEÑON	375	7.4088
POBLADO	4500	88.9056
PRADOS DEL	7875	155.5848
SALOMIA	32220	636.5640
SAN LUIS	4875	96.3144
TEQUENDAM	21450	423.7836
UNION	5250	103.7232
YUMBO	3000	59.2704

TOTAL 5188.7345 Mbps

TABLA G TOTAL TRAFICO DE 210.048 LÍNEAS POTS

La distribución de los 78.000 puertos ADSL conectados a UAM de las 210.048 líneas como se ilustra en la siguiente tabla

El ancho de banda de datos para los nodos de los nuevos puertos XDSL es basado según la recomendación G7.11 para datos:

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

NODO	Segunda Fase Puertos	NORMA G.711
------	-------------------------	----------------

ALFOLSO LÒPEZ	2592	190.48
CENTRO	3728	274
COLON	4176	324.56
CONCENTRADORES	2352	172.88
GUABITO	5312	390.4
JAMUNDI	4144	304.56
LA FLORA	8528	626.8
DESEPAZ	1600	117.6
LIMONAR	12368	909.04
MARROQUIN	2112	155.2
MONTEBELLO	512	37.6
PARCELACIONES	2432	178.72
PEÑON	4128	303.28
PRADOS DEL SUR	1600	117.6
POBLADO	1600	117.6
SALOMIA	4688	344.56
SAN FERNANDO	10768	791.44
SAN LUIS	2832	208.16
TEQUENDAMA	8256	606.8
UNION DE VIVIENDA	2832	208.16
VERSALLES	13040	958.48
YUMBO	4176	306.96
7644.88 Mbps		

TABLA H TRÁFICO DE LOS 78.000 PUERTOS ADSL

El ancho de banda total de las nuevas 14.032 líneas POST y los 78.000 puertos XDSL se ilustra a continuación:

Norma G 7.11	Nueva Proyección	TRAFICO (Mbps)
LÍNEAS POTS	210.048	5188.7345
PUERTOS xDSL	78.000	7644.88
TOTAL (Mbps)	12833.6145	

TABLA 6.1 TRAFICO TOTAL PARA UNA FUTURA PROYECCIÓN

En la primera proyección realizada en EMCALI (proyecto de las 140.032 líneas y 13.000 puertos XDSL) se posee un tráfico estimado de 4413.84 Mbits. Ahora con una nueva proyección de 210.048 líneas y 78.000 puertos XDSL según la norma G 7.11 el tráfico estimado sería de 12833.6145 Mbits como se indicó en la anterior tabla.

El tráfico total de las dos proyecciones sería de 4413.84 Mbits más las futuras 12833.6145 Mbits suman un total de 17247.45 Mbits, ahora más una proyección del 20% se tendría un tráfico estimado de 20.69 Gbits que es muy superior a los actuales 10 Gbps de los anillos que presenta la red de paquetes.

A medida que este proceso de paquetización continúa, 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.

6.2 ESPECIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN

A) SOLUCION RED DE ACCESO PARA CLIENTES

La atención esta centrada en presentar una forma de distribuir las 140.032 nuevas líneas.

En la actual red PSTN de EMCALI, presenta trafico 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.

Según las previas consideraciones, el equipo de ingenieros de EMCALI había determinado que para aumentar la velocidad de red de datos, la tecnología Ethernet era la mejor opción pero también se debía considerar la manera de seguir prestando servicios de banda ancha.

Esta solución Ethernet 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 plantea la necesidad de adquirir fibra óptica, pero si se implementase una estructura WDM no habría necesidad de invertir en mas fibra puesto que con la gran capacidad que presentan los multiplexores WDM se podría aprovechar mejor la fibra ya instalada

Para plantear una solución con equipos WDM primero se considerará la disponibilidad de hilos libres con que cuenta EMCALI, y gracias a la red existente se sabe que se cuenta con una disponibilidad de cuatro (4) hilos de

fibra óptica en los tramos Parcelaciones - Jamundi, La Flora - Cencar - Yumbo, Limonar - Parcelaciones, La Flora - Versalles y Centro - Peñón, y los demás tramos tienen disponibilidad de dos (2) hilos de fibra óptica. Ver figura 3.

Los sectores Acopi, La Flora, Yumbo, Cencar, Limonar, Centro, San Fernando, Tequendama, Versalles son que requieren de una solución multiservicios. Es por tal motivo el gran interés atacar la problemática de estos sectores, para lo cual se propone evitar de reponer la fibra existente por una fibra de 48 hilos, instalando equipos CWDM que evitarían el generar traumatismos a la hora de instalar nueva fibra.

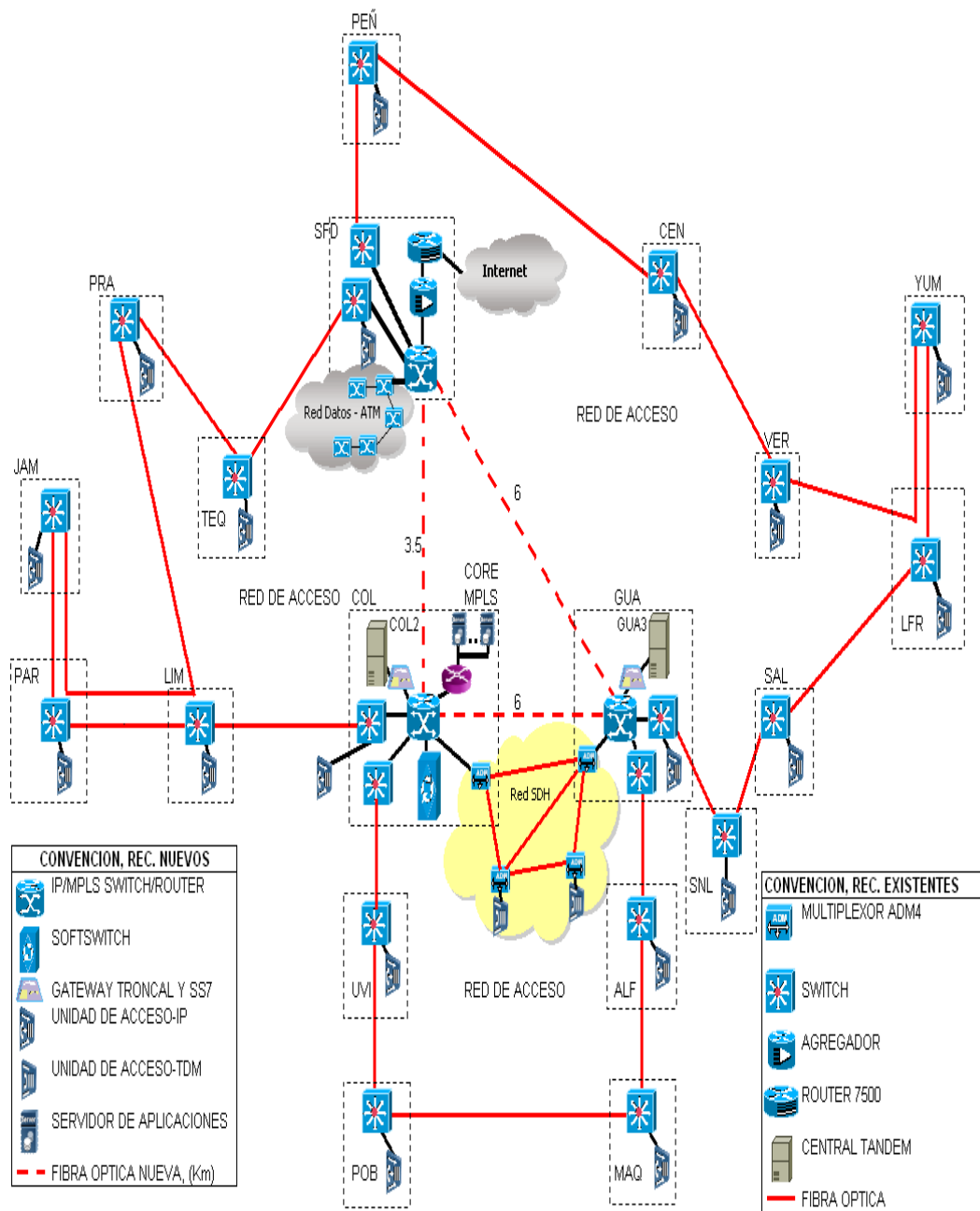


FIGURA NO 6.1 “RED DE ACCESO Y RED DE PAQUETES - MPLS”.

La solución esta compuesta de un ente de control que seria implementado por un núcleo o un procesador, la conectividad estará a cargo de un área de distribución o UAMs y por ultimo y muy especialmente un área de acceso que para nuestro caso contara con tecnologías Ethernet, como observamos en la siguiente figura.

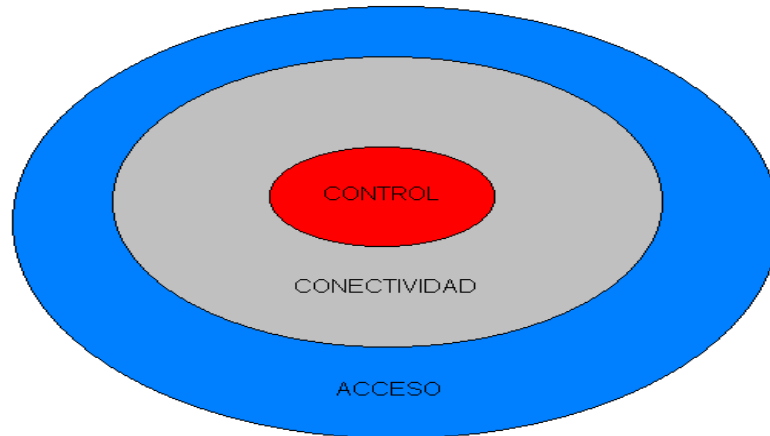


FIGURA 3.2. COMPONENTES DE SOLUCIÓN

Gracias al beneficio de la multiplexación los equipos CWDM se evita la incursión de nuevo tendido de fibra óptica, pudiendo comunicar en forma directa cada nodo con el core óptico con la demás Red de Acceso.

Ya con las entes de nuestra solución, y las actuales condiciones de demanda de interfaces Ethernet o IP que esperan los clientes de la PSTN. Se propone conectar estos clientes en los nodos más cercanos por medio de un Switch Fast Ethernet, el que a su vez se conecta a un Mux CWDM más cercano por una troncal GigaEthernet. El Mux CWDM transportará todo el tráfico de estos clientes utilizando un segundo longitud de onda.

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 de equipo TDM COP-FE (de sus siglas en inglés Circuit Emulator over Packet Switched Networks with Fast Ethernet), el cual es un multiplexor habilitado para transmitir servicios de voz o legacy y datos en modo transparente sobre redes de paquetes conmutadas PSN, como Ethernet, IP, MPLS o VLANs. , este emulador de la marca Pandatel de Alemania es una ponderosa 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 FE más cercano y puede terminar en un punto remoto de la red dentro del mismo anillo o en otro anillo de acceso.

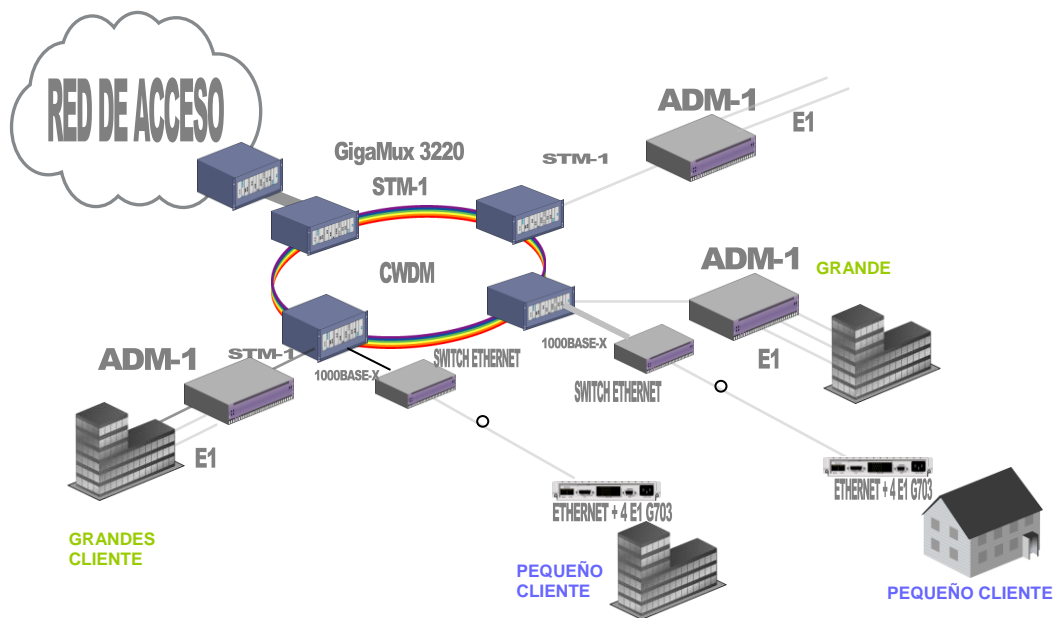


FIGURA 6.3. SOLUCIÓN PROPUESTA PARA EMCALI

Ahora EMCALI también cuenta con grandes clientes que son enlazados a través de multiplexores ADM1 (con velocidades de 155 Mbps), para este tipo

de usuarios se propone conectar las interfaces STM-1 de los ADM1 a un multiplexor de CWDM acoplándose con el actual esquema de operación.

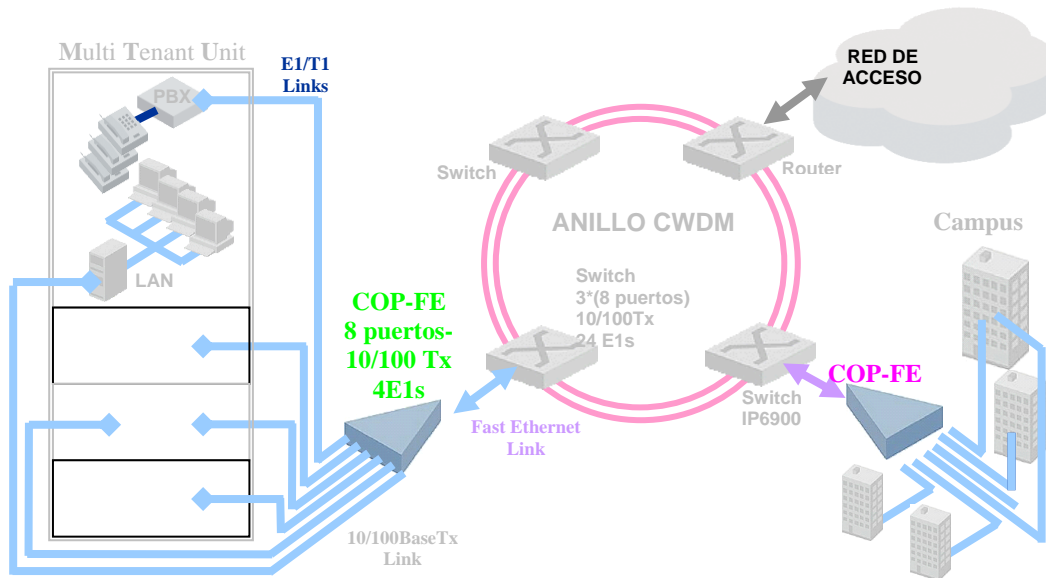


FIGURA 6.4. INTEGRIDAD DE ELEMENTOS DE SOLUCIÓN PARA EMCALI

Solo con un par de pelos de fibra óptica los Multiplexores CWDM se encargarán de transportar la información del Loop o anillo de acceso hasta el equipo de borde de la Red de Acceso.

B) SUGERENCIA DE INTERCONEXIÓN EN LA CORE, RED DE PAQUETES

Seguidamente los tres nodos principales que son abastecidos por la Red de Acceso son individualmente comunicados en forma directa con dos de los nodos que forman el triangulo MPLS (en el core Óptico). Esta comunicación directa aplica el concepto de by pass sobre los nodos intermedios para un mejor enlace.

La siguiente figura indica como el tráfico de cada nodo dentro de cada anillo CWDM se entrega en partes iguales a dos de los nodos que conforman el core MPLS. Es decir el tráfico de las 2.400 líneas (con 300 canales de voz

y 10 E1) del nodo Poblado se entrega 5 E1 tanto al nodo Colon como el nodo Guabito, para ser comunicado con los nodos de los otros dos anillos o de su mismo anillo

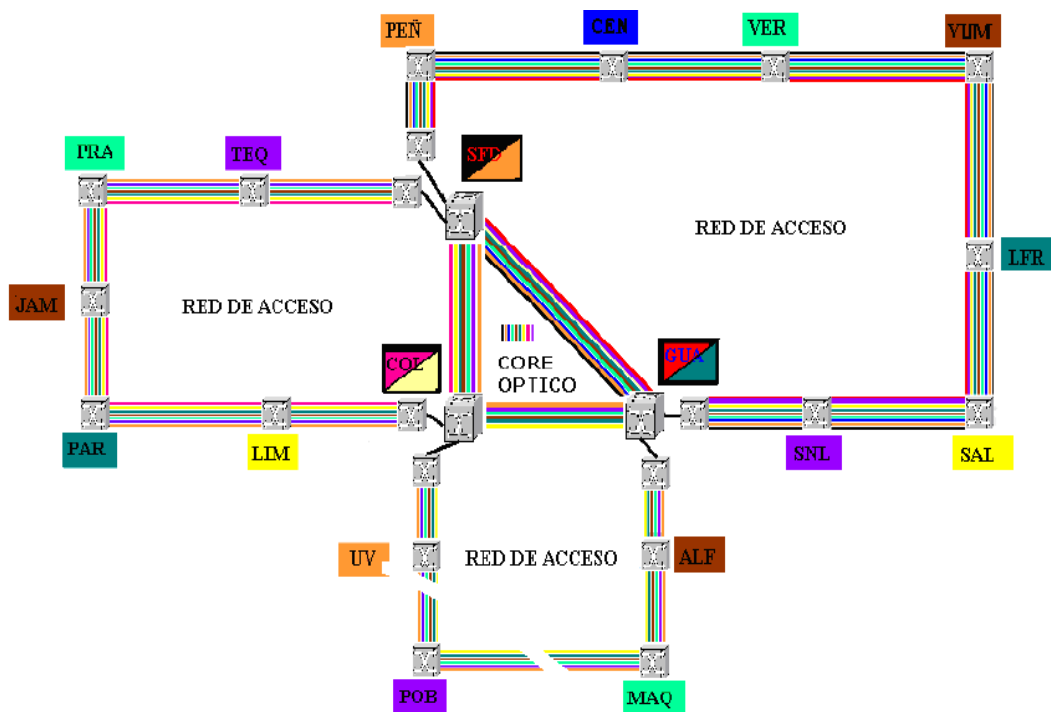


FIGURA 6.5. ÁREA DE DISTRIBUCIÓN

El área de distribución de los nodos de conexión será a través de un núcleo o core MPLS que integrara el tráfico proveniente de los tres anillos al interconectarse internamente formando un solo triangulo para comunicar los tres anillos.

Este sistema proporciona un sistema de protección al momento de la comunicación al permitir que cada nuevo nodo se enlace con dos de los nodos MPLS, siendo cada uno de los nodos, los que tengan probabilidad de acceder en comunicación a los nodos destino de los otros dos anillos. Posibilitando la comunicación de cualquier UAM de un anillo con su destino específico de otra UAM elegida.

CONCLUSIONES

- ✚ Para un tráfico de 140.232 líneas POST y 13.000 puertos XDSL no se hace tan evidente una solución CWDM, pero a medida que la Red de paquetes se incrementa la fibra óptica de la ciudad de Cali no dará a dar abasto para una siguiente fase de migración
- ✚ Si EMCALI decide ampliar sus líneas telefónicas por ejemplo 210.048 POTS mas y 78.000 ADSL mas, las líneas adicionales requieren mas ancho de banda y seria mejor una solución con CWDM
- ✚ La capacidad de 10 Gbps que presentan los tres anillos de UAMs no será suficiente para una migración total de las 600.000 líneas PSTN que existían en un principio

GLOSARIO DE TERMINOS

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.

APLICACIÓN: Soporte lógico con el que interactúa el usuario. En el presente Informe se refiere a las prestaciones interactivas integradas. Como el vídeo a la carta. El correo electrónico o el acceso en línea. Es sinónimo de servicio.

ATM: Asynchronous Transfer Mode (modo de transferencia asíncrono). Tecnología de transmisión de voz, datos e imágenes en forma de paquetes.

ATU-R: Modem ADSL lado cliente.

ATU-C: Modem ADSL lado central.

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

BANDA ESTRECHA: Servicio que ocupa una anchura de banda pequeña (generalmente a la velocidad de 64 kbit/s o menor) que sólo permite transmitir unos pocos canales de voz o de datos.

BUCLE LOCAL: Red de líneas que enlaza al abonado con la central local.

CABLE COAXIAL: Medio de transmisión asimétrico que consiste en un hilo central y una envolvente (ambos concéntricos) utilizado para altas frecuencias. / Cable de características especiales, que permite el tránsito de más cantidad de información que un cable de cobre trenzado, debido a su gran ancho de banda. Se utiliza en la televisión por cable, en redes de computadoras y como enlace entre centrales telefónicas.

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

CENTRAL TELEFÓNICA: 1) Conmutador de operador de telecomunicaciones público que atiende a una región o un distrito de una ciudad./2) Es el lugar donde se realizan las operaciones de conmutación entre las líneas correspondientes a los distintos abonados.

CENTRAL LOCAL: Es aquella central en la que están conectados los abonados.

CIRCUITO DE ABONADO: Las funciones de un circuito de abonado son las de permitir la posibilidad de establecer una comunicación (entrante ó saliente) y bloquear líneas de abonado ocupado, ante eventuales llamadas entrantes.

CONCENTRADOR, CONCENTRADOR DIGITAL: Equipo que incluye el medio de combinar, en un sentido, cierto número de accesos básicos y/o accesos a velocidad primaria en un número menor de intervalos de tiempo omitiendo los canales en reposo y/o la redundancia, y para realizar la separación correspondiente en el sentido contrario.

CONECTOR RJ11: Terminal o conector macho que sirve para conectar el aparato terminal a la roseta.

CONMUTACIÓN: 1) Proceso consistente en la interconexión de unidades funcionales, canales de transmisión o circuitos de telecomunicación por el tiempo necesario para transportar señales./2) Es el conjunto de técnicas y procedimientos que permiten que un abonado pueda conectarse con cualquier otro.

CORTAFUEGOS (FIREWALL): Sistemas o programas de protección de datos, habitualmente implementados en servidores o para redes locales de trabajo.

CRT: Comisión de Regulación de Telecomunicaciones.

CWDM: Coarse Wavelength Division Multiplexing. Una de las técnicas de la tecnología WDM.

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

DESAGREGACIÓN: Es la separación de elementos (físicos y/o lógicos), funciones o servicios de una red de telecomunicaciones, con el objeto de darles un tratamiento específico y cuyo costo puede determinarse por separado.

DIAFONÍA: Fenómeno que provoca la introducción de una señal no deseada en una línea por acoplamiento con otra u otras líneas. / Es la transferencia indeseable de señal de un par telefónico a otro de características similares.

DWDM: Dense Wavelength Division Multiplexing. Una de las técnicas de la tecnología WDM.

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

EMPALME: 1) Consiste en la unión de dos o más cables telefónicos utilizando para ello diversos tipos de conector./2) Es la unión entre dos o más tramos de cables.

ENRUTAMIENTO: Es el camino o ruta que deben seguir las señales para interconectar y mantener a dos abonados en comunicación.

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

FIBRA HASTA EL HOGAR (FTTH): Términos que indican el punto de terminación de los cables de fibra óptica en las redes de telecomunicación. Fibra hasta el punto de acometida significa que la fibra óptica se extiende desde la central de conmutación hasta la acometida (es decir no llega hasta el hogar). Fibra hasta el hogar significa que el cable de fibra óptica se extiende desde la central de conmutación hasta la casa del abonado. También hay FTTB fibra hasta el edificio y FTTC fibra hasta el andén.

FIBRA ÓPTICA: Medio de transmisión que consiste de un núcleo y una envolvente concéntrica pueden ser de vidrio, plástico u otro material transparente. Las señales que se transmiten son lumínicas de muy alta velocidad. / Son delgados filamentos de vidrio diseñados para transmitir luz. Los pulsos eléctricos o bits son convertidos a pulsos luminosos mediante un conversor electro-óptico como un láser o led y se transmiten a través de fibras ópticas.

FFT: Transformada rápida de Fourier.

FRECUENCIA: Número de vibraciones o variaciones de una señal en ciclos por segundo

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.

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.

IFFT: Transformada rápida de Fourier inversa.

INTERFAZ: Frontera común entre dos sistemas asociados.

INTERNET: Red mundial de sistemas informáticos interconectados en la que se utilizan los protocolos definidos por la Internet Engineering Task Force (IETF).

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.

MODULARIDAD: Concepto utilizado en tipos de equipo de conmutación, que indica la cardinalidad existente entre los equipos de conmutación y los circuitos. Prácticamente, la modularidad entre interfases analógicas y

circuitos es '1', mientras que la modularidad entre interfaz digital y circuitos es '30'.

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.

ÓPTICO: Tecnología en la que se utilizan impulsos de luz (fotónica) en lugar de electrones (electrónica) para almacenar y transmitir información en forma digital. Suele basarse en el empleo de láseres. Véanse fibra óptica y CD-ROM.

PAR DE COBRE: Comúnmente referido como par físico, corresponde a dos hilos de cobre que permiten la conexión de servicios de telecomunicaciones en forma directa con la central telefónica.

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

RDSI: Red Digital de Servicios integrados; existen dos técnicas BRI o accesos Básicos con velocidad máxima de 128 kbps y PRI o accesos primarios con velocidades superiores.

RED: Conjunto de equipos e instalaciones que permiten las telecomunicaciones entre dos o más clientes.

RED DE TELECOMUNICACIONES: Conjunto de nodos y troncales que proporciona conexiones entre dos o más puntos definidos, para facilitar la telecomunicación entre ellos.

RED DE ZONA AMPLIA (WAN): 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.

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.

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.

RED PÚBLICA TELEFÓNICA CONMUTADA (RPTC): Es el conjunto de elementos que hacen posible la transmisión conmutada de voz, con acceso generalizado al público.

REPETIDOR: Nombre utilizado por los fabricantes Standard Electric y Ericsson. Es el equipo interfaz de la Unidad de Conmutación (U/C) para acceder a los troncales con otras U/C, tanto en entrada como en salida.

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.

TELECOMUNICACIONES: 1) Toda transmisión y/o emisión y recepción de señales que representan signos, escritura, imágenes y sonidos o información de cualquier naturaleza por hilo radioelectricidad, medios ópticos u otros sistemas electromagnéticos. /2) Son todos aquellos sistemas eléctricos que permiten que las personas entre si, o con máquinas, intercambien a distancia mensajes audibles, escritos o visuales como ocurre por ejemplo en los servicios de: Telefonía, Telegrafía, Telex, Facsímil, Teleproceso, Transmisión de datos, Televisión y otros.

TELECONFERENCIA: Conferencia entre más de dos participantes situados en dos o más lugares diferentes y que utilizan facilidades de telecomunicación.

TELEFONÍA: 1) Servicio telefónico vocal básico en tiempo real. /2) Es una de las ramas de aplicación de la electricidad, que estudia los procedimientos necesarios para establecer un camino de conversación entre dos abonados.

TELESERVICIOS: Combinan la función de transporte con la función de procesamiento de la información. Emplean servicios portadores para transportar datos.

TLC: Tratado de Libre Comercio.

TOKEN RING: Una de las topologías de redes existentes, habitualmente cableada en estrella. En bastante retroceso en la actualidad, dada su limitada velocidad de transmisión (4 y 16 Mbit/s).

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.

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

WDM: Wide Wavelength Division Multiplexing. Una de las técnicas de la tecnología WDM.

COMPONENTES

1. UNIDAD DE ACCESO MULTISERVICIO - UAM: Llamada también Gateway de acceso, es el conjunto de elementos de software y hardware,. Tiene las funciones básicas de conectar a los clientes a través de la red de cobre y de conexión con las centrales TDM a través de la red de acceso SDH y/o a la red de paquetes (CORE) a través de la Red de Acceso. Provee líneas POTS y puertos XDSL para el lado cliente e interfaces E1/ TDM y paquetes en el lado de la red de acceso. La UAM tiene la función de enviar tráfico TDM o enviar trafico de paquetes.
2. RED DE ACCESO: Llamado también red de borde, es el conjunto de elementos de software y hardware, ubicados en los nodos de transmisión, conformados por un anillo de fibra óptica y switches con funcionalidades MPLS que conectan las UAM a la Red de Paquetes.
3. RED DE PAQUETES (CORE): Conjunto de elementos de software y hardware distribuidos en diferentes nodos que realizan el transporte de los paquetes.
4. GATEWAY TRONCAL: Conjunto de elementos de software y hardware que convierten la información TDM en información de paquetes y viceversa e interconectan la red PSTN existente con la red de paquetes.
5. GATEWAY DE SEÑALIZACION: Conjunto de elementos de software y hardware que convierten la información de señalización CCN7 de la red PSTN existente en señalización de paquetes y viceversa.

6. SOFTSWITCH: Llamado también Call Server, servidor de telefonía o servidor de llamadas, es un servidor que ejerce el control de las llamadas, controla el tráfico de paquetes, el tráfico hacia o desde la red PSTN existente. El softswitch también controla la prestación de servicios para los clientes de la PSTN y los clientes conectados a la red de paquetes.

7. PLATAFORMA DE SERVICIOS O APLICACIONES: Es el conjunto de aplicaciones que residen en varios servidores, las cuales contienen todos los servicios a prestar a los clientes y su prestación es controlada por el softswitch.

8. PLATAFORMA DE GESTION: Es el conjunto de elementos de software y hardware que gestionan en forma integrada todos los elementos de red y los servicios de la red de nueva generación o red multiservicios.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] WDM Una Tecnología con Fibra, Luis Gabriel Sienna, ARTICULO ANIRET, <http://www.aniret.org.mx/>
- [2] Optical Communication System, J. GOWAR, Prentice Hall Internacional
- [3] D. F. Grost, Sistemas de Comunicación por Fibra Óptica, Instituto Tecnológico de Buenos Aires (ITBA), 2004
- [4] www.conelectronica.com.co
- [5] <http://www.emcali.com/>
- [6] Dispersión por Polarización en fibras Ópticas, C. E. Perz, T631 FIET, universidad del Cauca, 2000. Artículos presentados en el XVIII Congreso Nacional de Física.
- [7] S. A. Vanstone, P. C. Van Ourschot and Introduction to Error Correcting Codes with Applications 1ra Ed, Kluwer Academic Publishers (1997)
- [8] G. P. Agrawal, Fiber Optics Communication Systems 2da Ed, John Wiley & Sons (1997)
- [9] Optical Fiber Communication: From Transmission to Networking, Invited Article
- [10] H. Y, Moncayo, J. C. Arteaga, “Efectos de polarización en sistemas de amplificación de telecomunicaciones ópticas”, Grupo de Óptica y Láser, Universidad del Cauca, 2003.

[11] Estudio y proyección de la técnica WDM en el desarrollo de las redes de comunicaciones ópticas. P.Gutierrez., T638 FIET, Universidad del Cauca, 2000.