

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

**DISEÑO DE UNA RED DE ABONADO, CON FIBRA ÓPTICA, EN LA
CIUDAD CAPITAL**

TESIS

**PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA**

POR

**JORGE HUMBERTO ORTEGA PÉREZ
AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE**

INGENIERO ELECTRICISTA

Guatemala, mayo de 1999



HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de tesis titulado:

**DISEÑO DE UNA RED DE ABONADO,
CON FIBRA ÓPTICA, EN LA CIUDAD CAPITAL.**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica con fecha 1 de marzo de 1994

Jorge Humberto Ortega Pérez



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA

NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO:	Ing. Herbert René Miranda Barrios
VOCAL I:	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II:	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
VOCAL III:	Ing. Jorge Benjamín Gutiérrez Quintana
VOCAL IV:	Br. Dimas Alfredo Carranza Barrera
VOCAL V:	Br. José Enrique López Barrios
SECRETARIA:	Ing. Gilda Marina Castellanos de Ilescas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Jorge Mario Morales González
EXAMINADOR:	Ing. Stuardo Abraham Casasola Mazariegos
EXAMINADOR:	Ing. José Mauricio Velázquez González
EXAMINADOR:	Ing. Gustavo Benigno Orozco Godínez
SECRETARIO:	Ing. Edgar José Aurelio Bravatti Castro

Guatemala, 17 de agosto de 1,998

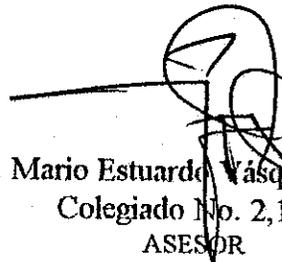
Ingeniero
Julio César Solares Peñate
Coordinador Area de Electrónica,
Comunicaciones y Control
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC

Estimado Ingeniero Solares:

De manera atenta envío a usted el trabajo de tesis elaborado por el estudiante JORGE HUMBERTO ORTEGA PEREZ, el cual se titula: DISEÑO DE UNA RED DE ABONADO, CON FIBRA OPTICA, EN LA CIUDAD CAPITAL

En mi calidad de asesor, le informo que he revisado el mencionado trabajo y considero que cumple con los objetivos planteados, por lo que me complace dar la aprobación a esta tesis.

Cordialmente,



Ing. Mario Estuardo Vásquez Cáceres
Colegiado No. 2,187
ASESOR



FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, 10 de septiembre de 1,998

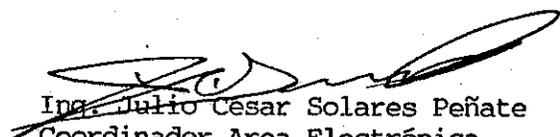
Señor Director
Ing. Roberto Urdiales Contreras
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica.

Señor Director.

Me permito dar aprobación al trabajo de tesis titulado: Diseño de una red de abonado con fibra óptica, en la ciudad capital, desarrollado por el señor Jorge Humberto Ortega Pérez, por considerar que cumple con los requisitos establecidos para tal fin.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Julio Cesar Solares Peñate
Coordinador Area Electrónica

JCSP/sdem.



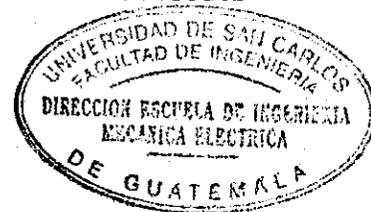
FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Area, al trabajo de tesis del estudiante Jorge Humberto Ortega Pérez, titulado: Diseño de una red de abonado con fibra óptica, en la ciudad capital, procede a la autorización del mismo.

Ing. Roberto Urdiales Contreras

Director

Guatemala, 5 de marzo de 1,999.





FACULTAD DE INGENIERIA

El Decano de la Facultad de Ingeniería, luego de conocer la autorización por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al trabajo de tesis: Diseño de una red de abonado con fibra óptica, en la ciudad capital, del estudiante Jorge Humberto Ortega Pérez, procede a la autorización para la impresión de la misma.

IMPRIMASE:

Ing. Herbert René Miranda Barrios

Decano



Guatemala, 11 de marzo de 1,999.

DEDICATORIA

A DIOS

Sea la gloria y honra.

MIS PADRES

Antonio y Consuelo Ortega.

MIS HERMANOS

Wilman, Lissette.

MIS ABUELOS

Margarita y Sixto Ortega

Rosalía y Félix (Q.E.P.D) Pérez

AGRADECIMIENTOS

- A DIOS** Por ser la fuente de sabiduría que me permitió alcanzar esta meta.
- MIS PADRES** Por sus consejos y apoyo constante.
- MIS HERMANOS** Por el apoyo, ayuda y comprensión.
- MIS COMPAÑEROS** Por el esfuerzo que realizamos durante la carrera.
- LA TRICENTENARIA** Universidad de San Carlos de Guatemala, casa de estudios que me permitió obtener este título.

ÍNDICE GENERAL

	Página
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	Vi
LISTADO DE SIMBOLOS	IX
ABREVIATURAS	X
GLOSARIO	XII
INTRODUCCION	XIV
1. EVOLUCIÓN DE LAS TELECOMUNICACIONES	1
1.1 La tecnología de las telecomunicaciones	1
1.1.1 Tecnología Cmos de silicio	3
1.1.2 Tecnología bipolar de silicio	4
1.1.3 Tecnología Cmos bipolar (BICMOS)	5
1.2 Transmisión por fibras ópticas	5
1.3 Equipos terminales de línea y líneas de abonado RDSI	8
1.4 Tecnología de conmutación	9
1.5 Tecnología de transmisión	9
1.6 Fibra óptica hasta el usuario	10
2. FIBRAS ÓPTICAS EN TELECOMUNICACIONES	13
2.1 Principios físicos de las fibras ópticas	13
2.1.1 El espectro electromagnético	13
2.1.2 Reflexión	15

2.1.3	Refracción	17
2.1.4	Reflexión total	19
2.1.5	Apertura numérica	21
2.2	Propagación por medio de fibra ópticas	22
2.2.1	Fibra ópticas multimodo de índice escalonado	26
2.2.2	Fibra ópticas multimodo de índice gradual	28
2.2.3	Fibra ópticas monomodo	31
2.3	Parámetros de los conductores de fibra óptica	32
2.3.1	Atenuación	32
2.3.2	Ancho de banda	36
2.3.3	Dispersión	37
	2.3.3.1 Dispersión modal	38
	2.3.3.2 Dispersión cromática	41
2.4	Componentes transmisores y receptores	43
2.4.1	Diodo láser	43
2.4.2	Diodo electroluminiscente	46
2.4.3	Fotodiodo PIN	49
2.4.4	Fotodiodo de avalancha	51
2.5	Uniones ópticas	54
2.5.1	Unión con conectores	54
	2.5.1.1 Acoplamiento con lentes	55
	2.5.1.2 Acoplamiento frontal	56
2.5.2	Empalmes ópticos	58
	2.5.2.1 Empalme mecánico simple	59
	2.5.2.2 Empalme térmico simple	61
3.	FIBRA ÓPTICA EN LA RED DE ABONADO	63
3.1	Aplicaciones de las fibras ópticas	63

3.1.1	Ventajas de la fibra óptica	65
3.1.1.1	Atenuación de línea muy pequeña	65
3.1.1.2	Mayor capacidad de transmisión	65
3.1.1.3	Considerable reducción de volumen y peso	66
3.1.1.4	Ninguna conductividad eléctrica	66
3.1.1.5	Ninguna interferencia electromagnética	66
3.1.2	Aplicación de la fibra óptica en telecomunicaciones	67
3.1.2.1	Sistema de transmisión para red telefónica	67
3.1.2.2	Aplicación en redes LAN	67
3.1.2.3	Aplicación en redes ISDN	68
3.1.2.4	Redes para nuevos servicios de banda ancha	70
3.1.2.5	Aplicación en redes ISDN de banda ancha	71
3.2	La fibra óptica en la red de abonado	72
3.2.1	Ventajas del sistema de fibra óptica en la red de abonado	76
3.2.2	Las características principales	77
3.2.3	La estructura de la red	78
3.2.4	Transmisión de señales en la red de abonado	80
3.2.5	La capacidad y rango del sistema	81
3.3	Terminales de línea óptica	82
3.3.1	Terminación de línea óptica para servicios interactivos	82
3.3.2	El software para servicios interactivos	84
3.3.3	El sistema de operación para servicios interactivos	85
3.3.4	Terminación de línea óptica para servicios distributivos	86
3.3.5	El software para servicios distributivos	87
3.3.6	El sistema de operación para servicios distributivos	88

3.4	Unidad distributiva óptica pasiva	89
3.5	La unidad de red óptica	90
3.6	La fuente de alimentación	92
3.7	Aplicaciones de la fibra óptica en la red de abonado en otros países	94
4.	DISEÑO DE LA RED DE ABONADO CON EL USO DE UNA RED ÓPTICA ACTIVA PARA EL ÁREA DE LA CENTRAL VILLA DE GUADALUPE	101
4.1	Aspectos importantes en el diseño de la red de abonado	101
4.1.1	Pérdidas en la transmisión	101
4.1.2	Características de transmisión de las fibras ópticas	102
4.1.3	Plan de atenuación para una instalación de fibra óptica	104
	4.1.3.1 Estructura de la red con fibra óptica	106
	4.1.3.2 Tendido de cables de fibra óptica	108
4.2	Diseño de la red de abonado en un sector de la ciudad capital	110
4.2.1	Arquitectura de la red óptica activa	112
4.2.2	Arquitectura de la red óptica pasiva	114
4.2.3	Red híbrida para servicios de CATV	115
4.2.4	Descripción del proyecto	117
	4.2.4.1 Hardware del equipo en la red de abonado	120
	4.2.4.2 Diagrama de la red de abonado	128
	4.2.4.3 Características de los servicios	132
	4.2.4.4 Plan de implementación del servicio al Abonado	133
4.2.5	Alcance y objetivos de la fibra en la red de abonado	135

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

	Figuras	Página
1	Principio de la transmisión óptica	7
2	Espectro electromagnético	15
3	Reflexión de la luz	16
4	Refracción de la luz	19
5	Reflexión total de la luz	20
6	Apertura numérica	22
7	Propagación de la luz en fibras ópticas	24
8	Fibra óptica de índice escalonado	27
9	Fibra óptica de índice gradual	29
10	Fibra óptica monomodo	31
11	Curva característica de la atenuación en fibras ópticas	34
12	Fibra óptica de índice escalonado	38
13	Fibra óptica de índice gradual	39
14	Fibra óptica monomodo	40
15	Estructura del diodo láser	44
16	Estructura del diodo electroluminiscente	47

4.3	Evolución de la red actual hacia el futuro	138
4.3.1	Punto de inicio desde la red de cobre existente	139
4.3.2	Sistema de ganancia de par sobre la red de cobre existente	141
4.3.3	PDH sobre la base de una red de fibra óptica	142
4.3.4	SDH en una red en anillo con fibra óptica	144
4.4	Planificación de sistemas de transmisión por fibras ópticas	145
4.4.1	Balance de potencia y tramos de regeneración	146
4.4.2	Capacidad de transmisión y alcance	149
4.4.3	Sistemas futuros de transmisión por fibras ópticas	151
	CONCLUSIONES	154
	RECOMENDACIONES	156
	BIBLIOGRAFIA	158
	ANEXOS	159

17	Estructura del fotodiodo PIN	50
18	Estructura del fotodiodo de avalancha	52
19	Acoplamiento por lentes	55
20	Acoplamiento frontal	56
21	Atenuación de inserción	57
22	Empalme mecánico simple	60
23	Diagrama funcional de una red óptica pasiva	75
24	Aplicación de la unidad de red óptica ONU en una red pasiva	90
25	Transmisor óptico	98
26	Estructura de una red de fibra óptica	107
27	Arquitectura de una red óptica activa	114
28	Red óptica pasiva	115
29	Componentes principales de la red óptica	121
30	Conexiones del terminal de línea óptico	124
31	Conexiones del terminal de distribución óptico	126
32	Conexiones de la unidad de red óptica	127
33	Red de cobre convencional	140
34	Sistema ganancia de par	142
35	PDH sobre la base de una red de fibra óptica	143
36	Configuración en anillo de una red SDH con fibra óptica	144
37	Especificaciones del sistema para fibra óptica	147

Tablas

		Página
I	Parámetros de los diodos láser	45
II	Parámetros de los diodos electroluminicentes	48
III	Valores característicos del fotodiodo PIN y diodo de avalancha	53
IV	Parámetros de atenuación más significativos	148

ABREVIATURAS

ADSL	Asymmetric digital subscriber line, línea de abonado digital asimétrica
AON	Active optical network, Red óptica activa
CATV	Community Antena television, Cable de TV
FTTB	Fiber to the building , Fibra en los edificios
FTTC	Fiber to the curb, Fibra en la acera
FTTH	Fiber to the home, Fibra en la casa
HDSL	High speed digital subscriber line, Línea de abonado digital para transmisión de información a alta velocidad
ISDN	Integrated services digital network, Red digital de servicios integrados
LC	Line card, tarjeta de línea
ODT	Optical distribution terminal, Terminal de distribución óptica
OF	Optical fiber, fibra óptica
ONU	Optical network unit, Unidad de red óptica
OLT	Optical line termination, Terminal de línea óptica
PDH	Plesiochronous digital hierarchy, Jerarquía digital pliesicrona
PON	Passive optical network , Red óptica pasiva
SDH	Synchronous digital hierarchy, Jerarquía digital síncrona
STM	Synchronous transport module, Módulo de transporte síncrono

LISTA DE SÍMBOLOS

λ	Longitud de onda
C_0	Velocidad de la Luz en el vacío
dB	Decibel
$\text{SEN}\theta$	Seno del ángulo θ

TDMA Time Division multiple access, Acceso multiple por división de tiempo

TDM Time Divison multiplexing, Multiplex por división de tiempo



GLOSARIO

Ancho de banda	Es una medida de la capacidad de transportar información de una fibra óptica.
Atenuación	Es la disminución de la potencia de una señal que es transmitida entre dos o más puntos. Expresa las pérdidas totales en una fibra óptica consistente en la razón entre la luz emitida y la luz recibida en el extremo receptor.
Bit	Unidad de información en sistemas de transmisión digital. El bit es la unidad de cómputo para señales binarias y refleja la transición entre dos estados, usualmente llamados 0 y 1.
Conductor de fibra óptica	Gula de onda dieléctrica, compuesta por un núcleo de material ópticamente transparente de índice de refracción más bajo que el del núcleo.
Conector	Dispositivo mecánico usado para alinear y unir dos fibras ópticas proveyendo así un medio para conectar y desconectar la fibra del emisor óptico, receptor o cualquier otro dispositivo.

Decibel	Unidad de medición de la potencia relativa de una señal y se representa por dB
Diodo emisor de luz LED	Un dispositivo semiconductor que emite una señal luminosa incoherente formado por una unión p-n
Diodo láser LD	Dispositivo semiconductor que emite luz coherente cuando la corriente supera un valor de umbral
Empalme	Conexión permanente, que se puede efectuar mediante fusión o pegado, entre los extremos de dos conductores de fibra óptica.
Fotodiodo de avalancha	Componente receptor basado en el efecto de avalancha por medio de multiplicación de portadores, en un campo eléctrico.
Fotodiodo PIN	Diodo receptor con absorción predominante en la zona de carga espacial dentro de una junta p-n.
Longitud de onda	Período en el espacio de una onda plana, o sea la distancia o espacio recorrido por una oscilación completa.

INTRODUCCION

Al aumentar la demanda de nuevos servicios por parte de los abonados tales como; transmisión de datos a alta velocidad, servicios RDSI, distribución de señales de TV de mejor calidad etc.; aparece también la necesidad de disponer de una red de abonado moderna. Debido a la variedad de requerimientos impuestos a la red de abonado de cobre actual, son necesarias diferentes soluciones con conceptos adaptados a la infraestructura existente.

La gama de productos que se están desarrollando actualmente, para la red de abonado permitirán una transición flexible de la red de cobre actual a la red del futuro con fibra óptica.

Esta gama de productos permitirá introducir en el área del abonado sistemas basados en fibra óptica para prestar los servicios existentes así como servicios de videoconferencia, videoteléfono, transmisión de datos a alta velocidad etc. todo ésto sobre un único conductor de fibra óptica.

El presente trabajo de tesis contiene en su primer capítulo, un marco teórico que describe lo que ha sido la evolución de las telecomunicaciones y como el desarrollo de la microelectrónica influyó en el desarrollo de las mismas.

En el capítulo dos se describen los fundamentos de la fibra óptica así como los parámetros y tipo de conductores de fibra y características de la misma que hay que tomar en cuenta al momento de diseñar una red; además, se describen los elementos transductores electroópticos, que se necesitan para la transmisión, así como los dispositivos de uniones y empalmes.

En el capítulo tres se describe las distintas aplicaciones de la fibra óptica en telecomunicaciones así como sus ventajas con respecto a los cable de cobre, así también se hace una descripción de los equipos que se utilizan para la implementación de los servicios en la red de abonado.

La diagramación de la red, el hardware de la red de abonado se describe ampliamente en el capítulo cuatro, en donde se identifican los lugares de ubicación de los equipos; así mismo, se hace una descripción de la forma en que evolucionará la aplicación de la fibra óptica en la red de abonado, desde la red actual de cobre, hasta una red de abonado completamente de fibra, para prestar la gran variedad de servicios, como lo es la distribución de canales de TV, sistemas radiofónicos en FM, video sobre demanda, videoconferencia, transacciones bancarias y compras desde el hogar, servicios de videotelefonía, telefonía digital, transmisión de datos a alta velocidad, Internet, etc.

Por ultimo, se plantean conclusiones del trabajo realizado, así como las recomendaciones para la implementación del presente proyecto.

1. EVOLUCIÓN DE LAS TELECOMUNICACIONES

1.1 La tecnología de las telecomunicaciones

Durante las últimas décadas, tanto la evolución tecnológica como el crecimiento de la demanda de nuevos servicios se han acelerado considerablemente. El volumen de informaciones del mundo se está incrementando en forma explosiva. Para hacer frente a ello debe quedar disponible para todos los usuarios una amplia gama de servicios de transmisión de voz, textos, datos e imágenes, debe complementarse con los medios existentes, y ofrecer un rápido acceso a bases de datos y sistemas de procesamiento de datos.

Sin embargo, al mismo tiempo han surgido tecnologías que ahora son elementos clave para las nuevas concepciones de redes y servicios. La red digital de servicios integrados, las modernas redes de conmutación de paquetes y las redes suplementarias tales como la red inteligente, red de gestión de telecomunicaciones, están haciendo que redes y servicios sean eficientes y económicos para un aspecto muy amplio de usuarios y compañías de explotación.

Este proceso evolutivo continuará en el futuro: además, los servicios actuales de banda estrecha hasta 64 Kbit/s, habrá servicios de transmisión de datos extremadamente rápidos con velocidades de 34 Mbit/s, 140 Mbit/s y transmisiones de banda ancha de alto rendimiento de 8x2.5Gbit/s.

La conmutación síncrona de las actuales redes con modo de transferencia síncrono STM (Synchronous Transfer Mode), esta siendo reemplazada por un modo de transferencia asíncrono, ATM(Asynchronous Transfer Mode). Las redes ATM, con una capacidad de conmutación de 155 Mbit/s y más, son adecuadas para la integración a largo plazo de todos los servicios en una única red universal, la red digital de servicios integrados RDSI de banda ancha.

En Guatemala, el desarrollo de las telecomunicaciones está avanzando rápidamente, en la actualidad se cuenta con una red de centrales metropolitanas interconectadas con fibra óptica y se han sustituido las centrales analógicas por centrales digitales, todo esto para dar paso a la implementación de la red digital de servicios integrados y muchos más servicios.

Los componentes de red y los equipos individuales imponen una amplia variedad de exigencias a las tecnologías disponibles. En las siguientes secciones se analizarán las tecnologías clave que son particularmente apropiadas para diferentes casos.

Las dos últimas décadas fueron testigo de la aparición de importantes tecnologías clave de telecomunicación, que constituyeron un extraordinario estímulo para mejorar profundamente su rendimiento. Entre las más importantes se encuentra la microelectrónica como lo son las tecnologías CMOS, CMOS bipolar y GaAs.

1.1.1 Tecnología CMOS de silicio

Entre los más importantes desarrollos de los últimos años figura, por el campo de aplicaciones y el número de chips producidos, la tecnología CMOS (Semiconductor metal-óxido complementario). Las mayores ventajas de la tecnología CMOS son su elevado grado de integración, hasta 100,000 funciones de compuerta por chip, con estructuras del orden de $1\ \mu\text{m}$ (longitud de canal), así como su baja pérdida de potencia, del orden de 0,1 a 2 W. Estas características hacen que los CMOS sean muy apropiados, por ejemplo, para memorias y funciones lógicas extensivas, tales como microprocesadores, también para componentes de la línea de abonado de la red digital de servicios integrados.

Al reducirse las dimensiones de la estructura, decrece también el tiempo de conmutación de las compuertas, aumentando correspondientemente la máxima velocidad de transmisión de datos posible. Al mismo tiempo se obtiene las siguientes ventajas:

- Mayor nivel de integración, que implica menor requerimiento de espacio por función
- Menores costos por función
- Mayor grado de confiabilidad para todo el sistema

Las estructuras de $1 \mu\text{m}$ (chip de 1 Mbit) y de $0,8 \mu\text{m}$ (chip de 4 Mbits) se encuentran en producción en serie; La tecnología CMOS se aplicará en el futuro a todas las funciones lógicas, de conmutación de memoria de las telecomunicaciones; En consecuencia, representa una verdadera tecnología clave, tanto en cuanto a las telecomunicaciones, como a la economía en general.

1.1.2 Tecnología bipolar de silicio

La tecnología bipolar de silicio es aproximadamente un orden de magnitud más rápida que la CMOS con una estructura de igual tamaño, lo que permite realizar, por ejemplo, sistemas de transmisión de hasta 2,5 Gbits/s, así como sistemas ATM rápidos. Sin embargo, la pérdida de potencia de esta tecnología, es por lo general, considerablemente superior a la de la CMOS, por lo que también es menor el grado de integración. En esta tecnología puede implementarse chips con 20,000 a 30,000 funciones de compuerta y aproximadamente 40 W de pérdida. El mayor rendimiento de conmutación representa una clara ventaja frente a los CMOS, aspecto importante para los controladores de línea. En la tecnología bipolar de silicio disminuye continuamente el tamaño de las estructuras, al igual en el futuro se espera alcanzar velocidades de transmisión de datos de hasta 20 Gbit/s.

1.1.3 Tecnología CMOS bipolar(BICMOS)

La BICMOS combina en un único chip las tecnologías CMOS y bipolar. Por lo tanto, es muy apropiada para las funciones que no sólo requieran una mayor complejidad e integración, también, en algunas áreas, una mayor velocidad y/o capacidad de conmutación. Como es natural, la BICMOS presenta una combinación apropiada de las características de la tecnología CMOS y de la bipolar.

1.2 Transmisión por fibras ópticas

Además de los cables de fibras ópticas, los componentes más importantes para las comunicaciones ópticas son los módulos receptores y transmisores optoelectrónicos.

La máxima velocidad de transmisión obtenible con estos componentes queda definida esencialmente por la microelectrónica en el lado transmisor y receptor, mientras que la distancia máxima entre repetidores depende de la microelectrónica y de la atenuación y dispersión en los cables de fibras ópticas.

Para las aplicaciones en telecomunicaciones se utilizan como transmisores ópticos en general láseres de semiconductor, en conjunto con fibras ópticas monomodo. Emiten principalmente luz monocromática, que es un factor

importante para la implementación de sistemas de transmisión de larga distancia.

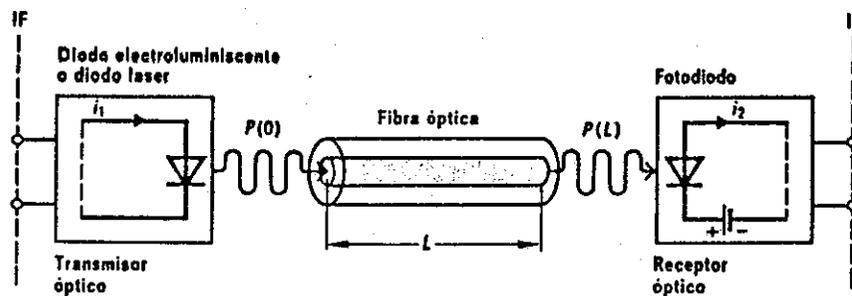
Para distancias y velocidades de transmisión menores se usan, en su caso, diodos electroluminiscentes LED (light emitting diodes), que emiten luz en un espectro más amplio y permiten lograr un alcance suficiente para redes de área local LAN (local area network) cuando se usan en conjunto con fibras de índice gradual. Sin embargo, la tendencia tecnológica apunta al uso de diodo láser de alto rendimiento y fibras monomodo para conexiones de corta y larga distancia.

Además, la capacidad obtenible de transmisión del sistema depende de la longitud de onda tanto para los diodos láser como para los diodos electroluminiscentes. Las velocidades menores de transmisión de datos pueden materializarse con longitudes de onda de la ventana 1 (850 nm), y las mayores, con las de las ventanas 2 (1,300 nm) y 3 (1,550nm).

Como receptores ópticos se utilizan fotodiodos de avalancha APDs (avalanche photodiodes) y diodos positivo-intrínseco-negativo PIN (positive-intrinsic-negative). Los diodos PIN tienen un mayor límite de frecuencia (aproximadamente 20Ghz), mientras que los APDs son unas diez veces más sensibles que los diodos PIN, permitiendo mayores distancias.

Las transmisiones ópticas pueden representarse de una forma sencilla como se muestra en la figura 1, en la cual el transmisor convierte la señal eléctrica en una señal óptica mediante un transductor electroóptico, por ejemplo un diodo láser LD o diodo electroluminiscente LED. Profundizando un poco más se podría decir que, mediante la corriente en el diodo modulada por impulsos binarios i_1 , se modula la intensidad luminosa del diodo emisor inyectándose luz con una potencia $P(0)$ en la fibra óptica.

Una vez que la luz ha recorrido la fibra óptica, se reconvierte en una señal eléctrica al final del trayecto en un transductor optoeléctrico en el receptor, por ejemplo un fotodiodo de avalancha. La ruta de transmisión óptica comienza y finaliza, por lo tanto, en un interface eléctrico, estos datos están normalizados, utilizando para los sistemas digitales sobre fibras ópticas, por principio, los mismos interfaces, tal como se aplican para los radioenlaces y los equipos multiplexores, (recomendación G 703 del CCITT).



Siemens. Telecomunicación digital, página 8

Figura 1

Principio de la transmisión óptica

1.3 Equipos terminales de línea y líneas de abonado RDSI

Las funciones de la red digital de servicios integrados RDSI más complejas, que sólo se logran con una microelectrónica de alta integración, son las empleadas en los equipos terminales y accesos básicos. Un par de cobre que hasta ahora se utilizaba para un único teléfono analógico, puede manejar ahora hasta ocho terminales de todo tipo de comunicación, dos de ellos simultáneamente.

Otro ejemplo fascinante es la videotelefonía con una velocidad de sólo 64 Kbit/s, una velocidad de transmisión de 140 Mbit/s es suficiente para una codificación PCM relativamente simple para comunicaciones de imágenes móviles, pero la videotelefonía de 64 Kbit/s requiere un factor de reducción del orden de 2000:1. Esto se logra disminuyendo el número de imágenes parciales transferidas por segundo y transmitiendo no el contenido entero de la pantalla, sino la diferencia entre ello y un valor estimado partiendo de las imágenes recibidas previamente. Estas y otras medidas requieren con frecuencia una potencia de procesamiento muy alta.

Con la llegada de la tecnología CMOS de 1,2 μm se ha implementado un codec con unos diez circuitos integrados de aplicación específica ASICs (application-specific integrated circuits), cuya complejidad varía entre 3,000 y 50,000 funciones equivalentes de compuerta, y diversas memorias de acceso aleatorio RAMs (random access memories) de vídeo, en países desarrollados los servicios de videotelefonía ya están en alcance de los usuarios.

1.4 Tecnología de conmutación

La influencia de la microelectrónica en el desarrollo de los sistemas de conmutación ha sido sumamente impresionante. La integración en gran escala de las funciones de codec, de extraordinaria complejidad, en un chip, fue la condición previa para la transición económica de la telefonía analógica a la digital. El ahorro de espacio más drástico se logró en el equipo de conmutación, ya que una red digital de conmutación ocupa menos espacio que una red analógica de conmutación, con la misma capacidad de abonados.

La microelectrónica ha abierto un amplio campo de aplicaciones para redes inteligentes. en la tecnología de conmutación, las funciones periféricas las realizan potentes microprocesadores de 32 bits. Para coordinar las funciones y controlar los servicios de las redes inteligentes, se requieren sistemas procesadores de alta potencia.

1.5 Tecnología de transmisión

En el campo de la tecnología de transmisión, la microelectrónica ha aportado un considerable incremento de la capacidad y una reducción del requerimiento de espacio.

Hoy pueden realizarse sistemas comerciales de transmisión con fibras ópticas para hasta 2.4 Gbit/s (que corresponde a 30.720 canales de 64 Kbit/s). En un período de tan solo 10 años el espacio requerido para los equipos de transmisión se ha reducido a una cuarta parte de la anterior y la pérdida de potencia en una décima parte.

Afortunadamente, las velocidades binarias requeridas en la línea terminal del abonado no son tan elevadas como las que se necesitan en las líneas troncales de larga distancia. Aquí las velocidades son del orden de los 140 Mbit/s, llegando a un máximo de 600 Mbit/s.

1.6 Fibra óptica hasta el usuario

Los conductores de fibra óptica constituyeron un paso revolucionario en el desarrollo de nuevos medios de transmisión. Su superioridad técnico-económica respecto a los tradicionales medios de transmisión ha quedado comprobada de forma convincente para la mayoría de sus aplicaciones.

En muchas de las administraciones de telecomunicaciones se llegó por ello a la conclusión de tender en los nuevos trayectos de larga distancia exclusivamente cables de fibra óptica con hasta 60 fibras monomodo. Sin embargo, en la red telefónica regional aún se tienden en parte fibras de índice gradual.

En las áreas de conexión del abonado se utilizan cables con más de 100 fibras y para aplicaciones especiales como por ejemplo enlaces de comunicación con unidades remotas, ya se pueden salvar hoy en día, con un ancho de banda reducido, distancias de 140 kilómetros con cable de fibra óptica submarinos sin la necesidad de regeneradores de señal intermedios.

Además de las ventajas técnicas y una oferta variada de nuevos servicios, la reducción de los costos, a provocado el cambio de las redes convencionales de cobre a las redes digitales con técnica de fibra óptica.

Este cambio de troncales urbanas simétricas a redes urbanas digitales con técnica de fibras ópticas se realiza en muchos países utilizando la fibra monomodo y los diodos láser. Todo esto conduce a una sustitución de los sistemas PCM 30 y da por resultado, junto con las centrales digitales, una solución particularmente económica. En comparación con las líneas de cables coaxiales, los costos de inversión para enlaces de fibra óptica ya han sufrido una considerable reducción.

El siguiente paso conduce la red digital de servicios integrados de banda ancha y lleva el conductor de fibra óptica hasta el mismo abonado. De este modo se lleva hasta el usuario, a través de la línea telefónica, una oferta de servicios prácticamente ilimitada. Incluyendo la transmisión de imágenes animadas.

Un elemento clave para esta nueva dimensión de la red son los convertidores electroópticos que se han estado desarrollando en forma de módulos de transmisión y recepción bidireccionales.

2. FIBRAS ÓPTICAS EN TELECOMUNICACIONES

2.1 Principios físicos de las fibras ópticas

2.1.1 El espectro electromagnético

Las ondas electromagnéticas se vienen utilizando desde hace varios años para la transmisión de información. El uso de este tipo de ondas se debe a que para propagarse no requieren necesariamente de un conductor metálico, por lo que pueden hacerlo con elevada velocidad, a través del vacío y en un material no conductor es decir un dieléctrico.

La luz, al igual que las ondas de radio, los rayos X y los rayos gama es energía electromagnética. La frecuencia de la luz utilizada para transmitir por medio de las fibras ópticas es de alrededor de 360 THz (3.6×10^{14} hertz). La luz visible solamente ocupa la reducida zona que va desde los 380 nm hasta los 780 nm. La longitud de onda λ es la forma más comúnmente utilizada para describir a las ondas visibles.

La composición del espectro electromagnético se muestra en la figura 2, así como el rango del espectro óptico con relación a dicho espectro

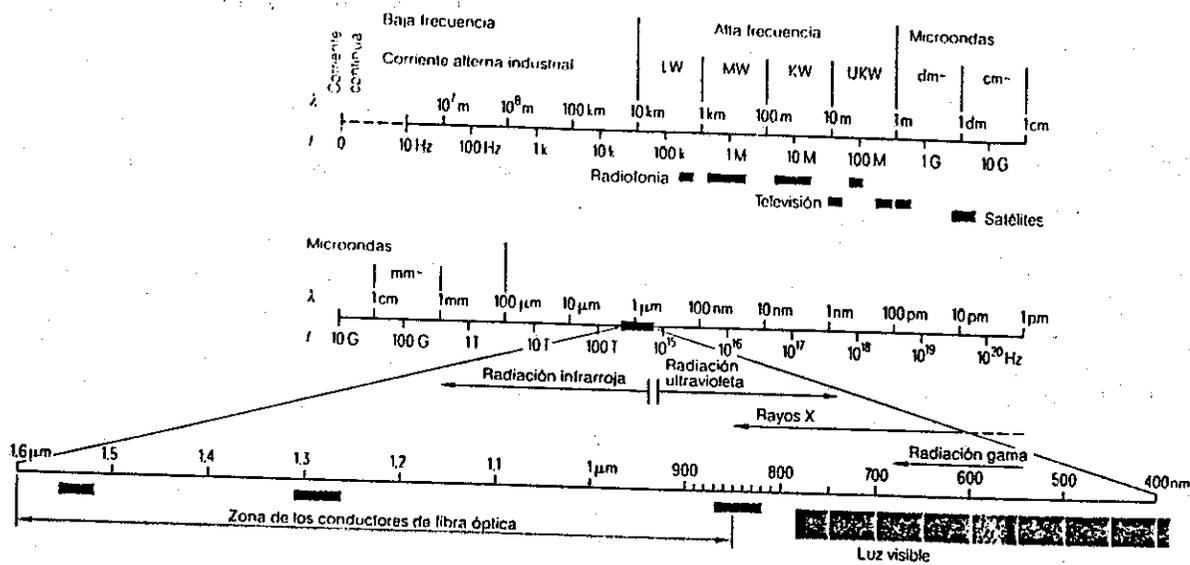
electromagnético. La porción óptica del espectro electromagnético se divide en tres regiones: Ultravioleta (10nm - 390nm), Visible (391 - 770nm) e Infrarroja (771 - 1000nm). Estas categorías, aunque ampliamente aceptadas, sólo son aproximadas. Por ejemplo, la mayoría de las personas pueden observar emisiones de 800nm generadas por LEDs o por Diodos Láser.

En las telecomunicaciones por fibra óptica se utilizan las longitudes de onda del infrarrojo cercano o sea de 800 a 1600 nm, siendo los valores de 850,1300 y 1550 nm los utilizados.

Lo que generalmente se llama "la velocidad de la luz " C_0 , es la velocidad de propagación de la energía electromagnética, en este rango de longitud de onda, en el vacío. En el vacío las ondas electromagnéticas se propagan con la velocidad de la luz:

$$C_0 = 299,792.456 \text{ km/s}$$

Para la propagación en el aire podemos tomar con suficiente aproximación el valor redondo de: $C_0 = 300,000.00 \text{ km/s}$



Malke, Günter y Góssig, Peter. Conductores de fibra óptica. página 15

Figura 2

Espectro electromagnético

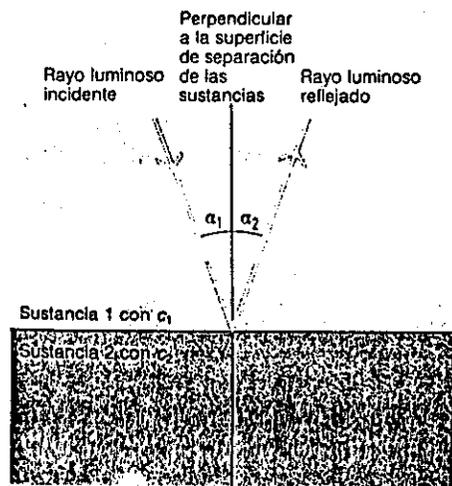
2.1.2 Reflexión

Cuando una onda luminosa incide sobre la superficie de separación entre dos sustancias, una fracción de la misma se refleja. La proporción de la luz reflejada es función del ángulo α_1 que forma el rayo de luz incidente con la perpendicular a la superficie de separación.

Por rayo de luz se entiende aquí la trayectoria dentro de la cual se extiende la energía luminosa. El rayo luminoso reflejado y el ángulo α_2 que éste forma con la

perpendicular a la superficie de separación de las sustancias tienen las siguientes características: (figura 3).

- El rayo luminoso reflejado se mantiene en el plano formado por el rayo luminoso incidente y la perpendicular a la superficie de separación, de las sustancias.
- Además este rayo luminoso se halla en el semiplano opuesto a la superficie de separación de las sustancias,
- Los ángulos de incidencia y reflexión son iguales $\alpha_1 = \alpha_2$



Malke, Günter y Góssig, Peter. Conductores de fibra óptica. página 19

Figura 3
Reflexión de la luz

2.1.3 Refracción

Si un rayo luminoso incide con un ángulo α de modo oblicuo desde una sustancia ópticamente menos densa (por ejemplo el aire) a otra más densa (por ejemplo vidrio o agua), su dirección de propagación se quiebra y su trayectoria continúa en la segunda sustancia con un ángulo de refracción β

Para una sustancia isotrópica, o sea un medio o material que presenta idénticas propiedades en todas sus direcciones, vale la Ley de Refracción de Snell, la cual dice que el cociente entre el seno del ángulo de incidencia α y el seno del ángulo de refracción β es constante e igual a la relación de las velocidades de la luz C_1/C_2 en ambas sustancias (figura 4):

$$\text{sen}\alpha / \text{sen}\beta = C_1/C_2$$

α ángulo de incidencia

β ángulo de refracción

C_1 velocidad de la luz en la sustancia 1

C_2 velocidad de la luz en la sustancia 2

En el caso de dos sustancias transparentes, se considera más densa a aquélla que tiene la menor velocidad de propagación de la luz.

Considerando la transición desde el vacío (aproximadamente igual al aire), en el cual la velocidad de la luz es C_0 , a una sustancia con velocidad de la luz C , se obtiene la siguiente relación:

$$\text{sen } \alpha / \text{sen } \beta = C_0 / C = n$$

La relación entre la velocidad de la luz en el vacío C_0 y la de la sustancia C , se denomina Índice de Refracción n (o más exactamente Índice de refracción entre dos fases n) de esa sustancia y es una constante material de la misma. El Índice de refracción del vacío n_0 es igual a 1.

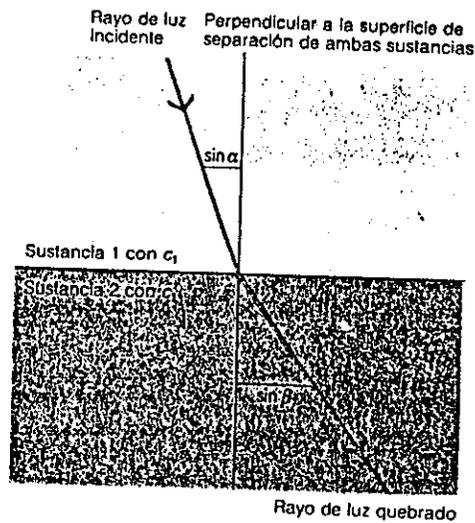
Para dos sustancias diferentes con los índices de refracción n_1 y n_2 y las correspondientes velocidades de la luz C_1 y C_2 vale:

$$C_1 = C_0 / n_1 \text{ y } C_2 = C_0 / n_2$$

De donde se obtiene otra expresión de la ley de la Refracción de Snell:

$$\text{SEN } \alpha / \text{SEN } \beta = n_2 / n_1$$

La relación del seno del ángulo de incidencia al seno del ángulo de refracción es inversamente proporcional a la respectiva relación de los índices de refracción.



Malke, Günter y Góssig, Peter. Conductores de fibra óptica, página 20

Figura 4

Refracción de la luz

2.1.4 Reflexión total

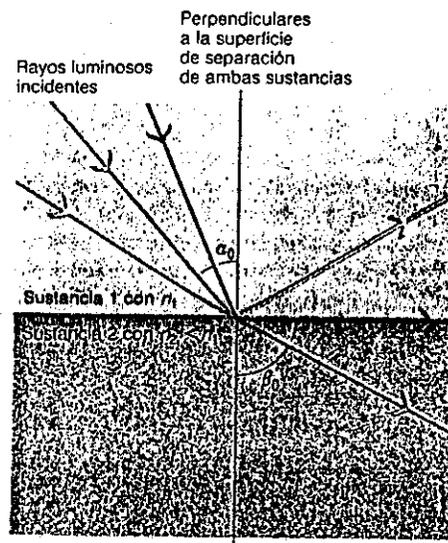
Quando el rayo luminoso incide con ángulo α cada vez mayor desde una sustancia ópticamente más densa con un índice de refracción n_1 sobre la superficie de separación con una sustancia ópticamente menos densa con índice de refracción n_2 , el ángulo de refracción β_0 al llegar a determinado ángulo de incidencia α_0 puede llegar a ser igual a 90° (figura 5).

En este caso el rayo luminoso se propaga paralelamente a la superficie de separación de ambas sustancias y el ángulo de incidencia α_0 se denomina ángulo límite de las dos sustancias.

Para el ángulo límite α_0 vale la relación:

$$\text{SEN } \alpha_0 = n_2/n_1$$

O sea, el ángulo límite es función de la relación de los índices de refracción n_1 y n_2 de ambas sustancias. La reflexión total puede ocurrir únicamente cuando un rayo luminoso incide desde una sustancia ópticamente más densa sobre otra ópticamente menos densa y nunca se da en el caso inverso.



Malke, Günter y Góssig, Peter. Conductores de fibra óptica, página 24

Figura 5

Reflexión total de la luz

2.1.5 Apertura numérica

En los conductores de fibra óptica se utiliza el efecto de la reflexión total para conducir el rayo luminoso en virtud de tener estos conductores en su centro un núcleo formado por un vidrio con un índice de refracción n_1 y, envolviéndole, un recubrimiento formado por un vidrio con un índice de refracción n_2 (figura 6).

Analizando la expresión $\text{SEN } \alpha_0 = n_0 = n_2/n_1$ se concluye que todos los rayos luminosos que incidan con un ángulo menor que $(90^\circ - \phi_0)$ con respecto al eje de la fibra óptica son conducidos en el núcleo.

Para acoplar al núcleo un rayo luminoso desde el exterior de la fibra (aire con índice de refracción $n_0 = 1$), el ángulo (entre el rayo luminoso y el eje de la fibra) se rige de acuerdo a la ley de refracción:

$$\text{SEN } \theta / \text{SEN}(90^\circ - \alpha_0) = n_1/n_0$$

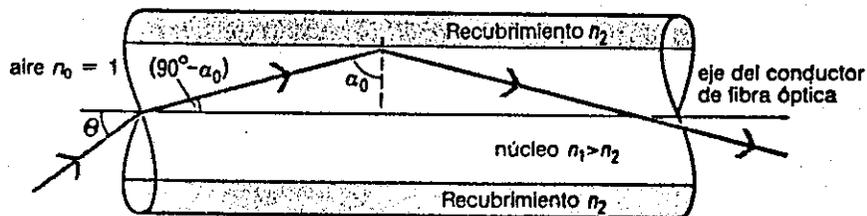
$$\text{SEN } \theta = n_1 \cdot \text{COS } \alpha_0 = n_1 \cdot (1 - \text{SEN}^2 \alpha_0)$$

considerando la condición del ángulo límite $\alpha_0 = n_2/n_1$ se obtiene la expresión:

$$\text{SEN } \theta = (N_1^2 - N_2^2)$$

El máximo ángulo de acoplamiento θ_{\max} se denomina ángulo de aceptación del conductor de fibra óptica y es únicamente función de los índices de refracción n_1 y n_2 . Al seno del ángulo de aceptación se le denomina apertura numérica.

Como se describe más adelante la apertura numérica junto con el diámetro del núcleo es determinante para conocer cuanta luz de una fuente puede ser acoplada en la fibra.



Malke, Günter y Góssig, Peter. Conductores de fibra óptica, página 25

Figura 6

Apertura numérica

2.2. Propagación por medio de fibras ópticas

La fibra óptica básica consiste de 2 cilindros concéntricos de vidrio. El cilindro interior (o núcleo) contiene un índice de refracción mayor que el del cilindro exterior (la envoltura). Si la luz proyectada al núcleo no se excede de un cierto ángulo, ésta será atrapada por él y se desplazará a lo largo de dicho

núcleo en zig-zag al encontrarse con la barrera formada entre el material de vidrio que constituye el núcleo y el que forma la envoltura.

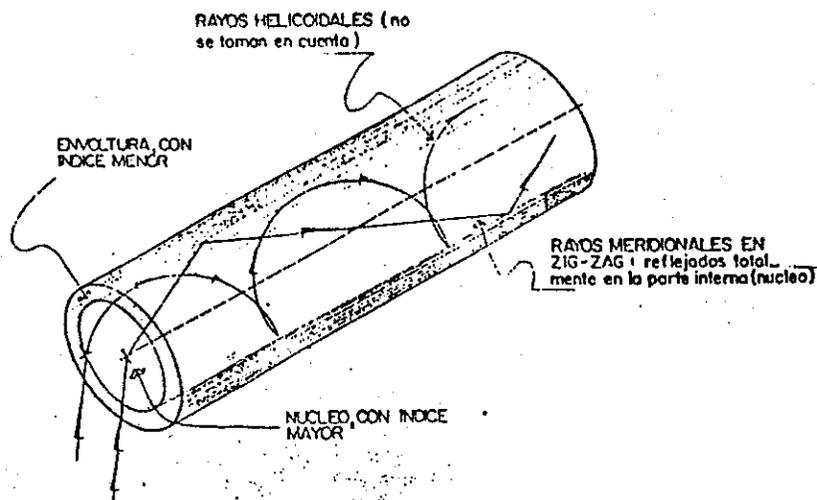
Esta situación se presenta cuando los ángulos de incidencia y de reflexión son idénticos esta condición óptica en donde la luz se propaga totalmente sin pérdidas se le llama Reflexión Interna Total.

En términos generales, el efecto de la reflexión interna total, es el causante de la propagación de la luz por medio de las fibras ópticas (figura 7).

La mayoría de los análisis de la propagación de la luz en una fibra óptica evalúan únicamente a los rayos meridionales, los cuales son aquéllos que cruzan al eje de la fibra cada vez que son reflejados.

Las fibras ópticas también contienen rayos helicoidales, los cuales se desplazan a lo largo de una fibra en forma de espiral sin atravesar su eje a causa de las muchas reflexiones que se originan en la circunferencia.

A causa de que el análisis de su propagación es muy complejo, a estos rayos generalmente no se les incluye en los análisis de propagación. Las características exactas de la propagación de la luz dependen del tamaño de la fibra y su construcción, así como de la composición y naturaleza de la luz inyectada en ella.



Malke, Günter y Góssig, Peter. Conductores de fibra óptica, página 25

Figura 7

Propagación de la luz en fibras ópticas

El comportamiento de las fibras ópticas y la propagación de la luz a través de ellas, pueden ser razonablemente aproximados por medio de la óptica geométrica al considerar a la luz como rayos de luz.

Sin embargo, los análisis más a fondo deben basar necesariamente en la solución a las ecuaciones de Maxwell sobre la teoría de la propagación electromagnética.

Una de las formas de clasificar las fibras ópticas podría ser por el tipo de material que las compone. Sin embargo, la forma más práctica de clasificarlas es por medio de la definición de los índices de refracción y por el número de modos de propagación (cantidad de ondas admisibles en una fibra) que se desarrollan en ellas. Los dos tipos de índices de refracción utilizados son el escalonado y el gradual.

En una fibra de índice escalonado, el núcleo contiene un índice de refracción uniforme con un valor numérico más alto que el de la envoltura. La envoltura contiene un índice también uniforme, pero de menor valor numérico. El cambio entre un índice y otro es abrupto, es decir que la separación (o división) entre ambos está perfectamente definida.

En las fibras fabricadas con índice de refracción gradual, el índice del núcleo no es uniforme, ya que el mismo contiene un mayor valor numérico en el centro; este valor va en disminución conforme radialmente se incrementa la distancia desde el eje del núcleo hasta el inicio de la estructura de la envoltura.

Eventualmente, el índice de refracción del núcleo se mezcla con el de la envoltura y adquiere el mismo valor numérico que el de ésta. No existe en este caso una barrera o separación definida entre ambos. Para propósitos de telecomunicaciones, se han elaborado tres tipos de fibras ópticas:

- **Multimodo de índice escalonado**
- **Multimodo de índice gradual**
- **Monomodo de índice escalonado**

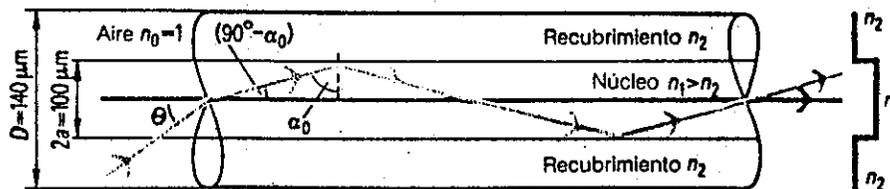
2.2.1 Fibras ópticas multimodo de índice escalonado

En este tipo de fibra, la luz se desplaza básicamente en zig-zag al reflejarse a lo largo de la barrera entre el índice de refracción del núcleo (índice mayor o más denso) y el de la envoltura (índice menor o menos denso). La propagación se efectúa parcialmente basándose en la reflexión interna total (figura 8).

Como se podrá observar en la figura 8 en este tipo de fibras ópticas la luz se propaga en multitud de modos a lo largo de rutas diferentes y por consiguiente, con longitudes diferentes.

En este tipo de fibra la cantidad de rayos que se propagan y sus cambios de dirección son muy abruptos. Además, como los diferentes rayos se desplazan por rutas diferentes, éstos arriban al receptor con diferentes intervalos de tiempo, esto efectivamente limita el ancho de banda utilizable, ya que la señal se dispersa conforme se propaga.

En la figura 8 se muestra también un corte longitudinal a través de esta fibra escalonada. Todos los rayos luminicos que incidan sobre el frente de la fibra dentro de un ángulo de aceptación θ (teta), son guiados por reflexión total.



Malke, Günter y Góssig, Peter. Conductores de fibra óptica, página 40

Figura 8

Fibra óptica de índice escalonado

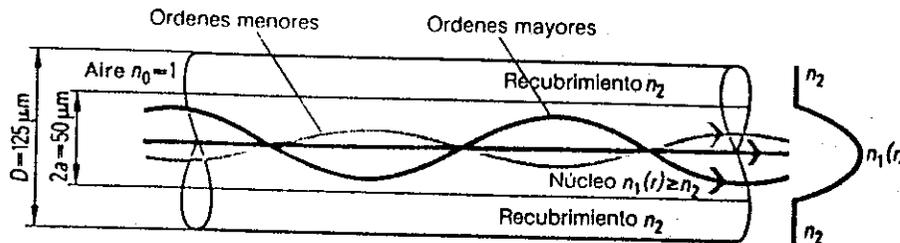
El seno del ángulo de aceptación se denomina apertura numérica A_n de la fibra. Este valor característico tiene una importancia especial para el acoplamiento de fibras multimodo a diodos emisores de luz, debido a que la potencia luminica de acople aumenta con el cuadrado de la apertura numérica (y también con el cuadrado del diámetro del núcleo).

Valores típicos de An en fibras escalonadas varían entre 0.2 y 0.3 correspondientes a ángulos de aceptación entre 11.5 y 17.5 grados. Sin embargo, se debe tener en cuenta que la diferencia de tiempos de recorrido entre los rayos luminosos graficados en la figura 10 también aumenta con el cuadrado de la apertura numérica, originándose una limitación del ancho de banda de transmisión. Fibras escalonadas típicas tienen un producto de ancho de banda - longitud del orden de 10 hasta 20 Mhz x Km

2.2.2 Fibras ópticas multimodo de índice gradual

Variando convenientemente el dopado de la fibra, se logra que el índice de refracción disminuya en forma parabólica desde el centro del conductor hacia su periferia, (figura 9) evitándose así en gran parte la limitación de ancho de banda debida a las diferencias de tiempos de recorrido.

Este tipo de fibra contiene un cambio gradual entre los índices de refracción del núcleo y el de la envoltura. La densidad del vidrio que constituye el núcleo disminuye en forma paulatina hacia el vidrio menos denso que constituye la envoltura; como no existe una barrera definida, no se observa un cambio marcado entre los dos índices.



Malke, Günter y Góssig, Peter. Conductores de fibra óptica, página 46

Figura 9

Fibra óptica de índice gradual

Esta especie de mezcla entre los dos índices obliga a la luz a desplazarse no sobre trayectorias zigzagueantes, sino sobre trayectorias onduladas y con cambios de dirección graduales, (figura 9).

Como se puede observar en esta figura, los rayos efectivamente son ondulados. Como muchos de ellos pasan de un medio más denso a uno menos denso, el cambio de densidades les permite incrementar su velocidad conforme los mismos se desplazan del núcleo hacia la envoltura (tómese en cuenta que el cambio de densidades es gradual).

Este incremento en la velocidad de propagación permite a los rayos ondulatorios casi alcanzar a los rayos que se propagan a lo largo del eje de la fibra, y por esta razón, la mayoría de ellos no arriban al receptor con una

diferencia de tiempo tan marcada como en el caso de las fibras de índice escalonado.

En la actualidad se pueden fabricar fibras graduales cuyos perfiles de índices de refracción se acercan tanto al perfil de la parábola ideal que con un tiempo de recorrido de la luz de 5 μ s por cada Kilómetro de longitud de la fibra, sólo presentan diferencias de recorrido de ± 0.1 ns/Km. Esta pequeña diferencia de tiempo en los impulsos se puede representar en el dominio de las frecuencias como una función de transferencia de un filtro pasabajos.

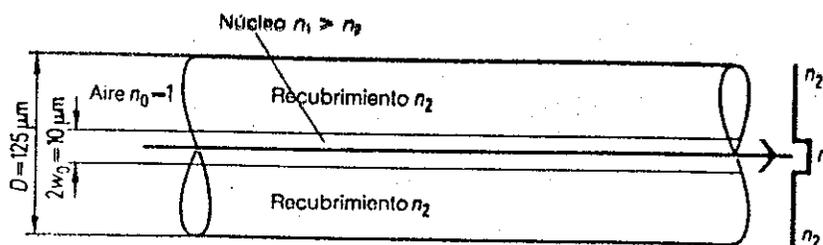
Los cambios de longitud en las diferentes rutas y los cambios de velocidades experimentados por los rayos ondulatorios (causados por la mezcla de los índices de refracción), reducen las diferencias en sus tiempos de propagación. Esto efectivamente reduce la dispersión de los pulsos e incrementa el ancho de banda utilizable.

La posición del máximo ancho de banda depende de la composición específica de vidrio utilizada y de la forma exacta del perfil. Conforme a las aplicaciones, se produjeron en un principio, fibras graduales con un ancho de banda óptimo en los 850 nm. En la actualidad, las fibras se utilizan casi exclusivamente en la segunda ventana, verificándose el máximo en los 1300 nm.

2.2.3 Fibras ópticas monomodo

Reduciendo el diámetro del núcleo de una fibra escalonada a un valor tal, que sólo se pueda propagar una única forma de onda (un modo), se tendrá una fibra monomodo. En esta fibra monomodo se elimina la limitación del ancho de banda que se origina en las fibras multimodo basándose en las diferencias de tiempos de recorrido de los diversos rayos lumínicos.

La principal ventaja de las fibras monomodo es su gran ancho de banda de transmisión en el respectivo intervalo de servicio, una desventaja representa el pequeño diámetro de su núcleo que constituye una cierta dificultad al permitir acoplar sólo señales con suficiente energía luminica, proporcionada por fuentes luminosas con un densidad muy elevada (diodos láser o diodos luminiscentes de potencia). La figura 10 muestra el principio de la conformación de una fibra monomodo con perfil escalonado.



Malke Günter y Góssig Peter. Conductores de fibra óptica, página 44

Figura 10

Fibra óptica monomodo

La forma más práctica de evitar que la luz se propague por diferentes Modos es por medio de las fibras monomodo. En estas fibras, el diámetro del núcleo se ha reducido a valores que oscilan entre los 5 y los 10 micrómetros. Estas dimensiones ya se acercan bastante a los rangos de las longitudes de onda de operación de los sistemas de fibra óptica y por este motivo, en dichas fibras sólo se puede propagar un único haz de luz (figura 10).

2.3 Parámetros de los conductores de fibra óptica

2.3.1 Atenuación

En la figura 11 se muestra la curva característica de la atenuación espectral en fibras ópticas, en la cual se observa la curva que representa al esparcimiento Rayleigh, el cual se origina por diminutas inhomogeneidades microscópicas que son una consecuencia del desorden térmico en la masa de vidrio fundida y que permanecen en la guíaonda. Como la estructura de estas irregularidades es mucho más pequeña que la longitud de onda de la luz, las pérdidas por esparcimiento decrecen con una longitud de onda λ creciente, proporcionalmente a $(1/\lambda)^4$. En el vidrio de cuarzo el esparcimiento de Rayleigh tiene para $\lambda = 1\mu\text{m}$ la magnitud de aproximadamente 0.8 dB/km.

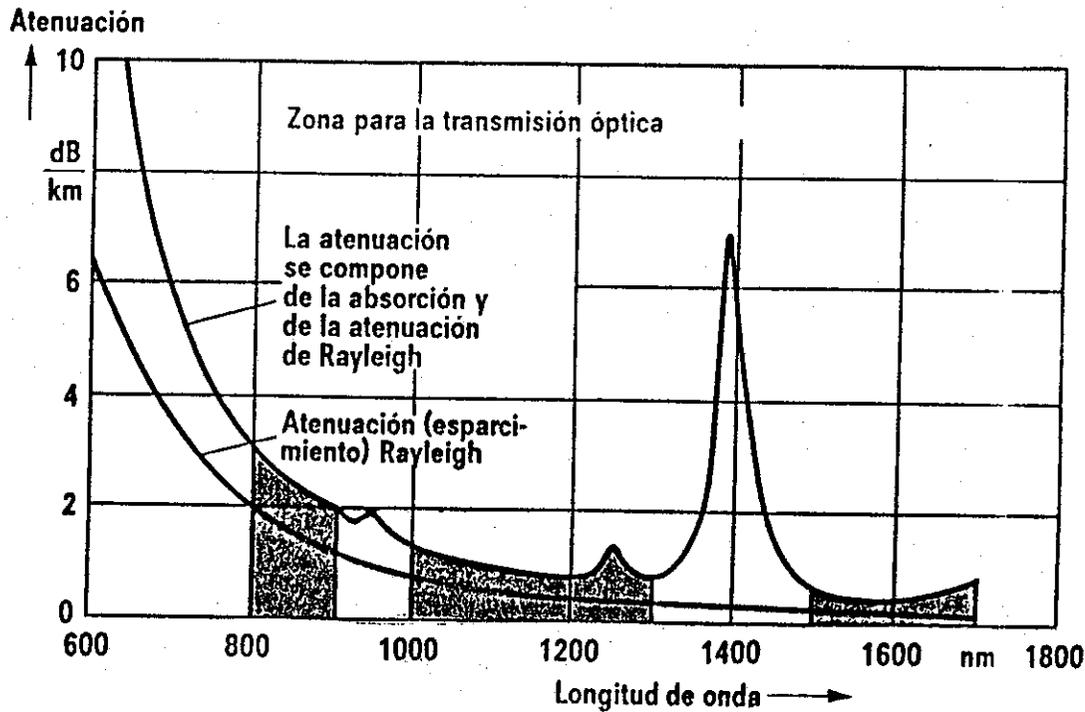
La primera región entre 0.8 y 0.9 μm está limitada por el pico de atenuación a 0.95 μm . La mayoría de los sistemas de transmisión óptica funcionan actualmente en estas longitudes de onda, puesto que los láser semiconductores

los diodos electroluminiscentes de GaAlAs, utilizados como emisores, emiten en este margen de longitud de onda. Como detectores son utilizados diodos de silicio.

El segundo tramo va desde 1 hasta 1.3 μm estando finalizado por un pico de atenuación muy pronunciado a 1.39 μm . Los emisores y receptores ópticos para esta región espectral se pueden fabricar a partir de una serie de sistemas cristalinos ternarios y cuaternarios; también son apropiados detectores de germanio.

En la tercera región, entre 1.5 y 1.7 μm , se miden las atenuaciones más pequeñas del orden de 0.2 dB/km a 1.55 μm . En el caso de emisores y receptores ópticos para este tercer tramo es posible por principio fabricar también aquí componentes idóneos a partir de una serie de compuestos semiconductores ternarios y cuaternarios.

Las dos regiones espectrales mencionadas en último lugar son especialmente importantes para redes de telecomunicación ópticas debido a sus mínimas atenuaciones, puesto que las secciones de repetición pueden ser sustancialmente más largas que en la primera región.



Baues, Peter. Optoelectrónica, página 4

Figura 11

Curva característica de la atenuación en fibras ópticas

La luz que se propaga en un conductor de fibra óptica experimenta una atenuación (produce una pérdida de energía). Para cubrir grandes distancias sin emplear regeneradores intermedios es necesario mantener estas pérdidas en el mínimo posible. La atenuación de un conductor de fibra óptica es un parámetro importante para la planificación de redes de cables para telecomunicaciones ópticas y la producen principalmente los fenómenos físicos como son absorción y dispersión.

La magnitud de estas pérdidas lumínicas depende entre otros factores de la longitud de onda de la luz acoplada. Por eso para determinar las gamas de longitudes de onda adecuadas para la transmisión óptica con baja atenuación, resulta en general, útil medir la atenuación de un conductor de fibra óptica en función de la longitud de onda.

Si se observa la propagación de la luz en un conductor de fibra óptica en el estado estacionario, se verificará que la potencia luminosa P conducida decrece en forma exponencial con la longitud L del conductor:

$$P(L) = P(0) [10^{-\alpha L/10}]$$

En esta fórmula, $P(0)$ es la potencia luminosa que se acopla al comienzo del conductor de fibra óptica, $P(L)$ la potencia luminosa aún existente en el conductor al cabo de la longitud L y α (el coeficiente de atenuación), con el cual se da la atenuación por unidad de longitud. Un conductor de fibra óptica de longitud L y coeficiente de atenuación α tiene una atenuación de:

$$\alpha L = 10 \cdot \text{Log} [(P(0)/P(L))]$$

2.3.2 Ancho de banda

La capacidad de transmitir grandes cantidades de información a través de un sistema de transmisión depende básicamente del ancho de banda de dicho sistema. El ancho de banda depende en sí de la frecuencia de transmisión y ésta a su vez depende de la longitud de onda de operación ($c = \lambda \cdot f$).

En el caso de las fibras ópticas, además de la longitud de onda el factor limitante del ancho de banda es la dispersión: Que tanto se puede llegar a dispersar un pulso conforme éste se desplaza a lo largo de un enlace de fibra óptica. Conforme el pulso más se dispersa, su ancho (o duración en tiempo) se incrementa y mientras mayor sea este incremento, menor será la capacidad de transmitir información (menor número de canales de voz por enlace) a lo largo del mismo.

Esta capacidad será menor porque a causa del ensanchamiento de los pulsos, la velocidad de transmisión en bits por segundo no puede exceder de cierto valor ya que si ese valor se excede, los pulsos se alcanzan los unos a los otros, sucede entonces un traslape y el receptor ya no estará en capacidad de distinguir los pulsos individuales.

La incapacidad de detectar los pulsos originales es lo que realmente limita la velocidad de transmisión (bits por segundo) y esta detección se basa en el intervalo de tiempo en que los pulsos originalmente transmitidos hayan sido dispersados.

La dispersión se expresa en picosegundos por kilómetro de longitud por nanómetro de ancho espectral de la fuente que emite la luz (Leds o diodos láser) y se describe así: ps/Km.nm. En forma general, el ancho de banda de una fibra óptica determina la capacidad de transmitir un cierto número de canales de voz en forma simultánea.

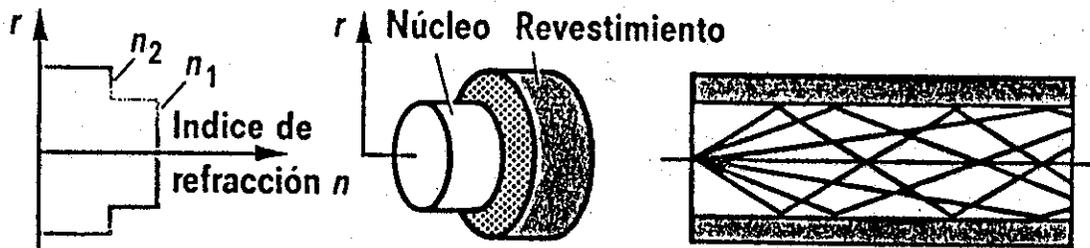
Como la dispersión es el resultado colectivo de todos los efectos que producen ensanchamientos o incrementos en la duración de los pulsos, son estos efectos los que limitan el ancho de banda de la fibra. El ancho de banda y la dispersión (o ensanchamiento) total de los pulsos están caracterizados por dos efectos: la dispersión multimodo y la dispersión cromática.

2.3.3. Dispersión

Existen dos tipos de dispersión: modal y cromática

2.3.3.1 Dispersión modal

Se refiere a las muchas rutas que los rayos de luz pueden tomar conforme se propagan a lo largo de cierto tipo de fibras ópticas.. Un rayo de luz que penetra una fibra óptica alineado perfectamente con el eje de la misma, arribará al otro extremo antes que cualquier otro rayo que haya penetrado la misma fibra no alineado con el eje y que se haya propagado en zig-zag. En el caso de las fibras multimodo de índice escalonado, este problema se acentúa en forma muy marcada (figura 12).



Baues, Peter. Optoelectrónica, página 2

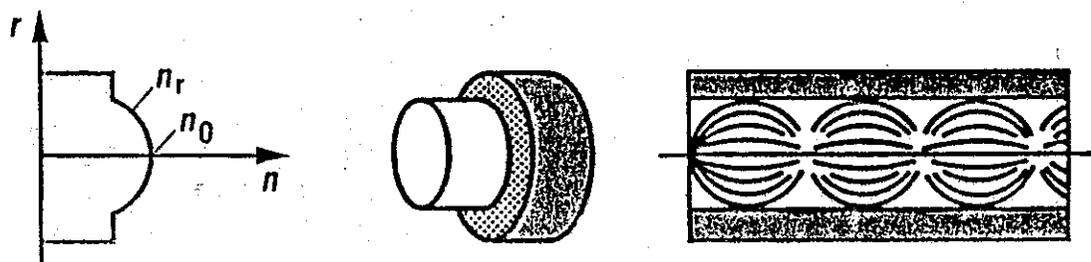
Figura 12

Fibra de índice escalonado,
gran diferencia de retardos en los modos

El ancho de banda en las fibras multimodo es determinado básicamente por la dispersión modal (inter modal). La dispersión modal se debe a que el núcleo es elaborado con un diámetro relativamente muy grande(50 micrómetros) con relación a las longitudes de onda de dispersión.

Un pulso de luz muy corto(en tiempo) propagado en multitud de modos, sufrirá varios atrasos y arribará a la salida dispersado, con lo cual el pulso de salida es totalmente diferente al pulso de entrada. Esto limita la velocidad de transmisión en bits por segundo puesto que, el tren de pulsos se unen entre si provocando que los bits individuales se vuelvan indistinguibles.

En el caso de la fibra óptica multimodo de índice gradual, la dispersión se reduce bastante ya que la propagación ondulada de los rayos (o modos) que no se desplazan a lo largo del eje, permiten incrementar la velocidad de su propagación y la dispersión que experimentan, es mucho menor que en el caso de la figura 13.



Baues, Peter. Optoelectrónica, página 2

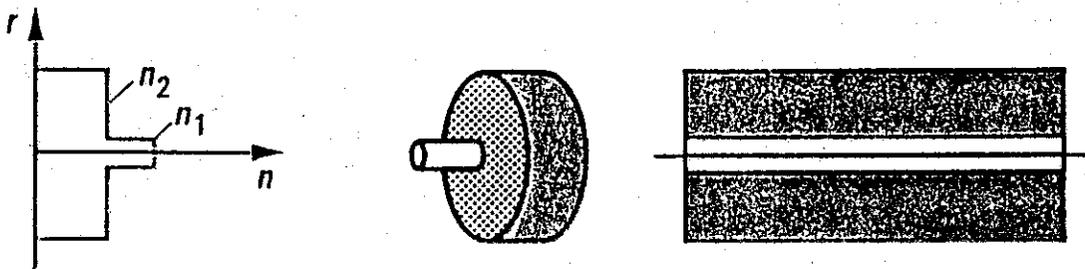
Figura 13

Fibra óptica de índice gradual,
retardo en los modos casi igual

Como en la fibra óptica de índice gradual, el pulso de salida se asemeja más al pulso de entrada. Esta es la razón por la cual las fibras multimodo de índice gradual, se pueden utilizar para enlaces de mayor longitud y para transmitir a velocidades más altas(bits/seg.) a comparación de las fibras multimodo de índice escalonado.

El problema de la dispersión modal se elimina totalmente con la utilización de las fibras ópticas monomodo. En este tipo de fibra, la dimensión del diámetro se aproxima mucho al de las longitudes de onda de operación de estos sistemas. En el caso de las fibras multimodo, el diámetro del núcleo es de $50 \mu\text{M}$; en el caso de las fibras Monomodo esta dimensión ha sido reducida a valores que oscilan entre los 5 y los $10 \mu\text{M}$ o sea, de una décima a una quinta parte del valor del diámetro de las multimodo.

Nótese en la figura 14, como únicamente un haz de luz se propaga y a consecuencia de ello, el pulso de salida será casi una imagen perfecta del pulso de entrada.



Baues, Peter. Optoelectrónica, página 2

Figura 14

Fibra óptica monomodo,
solo se puede propagar un modo

En este tipo de fibras, el diámetro del núcleo oscila entre 5 y 10 veces el valor de la longitud de onda de operación.

2 3.3.2 Dispersión cromática

También se le conoce como dispersión del material o dispersión por la longitud de onda y es causada por que la velocidad de propagación a lo largo de la fibra, es diferente para cada longitud de onda emitida por la fuente de luz. La dispersión cromática se reduciría si la fuente que emite la luz (diodo láser o led) fuese monocromática o sea que la anchura de la línea espectral fuese extremadamente estrecha. Esta dispersión es el factor limitante del ancho de banda en las fibras monomodo, aunque teóricamente el ancho de banda para estas fibras podría alcanzar valores arriba de los 100 Ghz por kilómetro.

Los efectos de la dispersión cromática se determinan por dos factores:

- La longitud de onda de operación λ
- El ancho de la línea espectral de la fuente $\Delta\lambda$

Con relación a la longitud de onda de operación, resulta que el índice refractivo del vidrio no es constante ya que disminuye gradualmente conforme la longitud de onda λ se incrementa. Por esta razón, la velocidad de propagación de la luz en el vidrio se vuelve dependiente de la longitud de onda.

Además, como la luz originada por los transmisores ópticos(o fuentes) contienen cierto ancho espectral $\Delta\lambda$, ciertas diferencias en los tiempos de propagación ocurren aún en las fibras monomodo.

El ancho de la línea espectral del transmisor tiene un efecto definido sobre este tipo de dispersión: Mientras más amplia se la gama del ancho espectral, mayor será la dispersión cromática que se induce. Como transmisor (o fuente de luz) los LEDs poseen un amplio contenido espectral, hasta 40 nm. Los diodos láseres tienen un ancho espectral alrededor de 4nm o menos.

Sobre la base de los conceptos anteriores y a lo mencionado en la sección sobre el ancho de banda, se puede decir que el ancho de banda está determinado por los siguientes factores:

- Los parámetros estructurales
- Los parámetros físicos
- Las propiedades materiales

En el caso de una fibra monomodo, la dispersión cromática es el efecto dominante que determina el ancho de banda. Sin embargo, la elipticidad del núcleo así como la distorsión inducida por estirones sufridos por la fibra, pueden también ser factores limitantes del ancho de banda en la longitud de onda λ donde la dispersión cromática se supone que es mínima.

2.4 Componentes transmisores y receptores

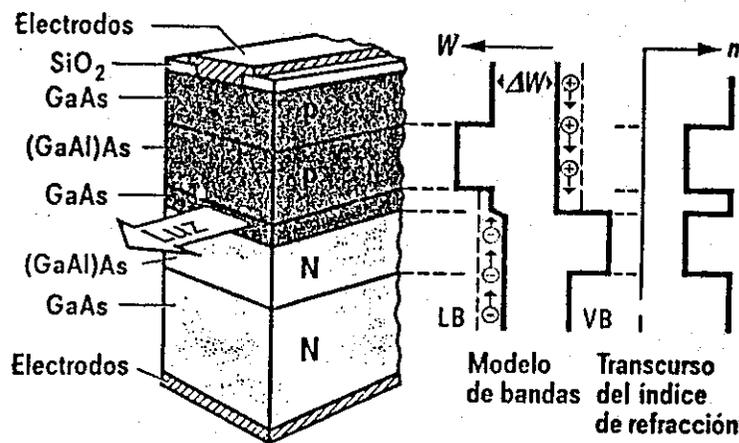
2.4.1 Diodo láser

Básicamente el diodo láser es un diodo electroluminiscente con un elemento selectivo de la longitud de onda, por ejemplo para el caso más sencillo se usa un resonador denominado Fabry-Perot, que se compone principalmente de dos espejos paralelos planos. La amplificación de la luz mediante emisión estimulada de aquí el nombre de Láser (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiación), da como resultado una elevada potencia de salida óptica y mejor enfoque de la luz emitida. Es decir, con ello se obtiene una potencia óptica acoplada en la fibra sensiblemente más elevada y por lo tanto, que se pueda cubrir mayores atenuaciones en la fibra.

La emisión estimulada de luz se provoca en un diodo láser, por medio de una corriente de alta intensidad, en el cual un gran exceso de portadores de carga en la banda de conducción provoca dicha emisión.

Este efecto amplificador producido por una avalancha de fotones es apoyado como se dijo anteriormente por un resonador óptico. La secuencia de doble estructura de capas GaAs y (GaAl)As (figura 15) es la utilizada con mayor frecuencia actualmente para la fabricación de diodos electroluminiscentes y láser.

La luz se genera por recombinación radiante de electrones con huecos (electrones de defecto), que son inyectados en la zona-media-GaAs activa con dopado P, por una corriente que fluye a través de los electrodos y la secuencia de capas. Mientras que las propiedades eléctricas de láser y diodos electroluminiscentes son bastante similares tienen propiedades ópticas muy diferentes. El diodo láser emite luz coherente desde la superficie frontal de la capa p-GAAs, el diodo electroluminiscente radia luz incoherente perpendicularmente a esta capa.



Baues, Peter. Optoelectrónica. página 11

Figura 15

Estructura del diodo láser

Para la generación de luz se aplica una tensión positiva al lado P y una negativa al lado N aumentándose hasta que casi desaparezca la capa de la barrera entre la zona P-GaAs (por lo tanto la zona activa) y la zona que sigue hacia abajo N-(GaAl)As, como se observa en la figura 15 debido a lo cual se inyectan electrones en la zona media P-GaAs.

A continuación se listan los parámetros y características más importantes de los diodos láser para la transmisión óptica de señales digitales:

Longitud de onda	nm	800 a 885	1300/1550
Anchura espectral	nm	3 a 5	0.3 a 5
Material semiconductor		GaAlAs/GaAs	GaInAsP/InP
Emisión		Coherente	coherente
Tiempo de conmutación	Ns	<1	<1
Potencia óptica acoplable en una fibra óptica			
Fibra de índice gradual	MW	1 a 5	1 a 3
Fibra monomodo	Mw	-	0.5 a 1.5
Longitud de transmisión	Km	5 a 20	hasta aprox. 70
a una velocidad de	Mbit/s	≤ 565	≤ 1200

Siemens Telecomunicación Digital, página 21

Tabla I

Parámetros de los diodos láser

Junto a sus ventajas el diodo láser también tiene un comportamiento de funcionamiento crítico causado por las oscilaciones de corriente así como de temperatura que producen variaciones de potencia óptica; es decir, que una potencia de radiación constante se obtiene solamente con cierto grado de regulación.

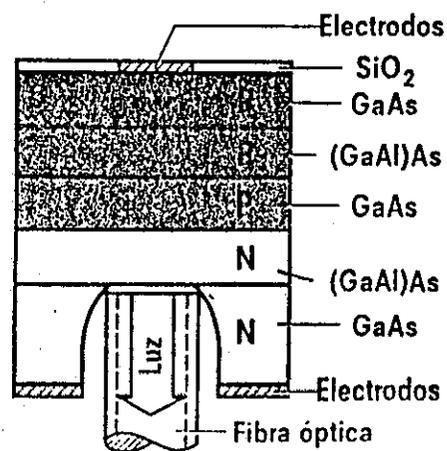
2.4.2 Diodo electroluminiscente

Se denomina diodo electroluminiscente a un diodo en el que se emite luz por emisión espontánea. Como parámetro básico esta la relación entre la potencia externa disponible y la potencia eléctrica consumida, y es llamado rendimiento de potencia externo. Las pérdidas están ocasionadas por una serie de fenómenos específicos de los semiconductores. Obteniéndose por lo tanto el máximo rendimiento posible con la selección adecuada del material semiconductor y la optimización de la estructura de los componentes.

En relación con las telecomunicaciones ópticas, la frecuencia límite de modulación de un diodo electroluminiscente es una magnitud importante. Puesto que la vida media de los portadores de carga en exceso fija un límite por debajo del cual la emisión de la luz no sigue las variaciones de la corriente de inyección en el diodo. Una característica básica de los diodos electroluminiscentes es su pequeña superficie de emisión adaptada al diámetro del núcleo de la fibra, con lo que se obtiene un elevado grado de rendimiento en el acoplamiento de la luz en la fibra óptica.

Las propiedades ópticas de los diodos electroluminiscentes están caracterizadas por la emisión de luz incoherente que se origina en la capa media P-GaAs de $1\mu\text{m}$ de espesor como en el diodo láser y que se radia en todas direcciones, (figura 16). Debido al elevado índice de refracción del GaAs el ángulo límite para la reflexión total tiene un valor de 16 grados de forma que la luz solamente puede salir desde un cono con un ángulo cónico de 32 grados.

Una fibra óptica con la apertura numérica 0.2 puede recibir luz solamente a partir de un ángulo cónico todavía más estrecho de 7 grados, debido a lo cual el acoplamiento de la luz en la fibra óptica se ve enormemente obstaculizado.



Baues.Peter. Optoelectrónica, página 11

Figura 16

Estructura del diodo electroluminiscente

Para mejorar el rendimiento en el acoplamiento óptico se toman dos medidas: por una parte se corroe una ventana en la capa N-GaAs por la que se introduce la fibra óptica para que se le acerque tanto como sea posible a la capa media generadora de luz; por otra parte se hace muy pequeño el diámetro del electrodo P, por ejemplo 50 μ m, para limitar la recombinación de portadores de carga y con ello delimitar la generación de luz en la capa P-GaAs a la región enfrentada a la fibra óptica.

A continuación se listan los parámetros y características más importantes de tres tipos de diodos electroluminiscentes para la transmisión óptica de señales digitales:

		IRED	IRED de elevada potencia	IRED de elevada potencia
Longitud de onda	Nm	880 a 950	800 a 885	1300/1550
Anchura espectral	Nm	50	45	100
Material semiconductor		GaAs	AlGaAs/GaAs	InGaAs/InP
Emisión		Espontánea	espontánea	espontánea
Tiempo de conmutación	Ns	20 a 100	5 a 20	5 a 20
Potencia óptica acoplable en la fibra de índice gradual	μ W	2	30 a 100	50 a 100
Longitud de transmisión a una velocidad de	Km	0.01 a 0.1	1 a 5	1 a 5
	Mbit/s	5 a 10	30 a 100	50 a 200

IRED = Diodo emisor de luz infrarroja

Siemens. Telecomunicación Digital, página 19

Tabla II

Parámetros de los diodos electroluminiscentes

Los diodos electroluminiscentes tienen intensidades de funcionamiento típicas que van desde los 100 hasta los 150 mA, para lo cual necesitan una tensión por debajo de los 2 V.

De la potencia óptica generada internamente de aproximadamente 1mW (0 db) puede llegar a la fibra óptica la luz con pérdidas de acoplamiento de aproximadamente 17 a 20 dB - μ W.

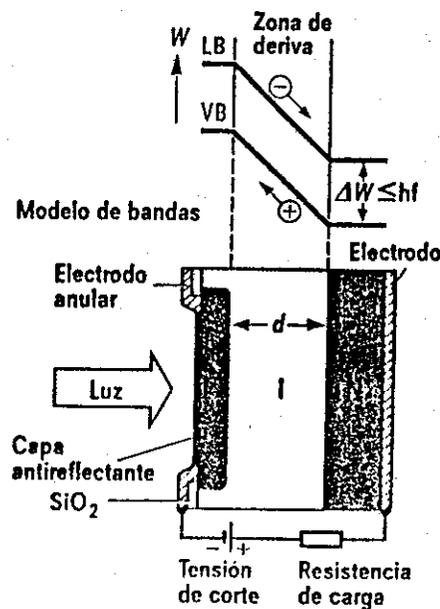
La potencia óptica de los diodos electroluminiscentes crece proporcionalmente a la corriente de inyección, no existiendo un comportamiento de umbral como ocurre con los diodos láser. Por esta causa el diodo electroluminiscente puede ser modulado en amplitud más fácilmente. Las frecuencias de modulación son función de la vida media de los electrones inyectados que es aproximadamente de 1 a 10ns.

2.4.3 Fotodiodo PIN

Los receptores ópticos para telecomunicaciones ópticas son los fotodiodos PIN y los fotodiodos avalancha, los dos utilizan el fenómeno fotoeléctrico interno para la conversión de potencia óptica en eléctrica. Los cuantos de luz que se presentan debido a la absorción, elevan a electrones de la banda de valencia por encima de la separación de banda energética a la banda de conducción; originándose pares de electron-hueco y aumentándose la conductividad del semiconductor.

Este fenómeno es precisamente el fenómeno inverso al de la generación óptica en los diodos electroluminiscentes y láser. Mientras que allí los pares de electrones-huecos aportados por la tensión directa se recombinan y de esta forma emiten luz, en este caso se generan pares de electrones-hueco por la luz incidente y se absorben con una tensión inversa o de corte.

Los diodos se fabrican como estructuras PIN, es decir, una zona de conducción débil N o incluso una zona de conductividad intrínseca (capa I) se encuentra entre una zona de buena conducción N + (el substrato) y una zona muy delgada P+ así mismo de buena conducción (figura 17).



Baues, Peter. Optoelectrónica, página 12

Figura 17

Estructura del fotodiodo PIN

La luz que penetra en el diodo genera pares de electron-hueco en las tres regiones. Los huecos y los electrones generados en la zona 1 derivan rápidamente hacia ambos lados en los campos eléctricos bastante intensos que existen allí. Los electrones de tales pares que surgen en la zona P+ en la proximidad de la unión P+ I difunden a los portadores minoritarios en los gradientes de densidad que aparecen en este punto hacia la zona 1, allí son capturados por el campo eléctrico y entonces son transportados rápidamente hacia la zona N.

De la misma forma llegan los huecos de otros pares (que se han originado en la zona N+ en la proximidad de la unión IN+) hacia la región P+. Todos estos portadores de carga producen una corriente y con ello una tensión en la resistencia de carga.

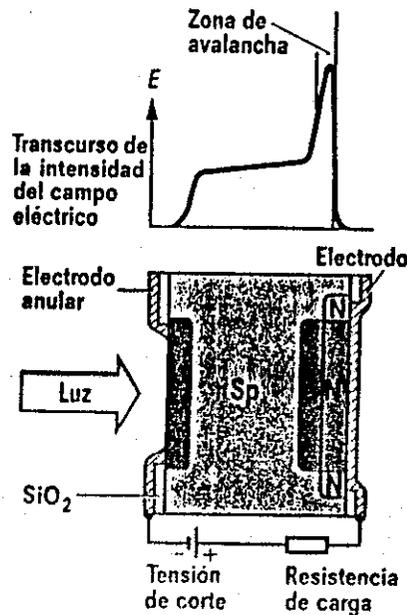
En sistemas de comunicaciones de banda ancha con recepción por fotodiodo PIN la potencia de la señal óptica mínima P_{\min} permitida de la señal óptica está limitada solamente por el ruido térmico y el ruido del amplificador

2.4.4 Fotodiodo de avalancha

El fotodiodo de avalancha se compone de una región llamada (Sp) con débil dopado P, que se limita por la izquierda por una zona de gran dopado P y por la derecha con una unión PN+. La región Sp es como en el caso del diodo PIN la región (la zona de deriva) en la que debido a la radiación lumínica se originan

pares electrones-hueco, (figura 18) La unión PN+ es la zona de avalancha en la cual tiene lugar la multiplicación de portadores de carga.

El transcurso de la intensidad de campo eléctrico (que surge por la aplicación de una tensión inversa al diodo avalancha) muestra una ligera subida en la región Sp y una subida escarpada tendiendo hacia valores elevados del campo eléctrico en la zona de avalancha de aproximadamente $2 \mu\text{m}$ de anchura. Los electrones que llegan desde la capa Sp pueden obtener aquí la energía cinética de la separación de banda y generar nuevos portadores de carga mediante ionización por colisión



Baues, Peter. Optoelectronica, página 12

Figura 18

Estructura del fotodiodo de avalancha

En la fabricación de la transición PN+ de la zona de avalancha se realiza en primer lugar la difusión P y luego la difusión N. Para ello hay que tener en cuenta que la zona N o bien la zona N+ destaque lateralmente por encima de la zona P, para que la transición PN+ y la gran intensidad del campo eléctrico existente allí no alcancen hasta la superficie; con lo que se evita que aparezcan perforaciones locales e irregularidades en el funcionamiento avalancha.

Los fotodiodos avalancha pueden recibir (en comparación con los fotodiodos PIN) potencias de señal óptica pequeñas alrededor de 10db a causa de su ganancia de intensidad interna. Para los fotodiodos avalancha los valores usuales de Pmin están situados alrededor de los 50 nw.

A continuación se enumeran algunos valores característicos de los elementos receptores PIN y diodo de avalancha.

Tipo	Longitud de onda nm	Material semiconductor	Estructura	Amplificación (veces)	Sensibilidad espectral A/W
PIN -FD	400 A 1000	Si	PIN/planar	No hay	0.7 a 0.9
AFD	400 A 1000	Si	planar	10 a 100	0.7 a 0.9
PIN-FD	1300	Ge	Mesa/planar	No hay	0.7 a 0.9
AFD	1300	Ge	Mesa/planar	10	0.7 a 0.9
PIN-FD	900 a 1600	InGaAs/InP	Mesa/planar	No hay	0.7 a 0.9
AFD	900 a 1600	InGaAs/InP	Mesa/planar	10 a 50	0.7 a 0.9

Siemens. Telecomunicación Digital, página 24

Tabla III

Valores característicos del fotodiodo PIN y diodo de avalancha

2.5 Uniones ópticas

2.5.1 Unión con conectores

Las uniones en las vías de transmisión óptica sirven para acoplar de manera simple y reproducible, con escasa atenuación y, en caso necesario, también en forma fácilmente separable, dos componentes de fibra óptica.

En función del diámetro del núcleo de la fibra utilizada y de la atenuación de inserción requerida de la conexión, se plantean diferentes exigencias sobre las tolerancias mecánicas. Así por ejemplo, a las medidas críticas de un conector para fibras de índice gradual con diámetro nuclear de $50\mu\text{m}$, las tolerancias no podrían exceder un valor de aproximadamente $1\mu\text{m}$. Pero la atenuación de inserción resultante de una conexión depende también significativamente de las tolerancias de la fibra.

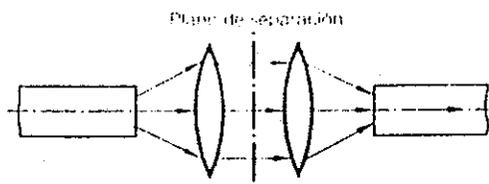
Las uniones por conectores en líneas de transmisión óptica se emplean para separar fácilmente dos conductores de fibra óptica y acoplarlos, cuando fuese necesario, con muy poca atenuación. En función del diámetro del núcleo del conductor de fibra óptica empleado y la atenuación de inserción requerida para la unión, los conectores deben ajustarse a diversos requerimientos en cuanto a sus tolerancias mecánicas.

En lo referente a su funcionamiento pueden dividirse en dos grupos; el primero se basa en el principio del acoplamiento con lentes, y el segundo, en el principio de acoplamiento frontal.

2.5.1.1 Acoplamiento con lentes

Para el acoplamiento con lentes se emplean lentes u otros sistemas ópticos formadores de imágenes, los cuales transforman la luz que sale del conductor de fibra óptica emisor en un rayo de luz casi paralelo de gran diámetro y lo vuelven a concentrar posteriormente sobre la cara frontal receptora del conductor de fibra óptica (figura 19). La ventaja de esta clase de acoplamiento consiste en que en la zona de unión se admiten, en parte mayores tolerancias respecto de las distancias.

Es necesario aceptar pérdidas adicionales de los sistemas formadores de imágenes debido a reflexiones en las diversas capas límite de diferentes índices de refracción y reducida tolerancia del ángulo ente el eje longitudinal de ambas fibras.



Malke, Günter y Góssig, Peter. Conductores de fibra óptica, página 171

Figura 19

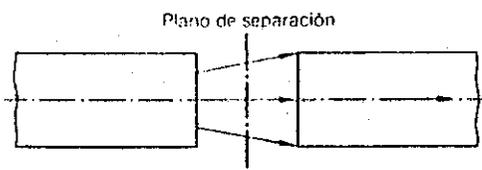
Acoplamiento por lentes

Por eso, con excepción de algunos usos específicos como por ejemplo el acoplamiento de diodos semiconductores a conductores de fibra óptica, en la práctica se usan uniones por conectores de acuerdo al principio del acoplamiento frontal.

2.5.1.2 Acoplamiento frontal

Lo característico para el acoplamiento frontal (figura 20) es que las caras de emisión y recepción de luz se enfrentan una respecto de la otra a corta distancia y de forma paralela, independientemente de si se trata del conductor de fibra óptica o diodo. Únicamente este principio permite lograr conectores de muy baja atenuación para la gama de 850 nm, 1300 nm y 1500 nm.

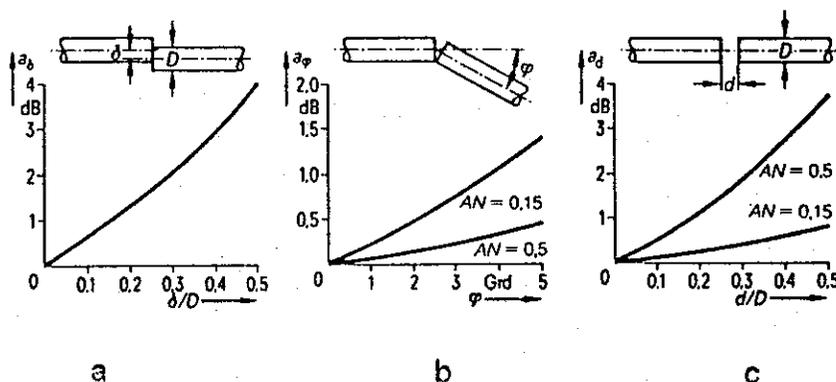
Para evaluar la calidad de transmisión de un conector, se considera su atenuación de inserción, es decir se determina en cuánto aumenta la atenuación de una línea de transmisión óptica si se intercala en ella un conector (adicional).



Malke, Günter y Góssig, Peter. Conductores de fibra óptica. página 171

Figura 20
Acoplamiento frontal

La atenuación de inserción resulta de las tolerancias de los elementos del conector y del conductor de fibra óptica. De manera general, el corrimiento del conductor de la fibra óptica (parte a de la figura 21), el ángulo entre los ejes de ambas fibras (parte b de la figura 21) y la distancia entre ambas caras frontales de los conductores de fibra óptica (parte c de la figura 21) deben quedar reducidos a valores mínimos, es necesario limpiar perfectamente las caras frontales sin rayarlas, y luego secarlas.



Malke, Günter y Góssig, Peter. Conductores de fibra óptica, página 172

Figura 21
Atenuación de Inserción

Debe tenerse en cuenta, de manera general, que por efecto de reflexiones en las superficies límite entre vidrio y aire se producen no sólo pérdidas (perdidas tipo fresnel) sino también variaciones en la atenuación debido a interferencias. Por medio de un tratamiento antireflexión óptico y/o de líquido que consiste en sumergir los extremos, es posible reducirlas.

Las tolerancias de las aperturas numéricas A_n así como el diámetro de núcleos son parámetros específicos que incluyen en el conductor de fibra óptica- en este caso del multimodo- siempre cuando el valor de A_n ó el diámetro del núcleo del conductor de fibra óptica transmisor son más grandes que el valor de A_n y el diámetro del núcleo del conductor de fibra óptica receptor. El pasar de un núcleo fino a otro más grueso no constituye un aspecto crítico en conductores de fibra óptica multimodo.

2.5.2 Empalmes ópticos

Para planificar el sistema es necesario tener en cuenta, además del coeficiente de atenuación de los conductores de fibra óptica, los valores de atenuación de los conectores y de los empalmes. Precisamente, al tener en cuenta el frecuente requerimiento de tender cables de fibras ópticas con tramos cada vez más largos sin el uso de regeneradores, además de cables de longitudes cada vez mayores y valores de atenuación de los conductores de fibra óptica cada vez más reducidos, también resulta necesario optimizar los empalmes y conectores en lo relativo a las atenuaciones de inserción de las respectivas uniones. Al hablar de conectores se dice que son conexiones separables, y de empalmes, que son permanentes.

Para unir cables con un número relativamente bajo de conductores de fibra óptica se aplica, para empalmes individuales, la técnica del pegado y la soldadura. Para cables con gran número de conductores de fibra óptica se puede utilizar equipos empalmadores múltiples.

Estos son de particular importancia cuando se pretende efectuar los empalmes con la máxima rapidez posible.

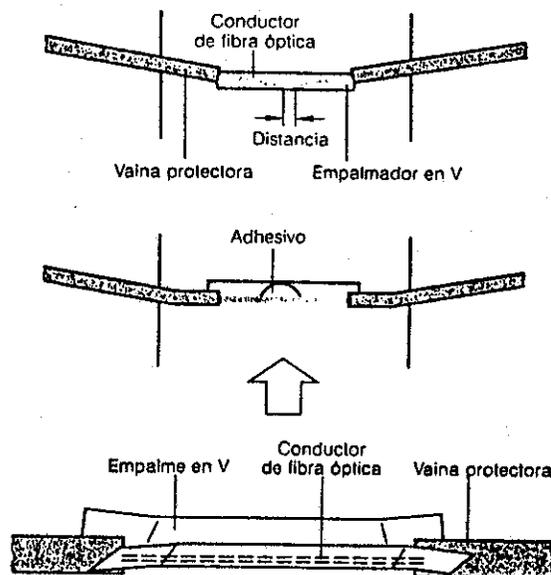
2.5.2.1 Empalme mecánico simple

El método de empalme simple ilustrado en la figura 22 se emplea para empalmar conductores de fibra óptica con perfil gradual en la técnica de conductores huecos.

El principio del empalme se basa sobre el autocentrado de los conductores de fibra óptica a ser unidos en una chapa con forma de V.

Dos brazos giratorios fijan las cubiertas(vainas) protectoras así como los conductores de fibra óptica y los llevan, tras ser cortados al largo exacto, a la posición de empalme sobre la chapa en forma de V del empalmador, produciendo tras un trenzado preliminar su unión. La fijación permanente de los conductores de fibra óptica se logra con ayuda de un adhesivo de inmersión de rápido endurecimiento y otra chapa en forma de V la que por acción de la fuerza proveniente de unos resortes ejerce presión sobre los lugares de empalme. La resistencia a la tracción de la unión se obtiene fijando el empalmador en forma de V por aplastamiento a las dos vainas de los conductores.

El empalme mecánico simple es de fácil manejo. Dado que no se requiere una llama abierta para empalmar, el equipo sirve también para efectuar trabajos de empalme en un ambiente expuesto a peligro de explosiones.



Malke, Günter y Góssig, Peter. Conductores de fibra óptica, página 162

Figura 22

Empalme mecánico simple

La atenuación media de empalmes es de aprox. 0.2 db, que depende así mismo de las tolerancias del conductor de fibra óptica.

2.5.2.2 Empalme térmico simple

Para soldar conductores con una fibra óptica de vidrio de cuarzo con perfil gradual o de vidrio de varios componentes, existe un equipo empalmador térmico.

Para encender el arco se emplea una tensión alterna de alta frecuencia. Entre los electrodos se genera la descarga necesaria para efectuar el empalme. La tensión de superficie del vidrio fundido efectúa el autocentrado de los conductores de fibra óptica a ser unidos, compensándose automáticamente un desplazamiento de hasta 10 μm sin una atenuación adicional significativa.

Un mecanismo de corte incorporado en el equipo garantiza cortes de fracturas netas con caras lisas como un espejo y con errores de ángulo menores que tres grados.

Gracias a la elevada precisión de las guías y de las buenas características de autocentrado del arco, el ajuste del conductor de fibra óptica en sentido longitudinal es lo único que se debe de hacer. El proceso de ajuste se puede observar con el auxilio de un microscopio de proyección.

Ambos conductores de fibra óptica se ajustan haciendo coincidir dos marcas de ajuste en el microscopio de proyección y luego se puede activar el proceso de soldadura accionando el correspondiente pulsador, tras lo cual los procesos de soldadura preliminar, unión de los conductores de fibra óptica y soldadura definitiva se desarrollan en forma automática. Luego de terminar el proceso de empalme, los conductores de fibra óptica se colocan en un módulo de empalme que, además los protege.

El equipo lleva incorporado un portamódulos o soporte, para sujetar diferentes módulos de empalme. Estos pueden ser metálicos o cassettes de material plástico. Una batería de plomo fácilmente intercambiable suministra la energía eléctrica necesaria. Con su carga completa, la batería permite realizar más de 150 empalmes.

La atenuación media del empalme se encuentra en la gama de 0.1 hasta 0.2 dB(y depende además de las tolerancias de los conductores de fibra óptica).

3. FIBRA ÓPTICA EN LA RED DE ABONADO

3.1 Aplicaciones de la fibra óptica

Cuando al inicio de los años setenta se pudieron fabricar fibras ópticas con coeficientes de atenuación pequeños por debajo de los 20 dB/km fue cuando se encontró el medio de transmisión que correspondía también a las exigencias de los actuales técnicos de telecomunicación. El desarrollo en el campo de la fibra óptica avanzó rápidamente, hoy se consiguen atenuaciones de hasta 0.1 dB/km

La transmisión a través de rutas con fibras ópticas tiene una serie de ventajas significativas en comparación con la transmisión a través de líneas de cobre. El tamaño y el peso de las fibras ópticas son menores que el de los cables coaxiales. Se pueden mencionar como diámetros típicos 0.1 mm para las fibras ópticas y 10 mm para los cables coaxiales. Las ventajas del pequeño volumen y peso se evidencian especialmente cuando se agrupan varias fibras ópticas en un cable.

Las fibras ópticas son guías dieléctricas por lo tanto son insensibles contra los efectos de interferencias electromagnéticas en el margen de las frecuencias de radio y por debajo de ellas, por lo que es factible una transmisión de información sin problemas en áreas con niveles elevados de interferencias, como es el caso de las centrales eléctricas. Además como en una señal óptica no se presenta ninguna referencia a un potencial, los equipos electrónicos que

están enlazados ópticamente por la fibra óptica no tienen ningún acoplamiento eléctrico, por lo que se pueden transmitir datos sin tener en consideración pérdidas de los potenciales por ejemplo los debidos a intensos potenciales eléctricos o bucles a tierra.

Las fibras ópticas con sus mínimas pérdidas pueden transmitir velocidades binarias que con mucho superan a todo lo que es posible con cables de cobre o cables coaxiales en orden de magnitud de costos comparables.

Todo esto hace muy atractiva la transmisión óptica para las redes de telecomunicación. En el área militar son ante todo el mínimo peso y la insensibilidad contra las perturbaciones electromagnéticas los motivos principales para la aplicación de trayectos de transmisión óptica en aviones, helicópteros, cohetes y barcos. La insensibilidad contra interferencias es especialmente importante en los equipamientos industriales cuando por ejemplo se deben de transmitir señales de sensores de medida hacia las computadoras encargadas de algún proceso. Las ventajas y posibilidades de aplicación de la fibra óptica en telecomunicaciones son tan variadas que no hay ninguna duda de su utilización en permanente crecimiento.

Es así como hoy en día la fibra óptica ocupa un lugar muy importante en las comunicaciones del mundo.

3.1.1 Ventajas de la fibra óptica

Con la fibra óptica disponemos hoy de un medio de transmisión óptico que supera a los conductores metálicos en importantes aspectos:

3.1.1.1. Atenuación de línea muy pequeña

Mientras una señal de alta frecuencia en un cable coaxial ya después de pocos cientos de metros ha perdido la mitad de su potencia, en las fibras ópticas con muy baja atenuación y gran ancho de banda en longitudes de onda de 1300 nm. y utilizando diodos láser de potencia con alto rendimiento le es posible obtener distancias entre regeneradores de hasta 36 km para una transmisión de 565 Mbit/s. en un solo conductor de fibra óptica monomodo, esto significa que en los sistemas de larga distancia, los amplificadores para regeneración de la señal solo son necesarios a distancias mucho mayores o bien pueden prescindirse totalmente de ellos.

3.1.1.2 Mayor capacidad de transmisión

Teóricamente son posibles tasas de transmisión en el orden de magnitudes superiores a 10Gbit/s. Esta capacidad puede ser aumentada aún utilizando varias ondas portadoras con diferentes longitudes de onda luminica.

3.1.1.3 Considerable reducción de volumen y peso

Un diámetro de fibras muy pequeño (con capa sintética protectora de 0.25 hasta 0.5mm de espesor contra aproximadamente 10 mm en pares coaxiales de cobre) y un peso de cable reducido, con una flexibilidad mecánica considerablemente mayor, brindan una serie de ventajas para transporte, tendido y espacio necesario en tramos de líneas de cables.

3.1.1.4 Ninguna conductividad eléctrica

Por ser ondas puramente luminosas no son necesarias disposiciones de puesta a tierra y protección contra rayos. Una fibra óptica puede, por ejemplo en instalaciones de alta tensión, salvar grandes diferencias de potencial como líneas de control.

3.1.1.5 Ninguna interferencia electromagnética

Durante la transmisión sobre fibra óptica no son generados campos electromagnéticos perturbadores; inversamente, la transmisión tampoco puede ser interferida externamente por estos campos. Esto significa, que una transmisión así, solo muy difícilmente podrá ser escuchada por personas no autorizadas, por lo que ofrece confidencialidad en las transmisiones, especialmente en las transmisiones de voz.

3.1.2 Aplicación de la fibra óptica en telecomunicaciones

3.1.2.1 Sistema de transmisión para la red telefónica

Desde el punto de vista económico, los sistemas con fibra óptica actualmente recién son rentables respecto a los sistemas con líneas de cobre. Las separaciones entre amplificadores practicada actualmente para sistemas operativos , (aproximadamente 10 hasta 30 km y más, según la longitud de onda lumínica y capacidad de transmisión , en contraposición hasta 10km en sistemas para cables cobre, por ejemplo PCM 30) posibilitan ya en muchos casos salvar las distancias entre las centrales sin amplificadores intermedios y con ello también sin telealimentación.

Hoy en día se utiliza más las fibras monomodo para las comunicaciones interurbanas, estas fibras se caracterizan por un ancho de transmisión particularmente amplio con una atenuación muy baja, tal como se describe en el capítulo 2.

3.1.2.2 Aplicación en redes LAN

Otra de las aplicaciones de la fibra óptica es en las redes locales (LAN Local Area Network) y ha sido introducida con el fin de establecer la delimitación, por una parte con respecto al acoplamiento de computadoras con muy altas

velocidades de transmisión y longitudes extremadamente cortas. Las distancias entre las diversas estaciones de un red LAN varían, habitualmente, entre 100 m y algunos kilómetros; las velocidades de transmisión oscilan entre 100 Kbit/s y en algunos caso 100 Mbit/s

Aún no se ha encontrado una definición para la red local pero se puede decir que una red local es una red para la transmisión de información con secuencia en serie de bits entre equipos independientes, entre si e interconectados, es de competencia total del usuario y esta limitada a su predio ó local de ubicación de los equipos.

Los usos de las redes LAN se dan ante todo en el ámbito de la ofimática (correo electrónico etc.) del enlace de computadoras personales así como en el ámbito industrial (control de procesos, etc.). Para las redes LAN se requieren por lo general redes de cable coaxial o conductores de fibra óptica separadas de la red telefónica. La transmisión se efectúa con velocidades que varían entre 0.1 Mbit/s y aproximadamente 100 Mbit/s. Hoy en día se pueden hacer conexiones entre las redes locales LAN y las redes ISDN, con lo cual se posibilita el acceso del usuario a la redes públicas.

3.1.2.3 Aplicación en redes ISDN

Desde los inicios han surgido redes de servicio separadas para las formas de comunicación vocal, de textos y datos, y que han sido optimizadas de acuerdo a las posibilidades tecnológicas. Todo esto ha dado lugar a establecer a nivel

internacional, una red unitaria así como métodos y equipos que permiten transmitir no sólo los servicios existentes en la actualidad sino, además nuevas clases de comunicación reunidas en una red única.

La digitalización de la conmutación telefónica y de la red interurbana es un primer paso para crear dicha red única. Puesto que establece la base para ampliar la red hasta llegar a la red digital de servicios integrados (ISDN Integrated Services Digital Network)

Con esta red se logra la posibilidad de lograr tiempos más cortos para establecer la comunicación, mejorar la calidad y aumentar la confiabilidad para transmitir voz, textos, datos, imágenes fijas y móviles, etc.

En la técnica analógica se cuenta, como se sabe, para transmitir en baja frecuencia con un ancho de banda de 0.3 hasta 3.4 KHz, lo que en la técnica digital corresponde a una velocidad de transmisión de 64 Kbit/s por canal.

En el sistema ISDN se puede transmitir a una velocidad de 144 Kbit/s subdividida en 2x 64 Kbit/s para transmitir voz, textos y/o datos así como 1x 16 Kbit/s para tres posibles usos (emisión de señales, transmisión de datos, y servicios de telemetría), la transmisión se efectúa actualmente en los cables simétricos de cobre, facilitándose considerablemente el acceso a redes públicas.

La diferencia fundamental entre las redes telefónicas tradicionales y la ISDN, radica en que el abonado tiene a su disposición en lugar de una única conexión, dos conexiones digitales y además un canal de 16Kbits/s separado de los anteriores, para señalización.

3.1.2.4 Redes para nuevos servicios de banda ancha

Además de su aplicación en redes de tráfico de larga distancia, la fibra óptica aparece interesante, ante todo en redes para nuevos servicios de banda ancha (transmisión de señales de TV y Radio, videotexto, videotelefonía).

Respecto a la técnica debe observarse que en comparación con las redes de cablevisión con cables coaxiales, que pueden transmitir 12 hasta 30 programas de televisión con un ancho de banda total hasta aproximadamente 300 Mhz y con separaciones de amplificador de aproximadamente 300 metros. La técnica de transmisión de fibra óptica requiere soluciones diferentes y por conveniencia otra estructura de red.

Dado que la fibra óptica tiene una atenuación mucho menor que la línea coaxial y los cables de cobre, es conveniente construir la red de abonados en estructuras estrella y sin amplificadores desde la central hasta el abonado. La estructura estrella es de todos modos una condición para la conformación de una red de comunicación de banda ancha conmutada.

En este caso, la selección de las señales a transmitir desde y hacia la red interurbana podría realizarse a través de campos de acoplamiento controlados por el abonado, es decir que este mismo pueda conectar a su línea los servicios o programas deseados a través de un canal de retorno, dando así lugar a la red interactiva en la cual los usuarios podrán hacer compras desde su hogar, acceder a los bancos del sistema desde su casa. Tener acceso a Internet, conversaciones por videotelefono, y una infinidad de servicios adicionales.

Claro está que la conexión de cada abonado sólo será rentable, cuando la red rinda aún más que solamente la distribución de programas radiofónicos y televisivos, es decir solo para el caso de una comunicación en banda ancha real.

3.1.2.5 Aplicación en redes ISDN de banda ancha

Con la implementación de la red ISDN de banda ancha se podrán agregar un gran número de servicios de banda ancha, como lo son: Videotelefonía Videoconferencia en empresas, video texto en banda ancha, transmisión de datos a alta velocidad, distribución de programas televisivos (TV para abonados, televisión de alta definición), distribución de programas de audio estereofónicos, así como texto por cable en banda ancha. La integración de estos servicios de banda ancha requiere de velocidades de transmisión de por lo menos 140 Mbit/s en las líneas de abonados así como la incorporación de conductores de fibra óptica en la red de abonado.

En el área de abonado de las redes de comunicaciones públicas es, como se ha dicho, de gran importancia, puesto que acá la fibra óptica es superior al conductor de cobre, una sola fibra puede proporcionar al abonado todos los servicios de comunicaciones. Además del servicio telefónico usual hasta ahora, la fibra óptica llevara al hogar a todos los abonados la posibilidad de conexión para una comunicación de imagen móvil individual (videoteléfonos). También se dispondrá de suficiente capacidad de transmisión para permitir al abonado la selección simultánea de algunos programas radiales y televisivos de una cantidad de programas accesibles en la central, en principio no delimitada.

En los siguientes incisos de este capítulo se describe una aplicación de la fibra óptica en la red de abonado, utilizando una red óptica pasiva así como los sistemas utilizados para la transmisión en el área de abonado, y todos los equipos necesarios para poder prestar los servicios de banda ancha hasta el abonado.

3.2 La fibra óptica en la red de abonado

Con el sistema de fibra en la red de abonado, se puede por primera vez instalar una red utilizando fibra óptica en el circuito de abonado, de ese modo se crea la infraestructura para futuros servicios de telecomunicaciones y posibilita a operadores y proveedores de servicios de red para responder rápida y flexiblemente a las necesidades del abonado.

La fibra en la red de abonado, es un sistema digital de transmisión que utiliza las características principales de la fibra óptica, una de ellas es el gran ancho de banda, para prestar varios servicios al abonado. Con este sistema se pueden prestar varios servicios a la red de abonado, como lo son los servicios de telefonía, transmisión de datos y se puede utilizar para prestar servicios ISDN (Red Digital de Servicios Integrados) en banda ancha, videotelefonía, al mismo tiempo aprovechando el gran ancho de banda que poseen las fibras ópticas se le puede suministrar a la red de abonado los servicios de transmisión de señales de TV y audio, etc.

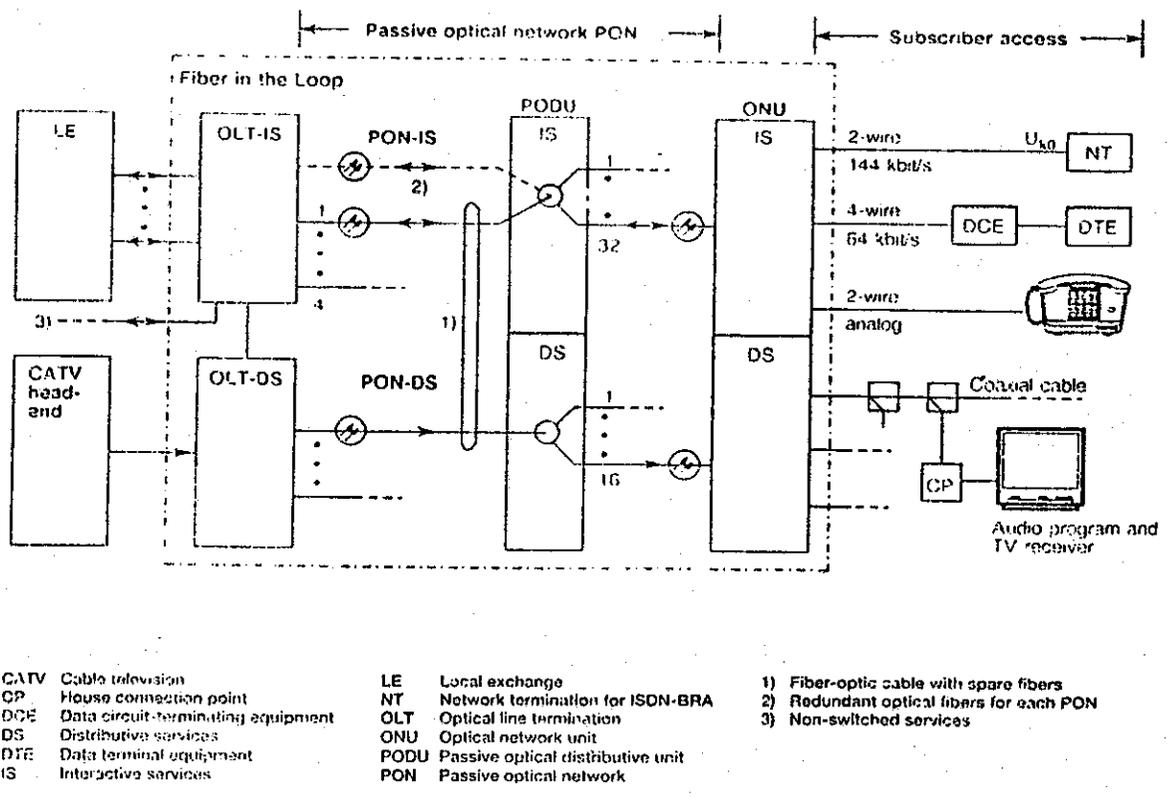
Para poder instalar el sistema se necesita de una central digital para prestar los servicios de telefonía, (figura 23) así como de una estación de recepción de programas de TV y radio, para prestar los servicios de distribución.

Para conectar al abonado con las centrales digitales se utiliza una red óptica pasiva, PON(Passive Optical Network) que es una red que no contiene fuentes de generación de señales ópticas, solamente existen puntos de distribución que se hacen a través de acoples ópticos y esto se hace en la unidad de distribución óptica pasiva, PODU(Passive Optical Distribution Unit), (figura 23).

En los extremos de la red óptica pasiva PON se lleva a cabo las conversiones optoelectricas; en el lado de la central digital a través de los terminales ópticos OLT(Optical Line Termination) que convierten las señales eléctricas en señales ópticas para ser enviadas a través de cables de fibra óptica hasta el área del abonado y en el lado del abonado utilizando las unidades de distribución ópticas

ONU (Optical Network Unit) que vuelven a convertir las señales ópticas en eléctricas y así distribuirlas hacia los equipos locales de los abonados (teléfonos, equipos terminales de datos, programas de TV y de audio) por medio de cables de cobre para servicios de telefonía y equipos terminales de datos o por medio de cables coaxiales para los servicios de distribución como programas de TV y audio.

Es de hacer notar que las señales que son transmitidas a través de la red de fibra óptica pasiva tienen una configuración en estrella para llegar hasta los abonados, similar a la utilizada en la red de telefonía de cobre convencional.



Siemens, Fiber in the loop, página 2

Figura 23

Diagrama funcional de una red óptica pasiva

3.2.1 Ventajas del sistema de fibra óptica en la red de abonado

El sistema fibra en la red de abonado, ofrece muchas ventajas sobre las redes de cobre convencionales, como lo son:

- Rango flexible de servicios tales como conexiones de conmutación, servicios de línea hasta 2 Mbit/s, servicios de distribución en banda ancha para programas de radio y TV.
- Simplificación y menor costo de operación y mantenimiento, debido a que los circuitos de abonado están configurados de tal forma que se pueden operar y administrar desde los centros o las terminales de operación y mantenimiento.
- Creación de una red flexible con la opción de expansión para servicios futuros en banda ancha, sin gastos de infraestructura adicionales, ya que estos equipos son del tipo modular.
- Alto grado de confiabilidad operacional y la disponibilidad de red es proporcionado con la protección del equipo de conmutación en las terminales de línea óptica y además un cableado doble (ó redundante) en la red de transmisión.

- El sistema fibra en la red de abonado, también provee los medios para transmitir nuevos servicios tales como los servicios ISDN de banda ancha (Red Digital de Servicios Integrados) y servicios de programas de TV en banda ancha, suministrado desde una red local de programas de TV.

3.2.2 Las características principales

La Red óptica pasiva PON común utiliza un cable con dos hilos de fibra óptica del tipo monomodo para los servicios de telefonía y para los servicios en banda ancha. Esto se hace para asegurar, en primer lugar un alto grado de eficiencia en cuanto a la utilización de forma óptima de la fibra óptica y en segundo lugar un bajo costo en función de la instalación, mantenimiento y expansión de red de transmisión en el futuro.

Los elementos funcionales para los servicios de telefonía y los servicios en banda ancha están localizados en unos compartimentos comunes, (es decir se encuentran físicamente en el mismo bastidor) en las unidades de distribución óptica pasiva PODU así como en las unidades de red óptica, ONU aprovechando mejor el espacio, (figura 23).

Estos equipos terminales ópticos de abonado tienen la facilidad de acomodarse a las necesidades del abonado, puesto que existen módulos específicos para dichas necesidades, se pueden colocar dentro de los edificios, ocupando muy poco espacio o se pueden colocar a la intemperie tipo caja de

distribución, permitiendo, de esa manera, satisfacer las necesidades del abonado.

Con la utilización de la fibra en la red de abonado, es posible a transmisión transparente de programas de audio y señales de TV para redes de comunicación de banda ancha en el rango de frecuencia de 606 Mhz en un futuro hasta 860 Mhz.

3.2.3 La estructura de la red

El sistema de transmisión de fibra en la red de abonado, (figura 23) está básicamente dividido en dos subredes, una para los servicios de telefonía y otra para los servicios en banda ancha. El medio de transmisión para ambas subredes es con fibras ópticas separadas del tipo monomodo en un cable común.

El equipo de transmisión para los servicios de telefonía y los servicios en banda ancha son conectados a la central local a través de los terminales de línea óptica, OLT(Optical Line Terminal) para prestar los servicios en banda ancha al abonado, las estaciones de radio y TV son conectadas a las centrales digitales a través de los terminales de línea óptica diseñados específicamente para recibir las señales de las estaciones de radio o TV.

La red óptica pasiva PON esta compuesta, como su nombre lo indica por elementos pasivos (no generan señal alguna), la cual incluye a la unidad de distribución óptica pasiva PODU y los cables de fibra óptica (figura 23), la red óptica pasiva sirve de enlace entre los terminales ópticos y la unidad de red óptica ONU y constituye un medio completamente óptico, en el cual únicamente se hace la distribución de las señales a las distintas unidades de red óptica.

La unidad de red óptica ONU (figura 23) es el último módulo en el cual existe transmisión de señales de tipo óptico en el área de acceso del abonado, ya que es en esta parte de la red en donde se lleva a cabo la conversión optoelectrónica, luego las señales eléctricas son enviadas directamente al equipo de abonado a través de cables coaxiales o cables de cobre.

Los equipos de transmisión de las unidades de distribución óptica pasiva PODU y unidades de red óptica ONU están localizados en unos compartimentos comunes para cada uno de los dos tipos de servicio, tanto para servicios de telefonía como para servicios en banda ancha de programas de TV y radio.

3.2.4 Transmisión de señales en la red de abonado

Para hacer la transmisión de señales más eficiente y segura, se utiliza transmisión de señales bidireccional usando para tal efecto una única fibra óptica.

En la dirección de la central hacia el abonado las señales son transmitidas utilizando el método de multiplexación por división de tiempo TDM a una velocidad de 64 Kbit/s 512 espacios de tiempo, para cada red óptica pasiva en la longitud de onda de 1550 nm. Es de hacer notar que cada unidad de red óptica ONU extrae de la señal entrante la información necesaria del TDM.

En dirección contraria hacia la central, es decir de la unidad de red óptica hacia los terminales de línea óptica la transmisión de señales se hace utilizando el método de acceso multiplexado por división de tiempo TDMA, este método se utiliza con la finalidad de evitar solapamientos de las señales, que puede ocurrir debido a las diferentes distancias entre los terminales de línea óptica OLT y las unidades de red óptica ONU. El método de transmisión TDMA asegura que las unidades de red óptica envíen su información en paquetes de tiempos definidos y así evitar los solapamientos y consecuentemente la pérdida de información. La transmisión de señales de las unidades de red óptica hacia los terminales de línea óptica se hace en la longitud de onda de 1310 nm.

Para la transmisión de señales en banda ancha, se utilizan señales de tipo amplitud modulada vestigial de banda única de las estaciones de TV y de frecuencia modulada o señales digitales de las estaciones de radio.

Estas señales en conjunto son multiplexadas utilizando el método multiplexación por división de frecuencia FDM, luego en los equipos de los terminales de línea ópticos las señales eléctricas son convertidas a señales ópticas utilizando para esto diodos láser y luego son transmitidos los paquetes de información en forma clara a través de fibras del tipo monomodo en el rango de los 1300 nm, luego estas señales ópticas son convertidas nuevamente en señales eléctricas por medio de diodos de avalancha en las unidades de red óptica y luego son enviadas al abonado.

3.2.5 La capacidad y rango del sistema

El diseño modular de los equipos de transmisión permite que el sistema de fibra en la red de abonado pueda ser optimizado flexiblemente para acomodarse al tamaño de la red particular que se requiera, la máxima cantidad de abonados que se pueden conectar para servicios de telefonía es de 1024 por sistema, para los servicios de banda ancha la cantidad de puntos de transferencia es ilimitada. Las distancias máximas entre los terminales de línea ópticos y las unidades de red óptica, para los servicios de telefonía es de 10 Kilómetros y la distancia máxima para los servicios en banda ancha, siempre entre los terminales de línea óptico y las unidades de red óptica es de 20 kilómetros.

Estas distancias máximas permiten que las transmisiones de señales sean en forma clara, sin solapamientos y sin pérdidas.

3.3 Terminales de línea óptica

3.3.1 Terminación de línea óptica para servicios interactivos

Los terminales de línea óptico OLT para los servicios de telefonía, sirven de conexión entre la red óptica pasiva PON y los sistemas de conmutación digital (figura 23) y controlan todas las secuencias en la subred para los servicios de telefonía, además condicionan las señales de 2 Mbit/s que llega de la central y utilizan una matriz conmutada para la transmisión de señales a cuatro sistemas de red óptica pasiva simultáneamente.

Los terminales de línea ópticos pueden ser instalados en las centrales digitales, así como en unidades remotas, logrando con esto mayores distancias entre las centrales digitales y los terminales de línea óptica.

Con los equipos terminales ópticos se pueden lograr hasta 1024 líneas de abonado de 64 Kbit/s. Además de su capacidad de concentración de tráfico para líneas conmutadas de teléfono, los terminales ópticos ofrecen otras funciones como por ejemplo funciones del tipo "Cross Connect".

Estos terminales ópticos utilizan en la red óptica pasiva el sistema de transporte de bit, que son los distintos métodos de transmisión multiplexada, para este sistema digital se utiliza multiplexación por división de tiempo y acceso múltiple por división de tiempo, tal como se explicó en la sección 3.2.4, transmisión de señales. Adicionalmente, a los servicios de telefonía que prestan los terminales ópticos, estos contienen unos interfaces para proporcionar servicios de operación, mantenimiento y que pueden ser prestados desde un centro de operación y manteniendo, en un lugar distinto al de la central en donde están ubicados estos equipos.

Todas las unidades de los terminales ópticos traen provisto el Hardware con una redundancia 1 + 1, para aumentar la confiabilidad del sistema. Adicionalmente, los sistemas de transporte bit y los componentes optoelectrónicos también pueden instalarse con redundancia.

En lo que respecta al medio de transmisión, la fibra óptica se provee de una fibra adicional para las señales de acarreo entre los terminales de línea ópticos y las unidades de distribución ópticas pasivas. Estas fibras se pueden colocar separadamente en dos rutas distintas, de modo que si un cable se rompe durante alguna excavación, se mantiene siempre el enlace ininterrumpido.

3.3.2 El software para servicios interactivos

El software para los equipos terminales ópticos esta basado en una unidad de procesamiento principal y unidades de procesamiento esclavos (enclavadas).

La unidad de procesamiento principal desempeña la función maestra para los sistemas de fibra en la red de abonado completos y es el responsable del control y monitoreo de las unidades de procesamiento esclavos y las unidades de red óptica y también ejecuta las funciones de comunicación entre las centrales y el operador.

El software para los terminales de linea ópticos están implementados directamente en la unidad de procesamiento principal y abarca esencialmente los siguientes módulos:

- Sistema de operación y software básico.
- Base de datos.
- Procesamiento de llamadas.
- Administración de la configuración.
- Administración y eliminación de falla por medio de switching de protección.
- Intérprete de MML (lenguaje hombre-máquina).
- Administración y mantenimiento.

3.3.3 El sistema de operación para los servicios interactivos

El sistema de operación para los servicios de telefonía incluye las siguientes terminales de operación y mantenimiento, para operador local y central:

- Una terminal de operaciones y mantenimiento para la central
- Una terminal básica de operaciones y de mantenimiento
- Una terminal extendida de operaciones y de mantenimiento
- Una terminal de centro de operaciones y mantenimiento

A continuación se da una descripción breve de cada terminal del sistema de operación:

Los terminales de operación y mantenimiento están localizados en una central digital, cuando se conecta el sistema de fibra en la red de abonado, es utilizado entre otras cosas para adaptar, probar y mantener los circuitos del abonado.

Los terminales de operación y mantenimiento básico están conectados localmente a través de un interface a los terminales de línea ópticos que prestan los servicios de telefonía, además se pueden instalar en forma remota a través de módem.

El software para estos terminales de mantenimiento contienen el conjunto de caracteres ASCII estándar y permite al operador hacer entradas y salidas básicas en Lenguaje de Máquina de Hombre (BMML).

Los terminales de operación y mantenimiento de tipo extendido están acomodados normalmente en la central. Puede estar conectados a través de una interface de hasta 32 terminales de línea ópticos, que están conectados por turno a una central común local. Los terminales de operación y mantenimiento de tipo extendido ejecutan un sistema de multiárea y puede ejecutar hasta 8 procedimientos por una o más redes ópticas pasivas en cualquier momento.

El terminal central para la operación y mantenimiento está conectado a los terminales extendidos de mantenimiento a través de un interface y provee el control central para los sistemas de fibra en la red de abonado.

3.3.4 Terminación de línea óptica para servicios distributivos

En los terminales de línea ópticos para los servicios de distribución en banda ancha, las señales entrantes de audio y de TV que son recibidas de las estaciones de TV y radio son amplificadas y luego enviadas a un transmisor óptico para su conversión electroóptica.

El transmisor óptico para los servicios en banda ancha consiste de un láser ND-YLF de estado sólido a 1313 nm que luego es conectado a un modulador externo para la modulación de intensidad analógica.

3.3.5 El software para servicios distributivos

El software para el equipo de servicios de distribución en banda ancha está contenido en los módulos de los terminales ópticos previstos para dichos servicios. El módulo de monitoreo en los terminales de línea ópticos permite datos para ser intercambiados con los terminales de operación y mantenimiento a través de una interface y transferido a un sistema de supervisión por medio de una interface.

Para desempeñar estas tareas, el Software de módulo de monitoreo contiene los siguientes bloques funcionales:

- Monitor de informe.
- Intérprete de lenguaje-hombre-máquina

La configuración especial del software es utilizada en los terminales de operación y mantenimiento de los servicios de distribución para cuando se coloca en servicio por primera los equipos.

La operación interactiva ofrece ayuda durante el trabajo de mantenimiento en los terminales ópticos así como para las unidades de red óptica exhibiendo mensajes, indicando el conjunto de direcciones.

3.3.6 El sistema de operación para servicios distributivos

El sistema de operación para servicios de distribución en banda ancha incluyen operaciones de mantenimiento para los servicios de distribución a través de estaciones de trabajo en computadoras

Los terminales de operación y mantenimiento están conectados localmente a los terminales de línea ópticos a través de una interface y es utilizado para las configuraciones de los terminales de línea ópticos.

El sistema de supervisión está conectado a través de un interface hacia los terminales de línea ópticos y es utilizados solamente para propósitos de monitoreo únicamente.

Las señales de alarma de los servicios de distribución en banda ancha y conexiones de comunicación son transferidas las unidades de red óptica para servicios en banda ancha a través de una interface interno a la parte que presta los servicios de telefonía y luego son transmitidas las señales con la ayuda del sistema de transporte de bit y enviado a los terminales de línea ópticos que

prestan los servicios de telefonía para luego ser enviadas estas señales a los terminales de línea ópticos que prestan los servicios de distribución en banda ancha a través de dos canales de 2 Mbit /s. Allí esta información es procesada junto con las señales de monitoreo entrantes en los terminales de línea, ópticos.

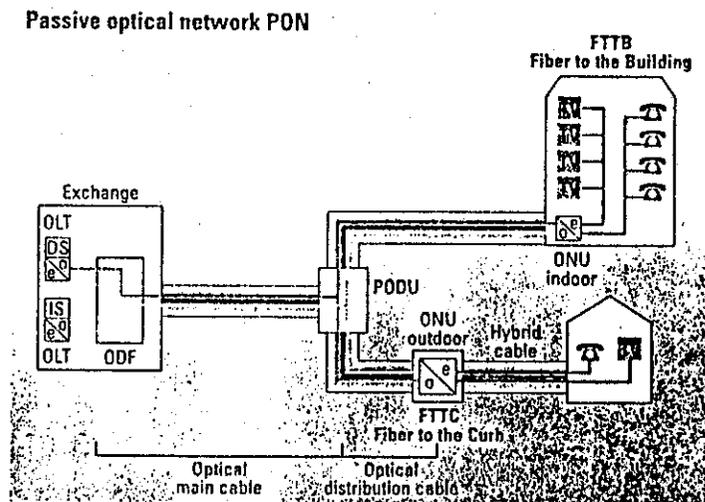
3.4 Unidad distributiva óptica pasiva

Los conectores de guíaonda ópticos para los servicios de telefonía y los servicios en banda ancha están localizados en la unidad de distribución óptica pasiva. Todos los conectores están diseñados para banda ancha entre los 1300 nm y 1500 nm permitiendo subsecuentes modificaciones técnicas o expansión del equipo de transmisión. En la unidad distributiva óptica pasiva, las fibras ópticas entrantes están conectadas a las fibras ópticas de salida por medio de enganches ópticos.

Las unidades de distribución ópticas pasivas contienen empalmes y organizadores de enganche, cada uno consiste de cassettes individuales. Esto permite empalmes flexibles y asegura el arreglo ordenadamente de los empalmes de fibra óptica.

3.5 La unidad de red óptica

Cada unidad de red óptica ONU, esta compuesta de módulos que prestan los servicios para telefonía y servicios de distribución en banda ancha en el cual los equipos de hardware se encuentran en el mismo bastidor. Estas unidades de red óptica ONU se pueden instalar en los edificios se le llama fibra en los edificios FTTB (Fiber to the building) y también como cajas de distribución y se le llama fibra en la acera FTTC (Fiber to the curb), (figura 24).



Siemens. Fiber in the loop, página 5

Figura 24

Aplicación de la unidad de red óptica ONU en una red pasiva

Para prestar los servicios de telefonía, las unidades de red óptica ejecuta parte de las funciones de los sistemas de transmisión de bit en el lado de la red óptica pasiva y al mismo tiempo ejecuta diversas interfaces de línea en lado del abonado.

Las unidades de red óptica ONU 30 pueden proveer un total de hasta 30 líneas ó hasta 10 interfaces de cuatro alambres de (64 Kbit / s) para conectar equipos de terminal de datos. Además de estas funciones, las unidades de red óptica pueden también ser utilizadas para hacer pruebas a las líneas de abonado.

Para proveer servicios en banda ancha, la unidad de red óptica convierte la señal óptica recibida de la red óptica pasiva al formato original de señal eléctrica de banda ancha. Las señales de transmisión de audio y TV puede entonces ser transmitido a través de un cable coaxial convencional la red con una configuración en estrella para las interfaces del equipo terminal.

Tanto el amplificador de salida como el receptor óptico en la unidad óptica pasiva están supervisados por un sub-sistema separado, las señales de alarma asociadas que se transmite a través de la red óptica pasiva interactua en los terminales ópticos para los servicios de telefonía.

3.6 La fuente de alimentación

Los terminales ópticos para servicios de telefonía y de banda ancha están acomodados en un mismo bastidor en la vecindad o junto con la central digital. los terminales ópticos son alimentados con 48 voltios que se obtienen de la central local ó con las baterías de respaldo .

Las unidades de red óptica para servicios de telefonía y banda ancha están localizados en un mismo bastidor en el área del abonado, dentro o fuera de los edificios dependiendo de la topología de la red y provee la solución técnica y económica optima en todos los casos puesto que estas unidades ocupan muy poco espacio. Existen dos formas de alimentar las unidades de red óptica:

Energía local: si hay acceso a un suministro de línea de AC en el área del abonado, la unidad de red óptica puede ser energizada directamente de la línea de AC. Los equipos de las unidades de red óptica tienen incorporado un convertidor de voltaje de AC / DC, y para los servicios de telefonía estos equipos tienen unos acumuladores de 12V con capacidad suficiente para dar suministro de energía por 4 horas a las unidades de red óptica en el caso de falta de energía.

Energizado remoto: en esta versión, la línea de alimentación de energía AC es conectada a las unidades de red óptica a través de dos conductores de cable.

Cada equipo de alimentación de energía puede alimentar cerca de 10 unidades de red óptica con 110 VAC. En las unidades de red óptica, esta localizado unos convertidores DC / DC para transformar el voltaje de alimentación a los voltajes operativos de 12 VDC. Al igual que con la fuente de alimentación única descentralizada, cada unidad de red óptica para servicios de telefonía tiene su propio acumulador de reserva.

La fibra en la red de abonado es un sistema muy flexible y expansible, que puede ser configurado de acuerdo con los requisitos del cliente y la infraestructura existente. En los lugares en donde se tiene una infraestructura de red basada en cobre , las unidades de red óptica ONU están diseñadas para ser conectadas a los terminales de línea para los servicios de líneas de abonado digital de alta velocidad HDSL(High Speed Digital Subscriber Line) y así poder usar la infraestructura de la red existente , y si en un futuro se quiere sustituir la red de cobre de abonado por una red de fibra, solamente se tiene que modificar las unidades de red óptica, puesto que son del tipo modular, para prestar nuevos servicios con la fibra ,sin necesidad de hacer una inversión adicional en la creación de una nueva red .

La configuración del sistema y control y monitoreo de los procedimientos del sistema esta basado también en una estructura de software modular que puede estar cargado a través de las terminales del centro de operación y mantenimiento tanto para las unidades de red óptica como para los terminales ópticos, así poder crecer de acuerdo a las necesidades de los usuarios.

3.7 Aplicaciones de la fibra óptica en la red de abonado en otros países

Proyecto Leipzig: el inicio de las pruebas y puesta en funcionamiento de la fibra en la red de abonado se llevo a cabo a finales de 1991 a través del proyecto Leipzig , creado en Alemania.

Este proyecto tenia la finalidad de proveer a la red de abonado de un sistema en el cual se utilizara la fibra óptica, para brindar al abonado los servicios de telefonía, datos, y los nuevos servicios en banda ancha, tales como programas de televisión y radio; aprovechando para esto las grandes ventajas que presenta la fibra óptica comparada con alambres de cobre convencionales, principalmente en lo relacionado al gran ancho de banda que posee la fibra óptica, puesto que para prestar los servicios de telefonía y programas de TV con la red convencional se necesitaría una red para servicios de telefonía con cables de cobre y una red para los programas de TV y radio utilizando cables coaxiales, además de los repetidores que son necesarios.

Este sistema, fibra en la red de abonado se instaló en el centro urbano de Leipzig, en este sistema se suministro fibra óptica a la red de abonado a través de la instalación de los equipos en los sótanos de los edificios.(fibra en los edificios, FTTB), esto garantizó el suministro efectivo y de bajo costo de los servicios de telefonía y datos así como los servicios en banda ancha a los negocios y casas particulares, y son servicios de bajo costo si comparamos los gastos que se necesitarían hacer si en lugar de instalar este sistema, se instalara una central remota para servicios de telefonía y una central para los programas

de TV y radio por separado, sin considerar el gran espacio que se necesitaría para su instalación .

Para este proyecto se instalaron 204 servicios de telefonía y 37 puntos de transferencia para la distribución de servicios en banda ancha, cerca de 400 apartamentos cuentan con 23 programas de TV y 38 programas de radio (16 de los cuales están en formato digital).

Las señales vía satélite son recibidas a través de la estación terrena, y luego enviada a la central digital utilizando fibra óptica en un enlace de 8 Km, luego las señales son alimentadas a los terminales de línea ópticos que se encuentran ubicados en la misma central digital.

De aquí las señales llegan a la primera unidad de distribución óptica pasiva, a través del tendido de un cable principal de fibra óptica, en donde luego se divide para prestar servicio en dos áreas:

El primer cable de distribución suministra al distrito de negocios al rededor de Markplatz. Utilizando seis unidades de red óptica ONU se les suministra servicios a los medianos abonados principalmente de este distrito.

Existe un segundo tramo principal que tiene una longitud de 800 metros para llegar a la segunda unidad de distribución óptica pasiva en el área residencial de Kolonnadenstrase. A esta segunda PODU están conectadas seis unidades de red óptica de las cuales cinco de ellas están configuradas para prestar servicios de telefonía así como servicios en banda ancha y la sexta ONU se utiliza para propósitos experimentales.

Es de hacer notar que cada ONU puede suministrar servicio a 24 abonados por lo que en esta área se les da servicio a 144 abonados, así mismo suministra 50 puntos de transferencia para los servicios de distribución en banda ancha.

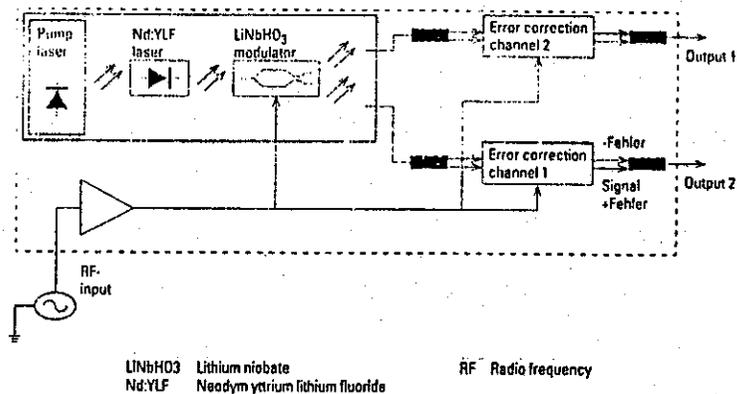
La unidad de red óptica que es el equipo en donde se lleva a cabo a conversión optoeléctrica esta diseñada para colocarse a la intemperie o dentro de los edificios, siendo del tipo de caja mural del tamaño 76 cm X 100 cm X 31 cm para colocarse a la intemperie y de 37.5 cm X 70 cm X 23 cm del tipo interior, siendo por esto fácil de alojar , y por lo tanto ocupa muy poco espacio.

La alimentación de estas pequeñas unidades es tomada en el área local del abonado desde una red de tensión alterna 220/110V, adicionalmente cada unidad de red óptica ONU esta provista de un acumulador de emergencia libre de mantenimiento que esta conectado en paralelo con la red de tensión local de AC y que entra a funcionar en caso de una interrupción del fluido eléctrico de la red local y garantiza el servicio durante 4 horas, la opción de utilizar AC para las unidades de red ópticas ha demostrado ser exitoso para este proyecto.

Proyecto Sagno: a finales de 1992 se llevó a cabo el segundo proyecto, para la implementación de fibra óptica en la red de abonado. El propósito de este proyecto era garantizar una buena cobertura de los servicios de distribución en banda ancha debido a que Sagno es una aldea montañosa de Chiasso en Suiza cerca de la frontera con Italia y no era posible suministrar programas de TV y radio por los métodos tradicionales de transmisión, en este proyecto se suministraron servicios de telefonía y servicios en banda ancha para 103 casas particulares y 52 comercios.

En estos momentos la población de Sagno cuenta con una conexión separada de CATV que permite a cada abonado recibir cerca de 35 canales de televisión y más de 30 programas de radio en muy alta frecuencia VHF del tipo estereofónico así como 16 en formato digital.

Las señales de los programas de TV son transmitidos desde el punto de distribución en Mendriso hasta la unidad central que se encuentra a una distancia de 5km, este enlace se hace con fibra óptica, de allí las señales son enviadas a través de la red óptica pasiva PON hacia las unidades de red óptica en la región de Sagno, a una distancia de 2.5 Km, utilizando dos hilos de fibra óptica. En la figura 3.3 se observa un esquema del transmisor óptico requerido para la transmisión analógica en los terminales de línea ópticos, para los servicios de distribución y es una considerable mejora sobre el modulador semiconductor láser utilizado en el proyecto anterior Leipzig, con este transmisor óptico se obtiene para ambas salidas 20mW.



Bielser, Beat y Gminder, Hans. Telecom report international, página 36

Figura 25

Transmisor óptico

Al igual que en Leipzig, en este proyecto se eligió la topología de red óptica pasiva en donde tanto los servicios de distribución y servicios interactivos son transmitidos de los terminales de línea óptica OLT en fibras separadas a varias unidades de red óptica ONU en una configuración conformada en estrella.

Adicionalmente este tipo de red provee interfaces necesarios para proveer la operación y mantenimiento de los terminales de línea óptico y las unidades de red óptica desde las centrales digitales.

Los terminales de línea óptica están conectados a la central digital a través de 8 canales de 2Mbit/s por medio de dos interfaces compatibles con dicha central digital, para prestar los servicios de telefonía y a cada unidad de red óptica es asignado un canal de 2 Mbit/s para la transmisión de información.

Las señales son sincronizadas en las OLT y luego son multiplexadas con el procedimiento TDM (multiplexación por división de tiempo) para la transmisión óptica y enviadas a todas las ONU, la información referente a todos los abonados que está en formato digital es empaquetado en un marco común y luego enviada a todas las ONU, en las ONU las señales son separadas nuevamente para brindar la información correcta a cada abonado que esta conectado a cada ONU.

El procedimiento de transmisión desde los abonados hacia las centrales digitales es un poco más compleja puesto que las distancias entre las ONU y los OLT son distintas provocando un retardo en la propagación de la información, por lo cual las señales no llegan al mismo tiempo, para poder solventar esta situación las señales son enviadas utilizando el método TDMA (acceso múltiple por división de tiempo) que permite que cada ONU transmita sus informaciones en forma individual con demoras en tiempo también individual en paquetes consecutivos.

Como se mencionó, las señales son transmitidas bidireccionalmente a través de una única fibra óptica entre las OLT y la ONU, para llevar a cabo esta transmisión bidireccional se utilizan longitudes de onda diferentes para la recepción y transmisión de las señales.

Cuando la dirección de transmisión de las señales es desde las OLT hacia las ONU se transmite con una longitud de onda de 1500 nm, y cuando la transmisión de las señales es en dirección de las ONU hacia las OLT se transmite con una longitud de onda de 1300 nm, esto es posible debido a la implementación de un módulo de transmisión y recepción bidireccional.

Para la transmisión de información óptica se utilizó por primera vez, en este proyecto, un láser que es del tipo YLF solido-plater con modulación de luz externa. Tanto el rango de transmisión como la calidad de la señal óptica fue aumentada considerablemente, como resultado de las mejoras hechas al diodo láser, además posee tan buena linealidad que el rango de frecuencias fue aumentado a 600 Mhz para los servicios de banda ancha con lo cual se provee espacio para programas de TV adicionales que pueden conectarse a la red en el momento que se requieran.

El proyecto sarno /chiasso ha jugado un papel importante en la expansión de la fibra óptica a la red de abonado ya que es en este proyecto en donde se empieza a explotar la gran capacidad de transmisión de información de la fibra óptica.

4. DISEÑO DE LA RED DE ABONADO CON EL USO DE UNA RED ÓPTICA ACTIVA PARA EL AREA DE LA CENTRAL VILLA DE GUADALUPE

4.1 Aspectos importantes en el diseño de la red de abonado

En la técnica de las comunicaciones ópticas se han logrado apreciables adelantos en los últimos tiempos, en los países desarrollados las experiencias en la explotación del nuevo medio de transmisión óptico esta operando desde hace varios años a entera satisfacción de usuarios y operadores de red, con grandes resultados. En la planificación de tales instalaciones se debe tener en cuenta, ante todo la atenuación, el ancho de banda de las fibras utilizadas y sus empalmes para optimizar los beneficios que presta la fibra óptica y los equipos terminales .

4.1.1 Pérdidas en la transmisión

Las pérdidas en la transmisión o pérdidas lúminicas se reflejan principalmente en los valores de atenuación de la señal al viajar através del enlace con fibra óptica y las principales causas de atenuación en la fibra óptica,

tal como se mencionó en la sección 2.3, son básicamente las debidas a la absorción y dispersión, esta última también influye en el ancho de banda.

En un sistema de transmisión con fibras ópticas en la red de abonado, además de las pérdidas debidas a la atenuación se deberán de tener en cuenta las pérdidas por acoplamientos, y las debidas a los empalmes y conectores, deben ser tomadas en cuenta al momento de diseñar una red de abonado con fibra óptica y elegir una combinación óptima de estos factores, para entregar la suficiente potencia en el extremo receptor. La suma de todas las pérdidas que se producen en los distintos elementos, así como las del transmisor y receptor, comprenderán las pérdidas totales.

4.1.2 Características de transmisión de las fibras ópticas

La atenuación y el ancho de banda son los parámetros más importantes para la planificación de instalaciones de fibras ópticas. Generalmente, ambas magnitudes son referidas a la potencia óptica, que la fibra óptica ó el componente óptico debe transmitir, de esta cuenta es que se habla de pérdidas de potencia óptica. En la sección 2.3.1. se anoto la fórmula de la potencia óptica o luminica y de esta ecuación se tiene la siguiente relación para la atenuación "a" en dB:

$$a = -10 \text{ Log } (P_o/P_e)$$

En la que P_e es la potencia de entrada y P_s la potencia de salida la atenuación "a" es relacionada con la longitud L (en Km) y es α , la relación es $\alpha = a/L$.

Las fibras ópticas de índice gradual usadas actualmente tienen, por ejemplo, para 850nm atenuaciones entre 2.5dB/km y 4dB/km, para 1300nm los correspondientes valores están ubicados entre 1.0dB/km y 2.5dB/km, aproximadamente en 1.5 dB/km.

Para las fibras ópticas monomodo, en la ventana de 1310nm el valor de atenuación es 0.36 dB/km y para 1550 nm es solamente 0.23 dB/km, esta es una de las razones por las cuales en el futuro se utilizarán solo fibras ópticas monomodo, para transmisión de grandes distancias y en la red de abonado y se harán transmisiones utilizando la tercera ventana de 1550 nm.

En las fibras ópticas monomodo el ancho de banda es dado como una medida de la dispersión, de esa cuenta tenemos que para una fibra monomodo en el rango de 1288 a 1339nm tenemos una dispersión de 3.5 ps/nm \times km y para el rango de 1550 nm es de 18 ps/nm \times km. En el anexo 1 se indican las características ópticas y de transmisión de las fibras ópticas multimodo y monomodo, según las normas de CCITT (Comité Consultivo Internacional de Telefonía y Telegrafía).

Para proyectar el ancho de banda de una instalación se puede proceder de dos formas: analizando el valor de ancho de banda B a lo largo de la ruta o sumar de forma apropiada la atenuación adicional para cada determinada frecuencia.

Se deberá de tener en cuenta para los sistemas prácticos de transmisión en los sistemas digitales, las reservas por envejecimiento de los equipos terminales, los efectos de la temperatura y las tolerancias, además de considerar derivaciones, acopladores, conectores, empalmes, etc. que eventualmente existirá, con lo cual llegamos a la atenuación admisible de la sección repetidora a_R la que deberá ser tomada en cuenta para la planificación de instalación de sistemas transmisión con fibras ópticas.

4.1.3 Plan de atenuación para una instalación de fibra óptica

Un sistema de transmisión con fibra óptica, comprende los largos de los cables tendidos y empalmados entre sí y se extiende hasta la primera conexión separable (conector). En los extremos se separa este conector para hacer mediciones, puesto que en este caso no se registra la atenuación del conector, esta debe ser tomada en cuenta en el plan de atenuación de los equipos. tomando ésto en cuenta se tiene la siguiente ecuación para obtener la atenuación del cable y los empalmes, como sigue:

$$a_k = \sum \alpha L + \sum n c \quad (1)$$

En la que a_k nos da la atenuación de la instalación de cables una vez conocidos los valores de atenuación α del cable, para determinada longitud L y los valores de atenuación de los empalmes ϵ y el número "n" de empalmes realizados en el trayecto. Los valores de la atenuación media del cable dependen de la longitud de onda y de la calidad del cable utilizado.

La atenuación media del empalme está ubicada en el rango de 0.1 a 0.2 dB, las pérdidas debidas a los conectores y en los equipos distribuidores, según las experiencias de campo tiene una variación de 0.5 a 0.8 dB. Las pérdidas debidas al envejecimiento de los equipos terminales se deben de considerar puesto que con el tiempo estos equipos pierden la sensibilidad en la recepción, y en los equipos transmisores la potencia de salida varía por el uso de los mismos, para aplicaciones prácticas el margen de pérdida para el transmisor y receptor es de 2 dB.

Las pérdidas de conectores y las debidas al envejecimiento de los equipos se deben de sumar a la ecuación 1 para obtener la atenuación admisible en la sección repetidora a_R .

En la planificación de una instalación merecen atención aún otros factores más, de esta cuenta las instalaciones de cables, por ejemplo deben planificarse para una larga vida útil, por lo tanto se debe de tener en cuenta, que en transcurso del periodo de aprovechamiento de la instalación se deberá empalmar nuevas secciones de cable, debido a los trabajos de construcción, trabajos de excavación, cambio de la ruta del cable, etc.

La magnitud de la reserva requerida para ello depende de las circunstancias locales, y se elige sobre la base de los datos estadísticos de instalaciones existentes. Debido a su naturaleza estadística, fijamos la reserva en proporción a la longitud L de la instalación del cable, obteniendo con ello la siguiente fórmula de planificación para la atenuación de la sección repetidora a_R a mantener.

$$a_R = a_k + rL \quad (2)$$

En la cual a_k se obtiene de la ecuación (1) y los valores numéricos para la atenuación de reserva "r" están ubicados, según las circunstancias entre 0.1 y 0.6 db/km.

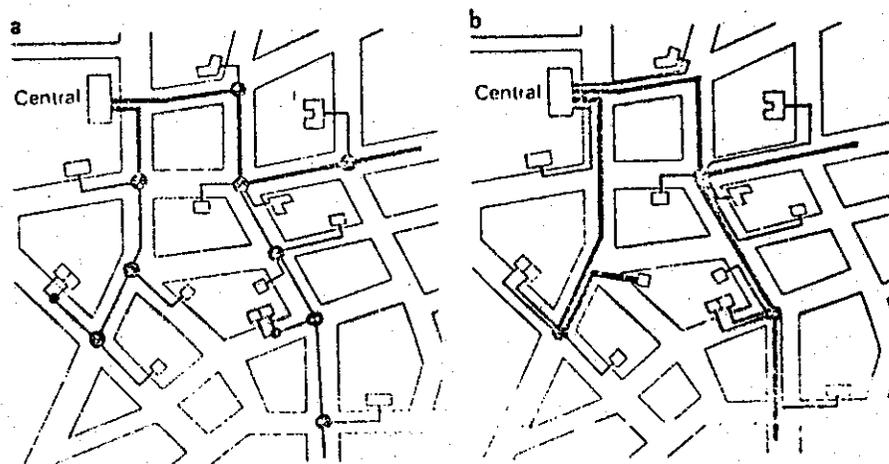
4.1.3.1 Estructura de la red con fibra óptica

En el tendido de cables, los cables livianos de fibra óptica ofrecen ventajas con respecto a los cables de cobre. Así los cables de cobre de alta capacidad, como por ejemplo 2,400 pares por su peso y sus dimensiones, sólo vienen en carretes con distancias para el tendido normal de 325 metros, los diámetros de estos cables determinaban hasta ahora también los diámetros máximos de las tuberías.

Con la introducción de la técnica de fibra óptica se hace necesario modificar la técnica de instalación de redes. Como cada empalme causa una atenuación adicional, debe ahorrarse los puntos de enlace; es importante por lo tanto

planear manguitos de empalme de derivación y de enlace, en la cantidad menor posible y evitar dentro de lo posible las cruces en los distribuidores de cables. En la práctica es posible reducir los puntos de empalme, si se toma en cuenta las siguientes observaciones:

Se debe hacer el tendido en paralelo de varios cables lo más largos posible (ahorro de manguitos de derivación). Reparto sin manguitos de empalme en la central de conmutación. Reparto hacia adelante y hacia atrás en los manguitos de enlace. Con la ayuda del siguiente ejemplo (figura 26) resulta claro qué ahorros de enlace son posibles cuando se toman en consideración los puntos anteriormente mencionados.



Oestreich, Ulrich. Comunicaciones ópticas. página 43

Figura 26

Estructura de una red de fibra óptica

- a. Instalación con cables de cobre y diez manguitos de empalme
- b. Instalación con cables de fibra óptica y tres manguitos de empalme

4.1.3.2 Tendido de cables de fibra óptica

Los cables de fibra óptica no requieren en principio ninguna técnica de tendido especial. Debido a su poco peso respecto a los cables con conductores de cobre, su gran flexibilidad, su pequeño diámetro y su gran resistencia a la tracción, los problemas de técnica de tendido son más bien escasos, considerados desde el punto de vista convencional.

Con los cables de fibra óptica, la técnica de tendido de cables debería poder satisfacer algunas nuevas exigencias como:

- Hacer el tendido de cables con mayores largos de un solo tramo y con ello, economizar empalmes.
- Aprovechar mejor las tuberías existentes mediante ocupación múltiple de las de las mismas.
- Utilizar las líneas aéreas de alta tensión como portadores para cables de fibra óptica.

Desde el punto de vista de su resistencia mecánica, los cables de fibra óptica pueden ser instalados sin problemas aplicando todos los métodos de tendido conocidos, tomando en cuenta sus características específicas y el rango de temperatura admisible, por ejemplo el cable puede ser instalado mediante:

- El tendido de cable con ayuda de algún elemento mecánico de tracción o manualmente por tuberías, canales o zanjas de cables.
- El tendido desde el vehículo porta-tambor en movimiento hacia la zanja de cables y tuberías.
- La colocación del cable directamente enterrado
- La colocación del cable engrapado en paredes (tratándose de instalación en edificios) también verticalmente por encima de 1,000 metros y más.
- El tendido como cable aéreo.
- El tendido como cable submarino.

Ocupación múltiple de las tuberías: para un mejor aprovechamiento de tuberías ya instaladas en la canalización de cables, con diámetro interior del conducto de tuberías de 100 mm se vienen utilizando frecuentemente en los últimos tiempos tres tubos plásticos ondulados colocados ulteriormente con diámetro interior de aproximadamente 30 mm. Estos tubos posibilitan el tendido independiente entre sí (y de ser necesario el cambio) de tres cables de fibras ópticas con diámetros exteriores de 23 mm como máximo. A esta ventaja se le contrapone, sin embargo, una cierta mayor dificultad para el tendido: los tubos altamente elásticos en sentido longitudinal y fijado en las bocas de conductos de tubería se comprimen en la dirección de tendido y ocasionan con ello una mayor fricción. Mejores cualidades técnicas de tendido tienen en sentido longitudinal tubos plásticos menos elásticos, que son ofrecidos en diferentes versiones.

4.2. Diseño de la red de abonado en un sector de la ciudad capital

Hoy estamos al comienzo de los mejores cambios en la red de telecomunicaciones, cambios que permitirán la entrada a la información real y de la época. Simultáneamente la transmisión de vídeo de alta resolución, audio digital y datos a alta velocidad abrirán un nuevo mundo a los servicios interactivos para los abonados.

Uno puede tener una visión de la gran capacidad de servicios de que se dispondrán, con el uso de la fibra óptica, como lo son: cajeros automáticos, transacciones bancarias desde el hogar, compras por teléfono, servicios de viajes, conferencias por televisión y mucho más, llevando todos estos servicios hasta la casa.

La implementación de esas nuevas demandas de servicios de los abonados dependerá de la disponibilidad de una conexión de banda ancha para cada abonado. La demanda de líneas de 2 Mbit/s se está incrementando drásticamente, algunos de esos servicios pueden ser realizados con la estructura de cable existente, basado sobre una red de cables de cobre y cables coaxiales, sin embargo la inversión en los cables convencionales comparada con los cables de fibra óptica no es una solución a largo plazo.

Todas las necesidades de los abonado modernos pueden ser satisfechas usando sistemas de transmisión con fibra óptica, y llegando tan próximo como sea posible hasta la casa del abonado, proveyendo un ancho de banda sobre una única fibra óptica, la cual es superior al cable multitar convencional y el cable coaxial. La gran gama de productos modulares que se están fabricando para prestar los distintos servicios, es la respuesta a los accesos futuros, en la evolución de la red, que permitirá un crecimiento sin límites en la prestación de servicios de telecomunicaciones en el futuro.

El desarrollo, despliegue y prueba de la fibra en la red de abonado esta inicialmente impulsado por un deseo de satisfacer las necesidades de los operadores de red, proveedores de servicio y sobre todo las necesidades de los usuarios, con la red de fibra óptica en la red de abonado se dispondrán de:

- Redes a prueba del futuro, modernización y crecimiento.
- Más variedad y capacidad de servicios ofrecidos.
- Rápida y más flexible respuesta a las necesidades de los usuarios.

Hoy en día estas grandes experiencias en la prestación de servicios en telecomunicaciones han cambiado debido al crecimiento espectacular de los clientes en términos de necesidad de flexibilidad en el ancho de banda y cambios de calidad de servicio.

Una solución que puede responder a todos los requerimientos y expectativas no ha sido fácilmente encontrada, los productos de fibra en la red de abonado serán la prueba del futuro, con una solución basada inicialmente en cobre para prestación de servicios interactivos y servicios distributivos.

Las opciones que se usarán en la red de abonado será la red óptica pasiva y una estructura de red óptica activa, así mismo se podrá usar también una estructura punto a punto.

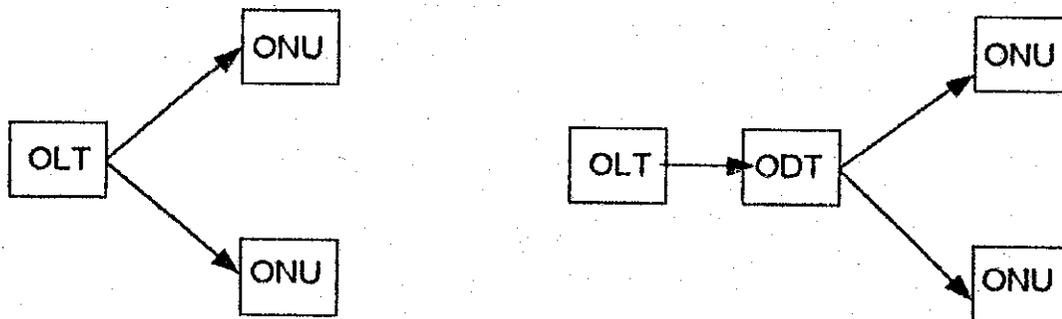
4.2.1 Arquitectura de la red óptica activa

Utilizando la arquitectura de red óptica activa AON (active optical network) en estrella se logra mayor capacidad de transmisión, además de poderse usar fibra óptica ó cables de cobre para la transmisión entre los puntos de distribución de los terminales de línea ópticos ODT y las unidades de red óptica ONU, o líneas de cobre directamente desde los terminales de línea óptica hasta las unidades de distribución óptica, usando el sistema HDSL con cobre, con lo cual se hace uso de la infraestructura existente, ahorrándose costos iniciales en la instalación de una nueva canalización. Con la utilización de fibra óptica también se puede colocar y unir punto a punto los equipos terminales de línea ópticos OLT y las unidades de red óptica ONU, (figura 27).

La arquitectura de estrella activa se usará principalmente como una plataforma moderna para prestar más y nuevos servicios interactivos, tal como los servicios de ISDN de banda ancha, y en un futuro videoteléfono, etc. para las áreas circunvecinas a la central se puede también integrar la fibra óptica como la columna vertebral de la red abonado, para tener una red de gran capacidad, y prepararse así para los servicios que requiera el usuario en el futuro. En los puntos nodales de estas redes existen acopladores en estrella activa desde los cuales las fibras ópticas se dirigen a los correspondientes equipos terminales de línea.

Con este tipo de arquitectura se logrará la fácil integración de la fibra óptica a la red paso a paso, se tendrá una red confiable en la prestación de los servicios, puesto que se usará una conexión con redundancia de 1+1, en los equipos y los cables de fibra óptica.

Con este tipo de arquitectura se lograrán hacer transmisiones a más de 20 Km. y las capacidades de transmisión que se logran con este tipo de arquitectura son de acuerdo a las necesidades del usuario las cuales pueden ser de 2Mbit/s, 34Mbit/s, 155 Mbit/s. Esta arquitectura de red óptica activa será una solución para cubrir grandes distancias desde las centrales telefónicas hasta los usuarios, para la transmisión de 34Mbit/s y 2x2Mbit/s utilizando fibra óptica se cubrirán distancias de 20 Km y para 2Mbit/s con el sistema HDSL hasta 3.5 Km.



Siemens. Fast link, página 12

Figura 27

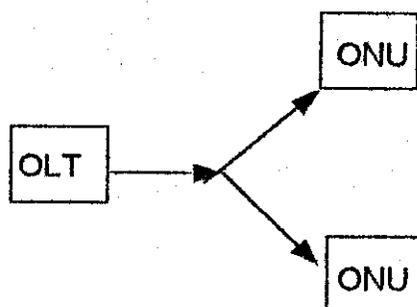
Arquitectura de red óptica activa

4.2.2 Arquitectura de la red óptica pasiva

Este tipo de arquitectura de red óptica pasiva PON (passive optical network) proveerá un acceso integrado para servicios interactivos tales como telefonía ISDN y para servicios de distribución de televisión y radio digital. con el concepto de red óptica pasiva PON, varios abonados finalmente pueden hacer uso de las facilidades que prestan las centrales digitales, y los operadores de TV por medio de los acopladores ópticos, (figura 28) es decir componentes exclusivamente pasivos con una topología en estrella.

Esto tipo de red permitirá la distribución de señales de CATV en el rango de frecuencias usual y para servicios interactivos sobre la línea de 2 Mbit/s al abonado.

Con este tipo de red se alcanzarán distancias no mayores de 20 km, además de ser usada como la base para una red completamente de fibra óptica con capacidades transmisión hasta 34Mbit/s.



Siemens. Fast link, página 12

Figura 28

Red óptica pasiva

4.2.3 Red híbrida para servicio de CATV

Las redes coaxiales son las más utilizadas para la distribución de señales CATV y ha estado mejorado constantemente.

Para la introducción de la transmisión de estos servicios a través de la fibra óptica, se utilizarán equipos terminales ópticos llegando tan cerca como es posible al abonado a través de las unidades de distribución óptica ONU, además se reducirá así el gran número de repetidores convencionales que se tendrían que usar con transmisiones convencionales por medio de cable coaxiales.

Al inicio se utilizará el concepto fibra/coaxial que es el primer paso para la implementación de la fibra óptica en la red de abonado, así prestar estos servicios de CATV, utilizando la fibra óptica, abriendo así un nuevo medio de transmisión para las señales de CATV. Otra de las ventajas de utilizar estas redes híbridas con fibra óptica y cable coaxial en la red de abonado es que se podrá utilizar la misma infraestructura (armarios, cable, energía) que se usa para prestar los servicios interactivos, reduciendo con esto los costos de inversión y una fácil evolución de los servicios interactivos de CATV sin necesidad de cambios en la arquitectura de la red.

Dependiendo de los parámetros de la red, como lo son la infraestructura existente, la expansión de servicios planeada, cualquiera de estos tipos de estructura de red antes mencionado podrán ser instalados, y puesto que los equipos terminales son del tipo modular, se podrán utilizar en cualquier momento los mismos equipos para pasar de una red óptica pasiva a una red óptica activa con el hardware necesario para la transmisión de CATV, con lo cual las fibras ópticas estarán llegando tan cerca como sea posible al abonado y así crear una red con una gran versatilidad en cuanto a la prestación de todos los servicios que requiera el abonado, y esto se logrará solo a través del uso de la fibra óptica.

4.2.4 Descripción del proyecto

El área elegida es un sector de la zona 10, este sector está cubierto, por la central Villa de Guadalupe con más de 40,000 líneas. Es de hacer notar que en este sector se encuentran una gran cantidad de edificios de oficinas, hoteles y comercios, por el estudio que se ha hecho en este sector la mayoría de los usuarios tienen más de 10 líneas para su servicio y aun así no son suficientes por el gran tráfico de llamadas que se generan en dicho lugar además de existir una gran demanda de nuevos servicios telefónicos.

Uno de los problemas que existen para prestar nuevos servicios telefónicos, es que no hay canalización suficiente, para prestar a todos los abonados estos servicios esenciales de telefonía y otros muchos más que requerirán en el futuro, por lo cual se precisa de nuevas soluciones para aprovechar el poco espacio en la canalización e infraestructura de la red de cobre existentes, para no invertir en la construcción de una nueva canalización adicional, y ahorrarse así los costos de la misma, de esta forma poder dar una respuesta rápida a las necesidades de los usuarios.

Existen dos clases de usuarios a los que se les deben de prestar servicios de comunicación y transmisión de datos, los cuales tendrán un papel importante para la introducción de la fibra en la red de abonado, en la ciudad capital, estos dos tipos de abonados serán complementarios y son los abonados de empresa y los abonados de residencia, a los cuales se prestarán estos servicios.

Está claro que de inicio los servicios de ISDN banda ancha, servicios de Internet, videoconferencia, transmisión de datos a alta velocidad se prestarán a los abonados de empresa, pues estos son los que sostendrán el proyecto inicial, ya que son estos tipos de usuarios los que podrán autofinanciarse para poder adquirir estos servicios y constituirán el motor de arranque para la implementación de fibra en la red de abonado en Guatemala.

Además, debe tomarse en cuenta al abonado de residencia el cual al ser la mayoría, contribuirá al desarrollo de este proyecto ya que inicialmente este tipo de usuario utilizará más los servicios de distribución como lo es TV de alta resolución, radio, TV prepagado, Internet, etc. y por supuesto servicios interactivos como lo serán la videotelefonía. Al atender su demandas de servicios a través de la fibra óptica, proporcionarán el mayor volumen de ingresos pues utilizarán la red por más tiempo, y contribuirán a reducir los costos de fabricación. Por tal razón, como se decía anteriormente, estos dos tipos de usuarios serán complementarios y deberán de tenerse en cuenta para la introducción y puesta en servicio de la red de abonado con fibra óptica.

Los nuevos equipos que se utilizarán, se adaptan a las necesidades de los usuarios, algo muy importante: se adaptan a las infraestructuras de red existentes en Guatemala, para que los operadores de red como Telgua puedan disponer de esta tecnología, sin tener que hacer inversiones mayores. La introducción de la fibra en la red de abonado no es más que un paso hacia los servicios de banda ancha.

Como se mencionó el sector elegido tiene bastante movimiento comercial, además aquí se encuentran abonados residenciales con los medios económicos suficientes para adquirir en determinado momento estos nuevos servicios, para la compañía explotadora de estos nuevos servicios, la inversión inicial se compensará de inicio con el hecho de que ya no se tendrá que invertir en hacer más trabajos de obra civil (canalización), pues se optimizará la existente, utilizándose además la infraestructura de cobre existente, por medio de las redes híbridas de fibra y cobre.

Para prestar todos estos servicios se implementará un sistema que permite llevar la fibra óptica hasta el usuario tan cerca como sea posible, utilizando para ello tres equipos esenciales como lo son: Los terminales ópticos, unidades de distribución y unidades de red óptica; unidos por fibra óptica o con la red de cobre existente, además se podrán implementar redes híbridas de fibra/cobre y fibra/coaxial con lo cual se optimizarán los recursos disponibles en el sector elegido, llegando así lo más cerca del abonado con fibra óptica.

Inicialmente se ha recopilado toda la información referente al sector en estudio como lo son cantidad de líneas que tiene cada usuario actualmente, los mapas de la canalización existente y de la red de cobre que presta los servicios de telefonía ya que se seguirá la misma ruta que tiene la red de cobre actualmente, para utilizar así la canalización disponible, así mismo los distribuidores ópticos serán colocados a la par de donde se encuentran los armarios de cobre. y los terminales ópticos de línea serán colocados en la central Villa de Guadalupe.

En la actualidad, las centrales telefónicas del país están interconectadas con fibra óptica, lo que ayudará para que en el futuro se pueda interconectar a todos los abonados de la ciudad capital, claro esta con una red de abonado bien distribuida y en óptimas condiciones de infraestructura, para que se puedan prestar los servicios de alta calidad y confiabilidad a los usuarios.

Inicialmente, se podrá utilizar gran parte de la red de cobre existente, puesto que se podrán instalar sistemas híbridos de fibra/cable coaxial y fibra/cable de cobre, claro esta con la tendencia de que en los futuros proyectos se instale la fibra óptica hasta el usuario utilizando por supuesto los mismos equipo terminales que son del tipo modular y así ahorrarse los costos que generen estos cambios y de esta forma tener una red de gran capacidad para el transporte de información y así prestar en el futuro todos los servicios de banda ancha.

4.2.4.1 Hardware del equipo en la red abonado

Como se puede observar en la figura 4.4 el sistema constará de cuatro partes principales:

Los terminales de línea ópticos OLT (optical line termination)

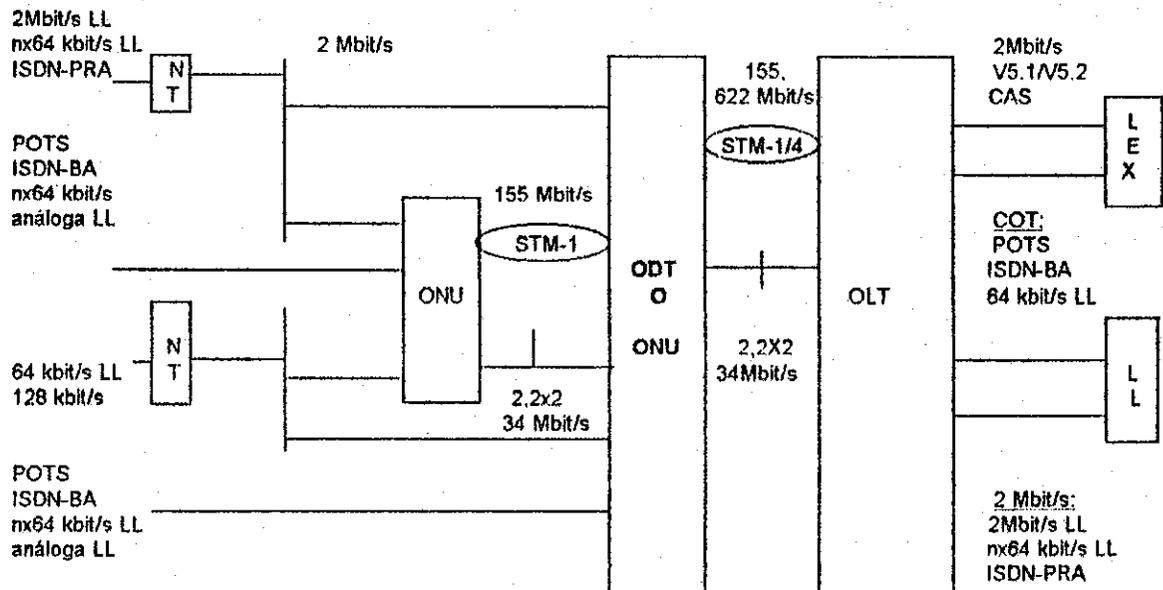
Los terminales distantes ópticos ODT(optical distant termination)

Las unidades de red óptica ONU(optical network unit)

Los terminales de red NT (network termination)

LADO DEL ABONADO

LADO DE LA CENTRAL



Siemens. Fast link, página 7

Figura 29

Componentes principales de la red óptica

Con una red óptica (figura 29) se podrá por primera vez instalar una red utilizando fibra óptica hasta la red de abonado, de ese modo se creará la infraestructura para servicios futuros de telecomunicaciones y se podrá responder rápida y flexiblemente a las necesidades del usuario.

Este sistema digital de transmisión utilizará las características principales de la fibra óptica, para prestar los servicios de telefonía, transmisión de datos, todos los servicios de ISDN en banda ancha y videotelefonía en el futuro. Se necesita de una central digital para prestar los servicios de telefonía así como de una estación de recepción para programas de TV y radio (figura 29).

En los extremos de la red óptica activa se llevarán a cabo las conversiones optoelectricas, en el lado de la central digital através de los terminales de línea ópticos OLT que convertirán las señales eléctricas en señales ópticas para ser enviadas através de fibra óptica hasta el área del abonado. En el lado del abonado se utilizarán terminales de distribución óptica ODT y unidades de red óptica ONU que volverán a convertir las señales ópticas en eléctricas y así distribuir las hasta los equipos locales de los abonados, por medio de cables de cobre, cables coaxiales, ó fibra óptica. Utilizando los terminales de red NT.

Se utilizará una red óptica activa AON (Active Optical Network) en una configuración de estrella activa para llegar hasta los abonados, igual a la utilizada en la red de telefonía de cobre, con dos hilos de fibra óptica monomodo entre los terminales ópticos OLT y los terminales de distribución ODT para los servicios de telefonía y para los servicios de banda ancha, esto se hará para asegurar, en primer lugar un alto grado de eficiencia en cuanto a la utilización óptima de la fibra y en segundo lugar, un bajo costo en función de la instalación, mantenimiento y expansión de la red en el futuro.

Los elementos funcionales para servicios de telefonía y los servicios en banda ancha estarán localizados en unos compartimentos comunes, es decir que se encuentran físicamente en el mismo bastidor o armario, en las unidades de distribución ODT y las unidades de red óptica ONU. Estas unidades se colocarán de acuerdo a las condiciones físicas del lugar en donde se requieran, ya que se podrán colocar adentro de los edificios ó a la intemperie.

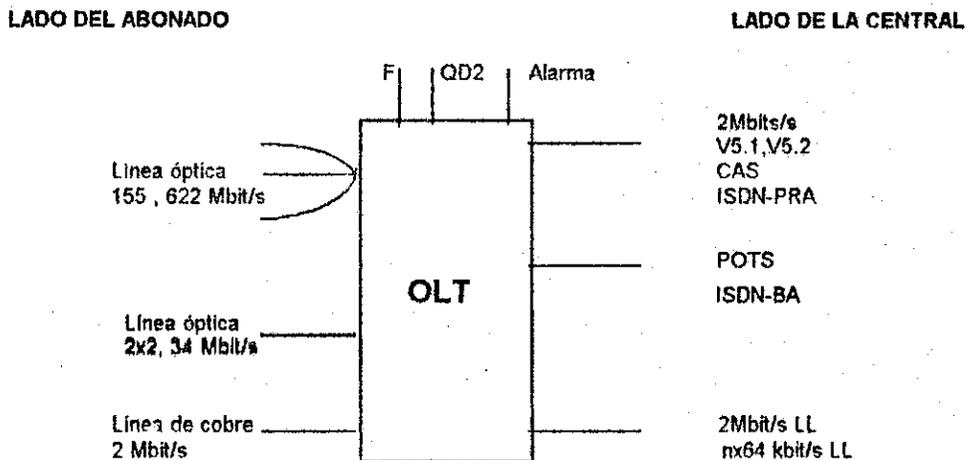
Para hacer la transmisión de señales más eficiente y segura, se utilizará transmisión de señales bidireccional usando para tal efecto una única fibra óptica. En la dirección de la central hacia el abonado las señales serán transmitidas utilizando el método de multiplexación por división de tiempo TDM en la longitud de onda de 1550 nm, es de hacer notar que cada unidad de red óptica extraerá de la señal entrante la información necesaria del TDM.

En dirección contraria hacia la central, es decir de la unidad de red óptica hacia los terminales de línea óptica, la transmisión de señales se hará utilizando el método de acceso multiplexado por división de tiempo TDMA esto método se utilizará para evitar solapamientos de las señales, que puede ocurrir debido a las diferentes distancias entre los terminales de línea ópticos y las unidades de red óptica.

Los terminales de línea ópticos OLT servirán de conexión entre la red óptica y los sistemas de conmutación digital para los servicios de telefonía, tienen la capacidad de transmitir señales a cuatro sistemas de red óptica activa simultáneamente

Estos terminales se instalarán en las centrales telefónicas, a través de unos demultiplexores que pueden proveer una gran número de interfaces para los niveles de 64 Kbits/s así como señales de 2Mbit/s sobre cables de cobre. Para incrementar la flexibilidad de la red se pueden incluir sistemas de cross-connect, entre los equipos terminales y la central telefónica.

Los terminales ópticos se podrán también conectar a los sistemas de transmisión para distribuir señales de CATV y radio, además estos equipos tiene la facilidad de poderse conectar como una unidad remota con un enlace de fibra óptica, logrando así mayores distancias.



Siemens. Fast link, página 13

Figura 30

Conexiones del terminal de línea óptica OLT

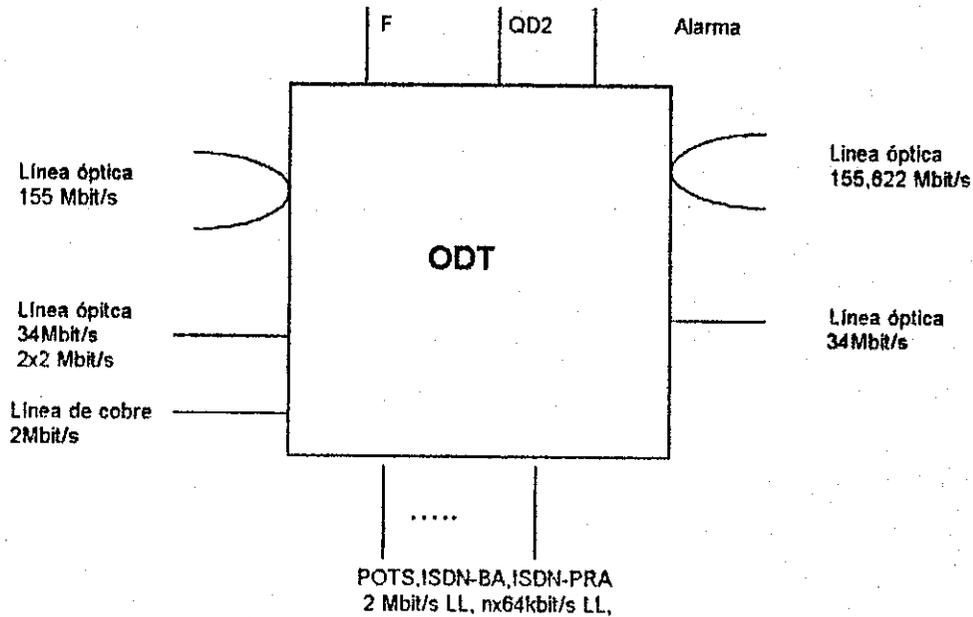
Los terminales de distribución ópticos, ODT(optical distribution terminal) son módulos que distribuyen la señal óptica y permiten una configuración flexible en estrella activa y se usaran cuando se tenga una gran cantidad de ONU que conectar a los terminales de línea ópticos OLT ó cuando las distancias entre las OLT y las ONU son muy grande.

Estos terminales de distribución están diseñados para uso exterior. Tiene la capacidad de distribuir señales de 34Mbit/s o señales de 16x2Mbit/s con lo cual pueden ser usados para conectarse a las unidades de distribución óptica ONU através de fibra óptica ó cobre con el sistema HDSL y además puede ser usada como parte integral de una configuración en SDH.

Los beneficios que se obtienen con la utilización de los terminales de distribución ópticas ODT es que se diseña una red más flexible, se logran cubrir grandes distancias, el crecimiento de más ODT es fácil y se ahorran costos en la construcción de oficinas para albergar estos equipos, pues éstos están diseñados para instalarse a la intemperie.

LADO DE ABONADO

LADO DE LA CENTRAL



Siemens. Fast link, página 12

Figura 31

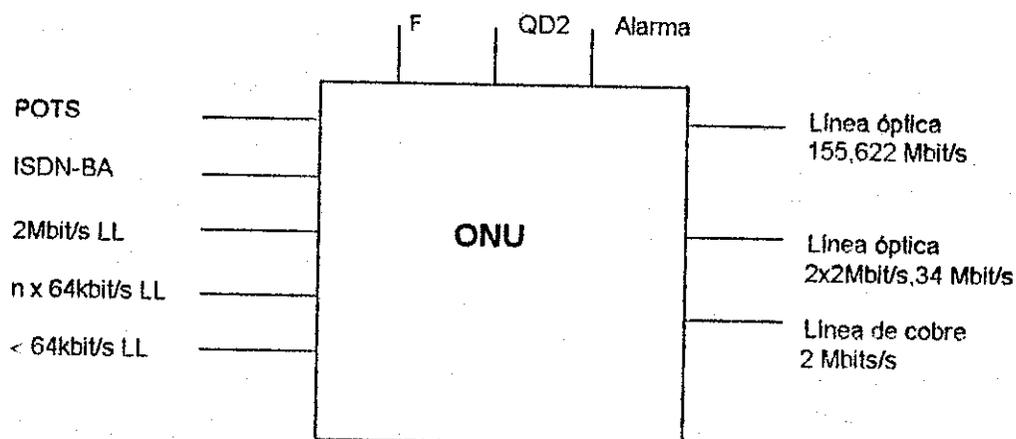
Conexiones del terminal de distribución óptico ODT

La unidad de red óptica esta compuesta de módulos que prestarán los servicios para telefonía y servicios de distribución de CATV y radio, estas unidades de red óptica se instalarán tanto en los edificios como a la intemperie y tienen la capacidad para prestar servicios con líneas de 64kbit/s, servicios POTS, servicios de ISDN y servicios de 2 Mbit/s; además de prestar los servicios de 2Mbit/s a través de las líneas de cobre, con el sistema HDSL, con lo cual se utilizarán las líneas de cobre existentes.

A estos módulos se les puede adaptar para prestar los servicios distributivos de CATV y radiodifusión en FM. Para la instalación no se necesitara trabajos adicionales de obra civil pues estos equipos son de tipo armario. Por la gama de tamaños en que se fabrican estos módulos podrán ser adaptados fácilmente a la variedad de topologías de la red, existiendo unidades de red óptica para prestar servicios desde 30 hasta 1,024 abonados.

LADO DEL ABONADO

LADO DE LA CENTRAL



Siemens. Fast link, página 9

Figura 32

Conexiones de la unidad de red óptica ONU

4.2.4.2 Diagrama de la red de abonado

Los diagramas de la red a utilizar se muestran en el anexo 2. y anexo 4, siguiendo la ruta que tiene la red actual de cobre. En anexo 2 se representa el tramo A, el cual inicia en la central Villa de Guadalupe, con un terminal de línea óptico OLT-A que estará equipado para prestar servicios de telefonía, transmisión de señales de 2x2,34 Mbit/s, con línea de fibra óptica, además tendrá la posibilidad de transmisión de señal de 2Mbit/s utilizando la red de cobre existente, con el sistema HDSL, y en el futuro se podrá equipar para prestar los servicios de 155 Mbit/s.

La ODT-A que se instalará en la 2a. ave. y 15 calle zona 10, a una distancia de 1,335.70 mts desde la central, se encargará de la distribución de señales para los distintos edificios, através de las unidades de red óptica ONU. Esta ODT-A alimentará al Edificio Reforma con una ONU60-A1 con capacidad para 60 canales de 64Kbits/s, 24 canales para servicios de ISDN, líneas digitales dedicadas hasta 12, estará equipada para servicios de 2Mbit/s con línea de cobre y 2x2 Mbit/s con líneas de fibra óptica y servicios de distribución CATV y radio.

En Citibank se instalará una ONU60-A2, que prestará los mismos servicios que en el edificio Reforma. En las oficinas de Teleproducciones se instalará una ONU30-A3 con capacidad para 30 canales de 64kbit/s 12 canales para servicios de ISDN, líneas digitales dedicadas hasta 6, estara equipada para servicios de 2Mbit/s con línea de cobre y 2x2 Mbit/s con líneas de fibra óptica.

El edificio Centro Ejecutivo estará equipado con una ONU120-A4 con capacidad para 120 canales de 64kbit/s 48 canales para servicios de ISDN , líneas digitales dedicadas hasta 18, estará equipada para servicios de 2Mbit/s con línea de cobre y 2x2 Mbit/s con líneas de fibra óptica. La ODT-A también distribuirá las señales a la Plaza Santander utilizando una ONU30-A5 con capacidad para 30 canales de 64kbit/s 12 canales para servicios de ISDN, líneas digitales dedicadas hasta 6, estará equipada para servicios de 2Mbit/s con línea de cobre y 2x2 Mbit/s con líneas de fibra óptica.

Adicionalmente, se instalarán tres enlaces directos desde la OLT-A de Villa de Guadalupe hasta el hotel Camino Real, edificio Centro Empresarial y el edificio Paladium, utilizado sólo Unidades de Red Optica, ONU. En el hotel Camino Real y edificio Centro Empresarial se instalará una ONU480-8 con capacidad para 480 canales de 64kbit/s 192 canales para servicios de ISDN, líneas digitales dedicadas hasta 72, estará equipada para interfaces para señales de 34Mbit/s, con 16 señales para servicios de 2Mbit/s sobre líneas de cobre, 4 canales para señales de 2x2Mbit/s con fibra óptica y servicios de distribución CATV y radio.

En el edificio Paladium se instalara una ONU60-7 con capacidad para 60 canales de 64Kbits/s, 24 canales para servicios de ISDN, líneas digitales dedicadas hasta 12, estará equipada para servicios de 2Mbit/s con línea de cobre, señales 2x2 Mbit/s con líneas de fibra óptica y servicios de distribución CATV y radio.

En el anexo 3 se listan las distancias desde la central hasta la ODT-A, así como las distancias de la ODT-A a las distintas ONU, como se podrá observar las distancias son pequeñas no mayores de 2 Km, desde los terminales de línea óptico OLT-A hasta las unidades de red óptica ONU, por lo cual no se necesitará instalar repetidores, puesto que las OLT y las ONU, están equipados con convertidores optoelectrónicos, y electroópticos con suficiente potencia para alimentar a los abonados, sin necesidad de repetidores. Hasta más de 30 km de distancia.

En el anexo 4 se muestra el diagrama de red que muestra el segundo tramo B, el cual inicia, al igual que el tramo A, en la central Villa de Guadalupe, con un terminal de línea óptico OLT-B que estará equipado también para prestar servicios de telefonía, transmisión de señales de 2x2,34 Mbit/s, con línea de fibra óptica, además tendrá la posibilidad de transmisión de señal de 2Mbit/s utilizando la red de cobre existente, y en el futuro se podrá equipar para prestar los servicios de 155 Mbit/s.

La ODT-B1 que se instalará en la 6a. ave. y 15 calle de la zona 10, a una distancia de 924.30 mts desde la central, se encargará de la distribución de señales para los distintos edificios, através de las unidades de red óptica ONU. Esta ODT-B1 alimentara al edificio Clínica Médica, edificio Marsella y Creaciones y Publicidad, con ONU30 con capacidad para 30 canales de 64kbit/s 12 canales para servicios de ISDN, líneas digitales dedicadas hasta 6 , estará equipada para servicios de 2Mbit/s con línea de cobre y 2x2 Mbit/s con líneas de fibra óptica.

Como se observa en el anexo 4 la ODT-B2 que se instalará en la 3a. ave. y 14 calle de la zona 10, a una distancia de 1,367.40 mts desde la central, alimentará al hotel Quality Suite y hotel Guatemala Fiesta con ONU240 con capacidad para 240 canales de 64kbit/s, 96 canales para servicios de ISDN, líneas digitales dedicadas hasta 36, estará equipada para servicios de 2Mbit/s con línea de cobre y señales de 2x2 Mbit/s con líneas de fibra óptica.

La ODT-B2 también distribuirá señales para el centro comercial Vivacentro, plaza Metropolitana, plaza Rosa y AT&T con ONU30 con capacidad para 30 canales de 64kbit/s 12 canales para servicios de ISDN, líneas digitales dedicadas hasta 6, estará equipada para servicios de 2Mbit/s con línea de cobre y 2x2 Mbit/s con líneas de fibra óptica.

Para este tramo B, también se instalarán dos enlaces directos desde las OLT-B, hasta el edificio Murano y el edificio Topacio Azul, utilizando ONU 240 con capacidad para 240 canales de 64kbit/s, 96 canales para servicios de ISDN, líneas digitales dedicadas hasta 36, estará equipada para servicios de 2Mbit/s con línea de cobre, y señales de 2x2 Mbit/s con líneas de fibra óptica.

En el anexo 5 se listan también las distancias y tipos de ONU que se instalarán y los servicios que se prestarán a cada usuario.

4.2.4.3 Características de los servicios

Con la introducción de la fibra en la red abonado, se podrán aprovechar las grandes ventajas que la fibra óptica presenta como lo es su gran ancho de banda, poca atenuación, pocas interferencias electromagnéticas etc. para implementar nuevos servicios al usuario, como lo son servicios de videoconferencias, transmisión de video, es decir sistemas interactivos y distributivos, prestar los servicios de TV y radio a través de la fibra óptica, además del servicio convencional de telefonía, servicios de ISDN de banda ancha.

Todos estos servicios harán de las telecomunicaciones dar un paso hacia el futuro y presentar al usuario muchas más opciones, opciones claro esta que tendrán un costo, y talves un costo elevado al inicio comparado con el servicio tradicional de telefonía; sin embargo, acorde a los nuevos servicios que se prestarán.

Los equipos que se instalarán utilizarán parte de la infraestructura existente, puesto que se podrán hacer redes híbridas lo cual ayudará a implementar los nuevos servicios con costos más bajos, esto es muy importante para los operadores de la red, que les permite ir creciendo con la infraestructura que tienen y así poder crecer en la prestación de nuevos servicios.

Los servicios que se prestarán con este diseño, a los usuarios en el área elegida serán de inicio servicios interactivos como lo son telefonía, servicios de ISDN, transmisión de datos a alta velocidad, y servicios distributivos como lo es: TV normal y de alta definición, programas de radio, se dispondrá de una red más fiable y segura para los servicio de Internet. Con la fibra óptica se abren nuevas posibilidades de transmisión de informaciones.

Entre las diversas ventajas que se tendrá con respecto a las vías de transmisión de cobre que prestan los actuales servicios, se destaca, principalmente, el gran ancho de banda de transmisión de las fibras ópticas, que en el área de redes urbanas, permite ofrecer nuevos servicios en el campo de la información y de la comunicación. Cabe mencionar a este respecto, que en un futuro se podrán dar los servicios de videoconferencias, videoteléfono, sin necesidad de realizar una nueva red, una multitud de programas de televisión, comunicación entre bancos, negocios, así como también con cada abonado residencial.

4.2.4.4 Plan de implementación del servicio al abonado

La introducción de los servicios de banda ancha es hoy en día una realidad en países desarrollados, este concepto ha crecido lo suficiente para ya no seguir siendo una utopía. Hoy en día se cuenta con una gran variedad servicios.

Para la implementación de los distintos servicios a la red de abonado, se deberán tener en cuenta varios factores como lo son: la disponibilidad de equipos adecuado para la implementación de los servicios de videotelefonía, servicios de distribución, y servicios interactivos, así como la infraestructura necesaria en la red de abonado, como lo es la red de canalización.

Los servicios que se prestaran a través de la fibra óptica no son posibles introducirlos repentinamente, primeramente, no se tiene una red adecuada para prestar los servicios de distribución puesto que la mayoría de la red con la que se cuenta es de cobre.

Aunque los nuevos equipos diseñados son fabricados para prestar servicios con la red existente, se debe tomar en cuenta los costos y compatibilidad con la red existente. se deberán hacer evaluaciones de los requisitos del mercado, claro esta que al inicio el mercado será limitado pues estará dirigido a los abonados de empresa, por que los costos serán altos, pero a medida que se vayan incorporando los abonados residenciales que son la mayoría y se vayan creando nuevos servicios y facilidades para adquirirlos, estos costos disminuirán.

Los diseños de red así como la fabricación de los equipos para enlaces digitales actualmente están orientados a utilizar inicialmente la red existente y la fibra en la red de abonado no es la excepción.

Con lo cual los costos de inicio se reducirán considerablemente para los operadores de red y podrá servir de trampolín para que en los proyectos futuros se introduzca completamente fibra óptica.

Por la facilidad de los equipos que son modulares, el crecimiento de la red se realizarán paso a paso, orientada claro esta a prestar servicios de banda ancha la cual incluye lo servicios de videotelefonía, Internet, servicios interactivos, como lo son compras desde el hogar, transacciones bancarias desde la casa etc.

4.2.5 Alcance y objetivos de la fibra en la red de abonado

El objetivo principal de la aplicación de la fibra en la red de abonado es abrir las puertas para el desarrollo masivo de la aplicación de la fibra óptica en la red de abonado en Guatemala y solucionar la falta servicios esenciales de telefonía, así como crear una infraestructura de red hacia el futuro con los usuarios orientados hacia la evolución de la red.

Los productos de acceso que se fábrican actualmente son el resultado del diseño de una red en estrella o una red óptica pasiva PON y una red óptica activa AON en la cual los componentes del sistema central están compartidos por muchos abonados, y de un subsistema combinado para servicios interactivos y servicios de distribución de banda ancha.

Las arquitecturas descritas anteriormente pretenden realizar pequeños pasos iniciales tales como el concepto de la red a prueba del futuro, incluida la estructura en anillo, en la que dos subsistemas son colocados para servicios distributivos e interactivos sobre una infraestructura común permitiendo una evolución independiente de tecnologías.

Partiendo de una arquitectura de red óptica pasiva PON para servicios distributivos e interactivos en la cual varios abonados podrán conjuntamente usar los componentes de la central, tal como la fibra óptica y transductores optoelectrónicos.

La ventaja principal de la arquitectura seleccionada de red óptica activa para los servicios interactivos y distributivos es que provee la posibilidad de usar fibra, enlaces con radio, así como los pares de cobre existentes a través del sistema HDSL, esta arquitectura elegida de red óptica activa con infraestructura compartida para servicios de distribución e interactivos ofrecerá:

Flexibilidad

De los servicios, capacidad de transmisión a los usuarios y desarrollo físico. Suministro de servicios sobre una base de 64 Kbit/s. Se dispondrá de servicios sobre la base de líneas dedicadas de 2Mbits/s que serán integradas dentro de los puntos de acceso. Esto será particularmente importante para servicios a los usuarios de negocios pequeños y medianos.

Ahorro de costos

La red de abonado de fibra usara menos espacio en los ductos, proveyendo fácil expansión de los enlaces ópticos cerca del abonado, evitando sobrecostos en lo que respecta a la instalación y ejecución de obra civil. Para la transmisión con fibra óptica y para aplicaciones de cobre con HDSL, se usarán los mismos equipos para incrementar paso a paso la longitud del circuito inicial. la inversión inicial será bastante baja pues se combinará la utilización de fibra y cobre a través del sistema HDSL. Utilizando así la infraestructura de cobre existente. Por lo que la inversión podría ser minimizada y facilitar en poco tiempo el retorno de la inversión inicial.

Mejoramiento de la calidad de servicios

El ancho de banda de la fibra es muy grande comparado con los requerimientos individuales del cliente, de este modo una vez instalada la fibra, esta será capaz de suministrar todos los servicios requeridos en el presente y en el futuro. Cambiando, cuando se requiera, solamente los equipos terminales de 2Mbits/s, 34Mbit/s, 140 Mbit/s, STM1 ó más).

Aplicabilidad del ancho de banda

Usando la tecnología de fibra en la red de abonado con la utilización de una unidad de red óptica ONU, la gran parte de la distancia será cubierta con fibra y una pequeña parte será realizada por la tecnología convencional de cobre, por consiguiente las restricciones del ancho de banda de los cables de cobre será un poco reducida por la longitud de cobre entre la ONU y el abonado y esta será muy corta.

Esta longitud corta del cobre puede también ser usado en el futuro para aplicaciones de banda ancha, un ejemplo es la introducción de vídeo sobre demanda usando ADSL, con lo cual se define la transmisión de un decodificador de vídeo, sobre un canal de 6Mbit/s, esta capacidad de transmisión será aplicada fácilmente a través de esta distancia corta de cobre.

4.3 Evolución de la red actual hacia el futuro

Los productos fabricados para la aplicación de fibra en la red de abonado evolucionarán en fase con las nuevas tecnologías. La variedad de requerimientos y puntos de inicio demandan diferentes soluciones con diferente énfasis y diferentes ideas.

La nueva red deberá ser capaz de ofertar los servicios necesarios POTS, ISDN Transmisión de datos, CATV, Vídeo para los clientes, para lo cual se requiere de una moderna red de abonado. Las redes de abonado con fibra óptica reemplazarán a la red de cobre existente principalmente en áreas de alta densidad de abonados con una demanda de nuevos servicios.

La variedad de requerimientos para la red de abonado, así como el punto de inicio, requiere diferentes soluciones con conceptos alternativos y puntos claves y todo eso esta cubierto por los equipos fabricados para la red de abonado actuales.

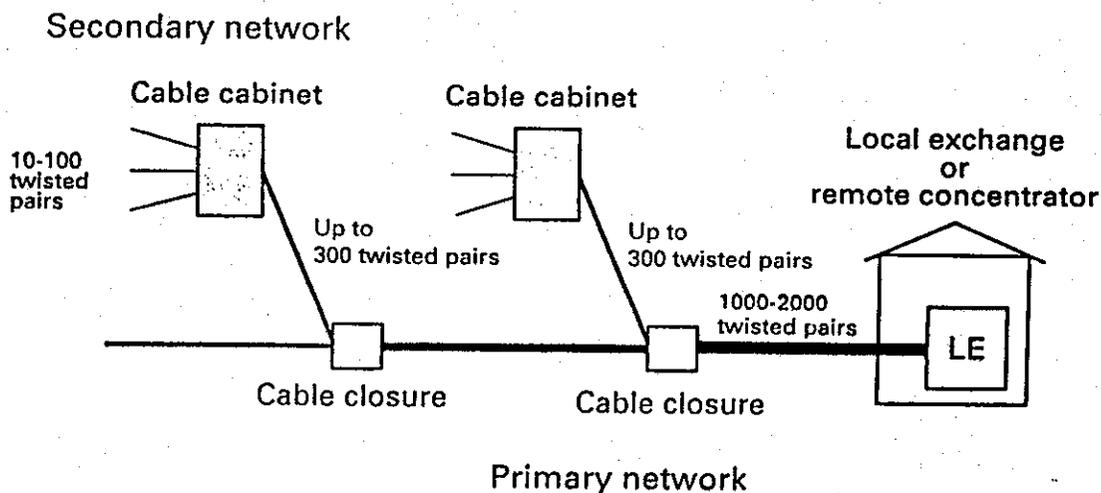
La meta principal aquí, es descubrir una vía económica para convertir la red de cobre en una red de acceso para el futuro con una base de fibra óptica. Por supuesto no es obligatorio pasar por cada una de las fases que ha pasado la evolución de red de abonado, en el caso de una área de instalación nueva, cualquier fase del concepto de la evolución de la red podrá ser usado como punto de partida.

El contorno del concepto fibra en la red de abonado esta basado sobre la fase 1 de redes PDH y fase 2 de redes SDH, sobre una estructura de estrella activa para servicios interactivos(voz y datos) y una arquitectura PON para servicios de distribución CATV. La red de acceso esta basada sobre una plataforma de acceso modular, la cual puede proveer todos los servicios futuros para usar varias arquitecturas de red, del mismo modo que una estrella activa, una arquitectura óptica pasiva. PON red en anillo, transmisiones punto a punto.

4.3.1 Punto de inicio desde la red de cobre existente

La típica red de cobre actual que prevalece hoy en día (figura 33) y la cual forma la columna vertebral de la red nacional, está dividida en una red primaria y secundaria, los cables principales consisten de entre 1,000 y 2,400 pares de hilos que están instalados de la central o concentradores remotos hacia los pozos de derivación (los empalmes de cable).

Líneas con cerca de 300 pares de hilos entonces se subdivide para el gabinete de distribución, para lo cual cables con cerca de 10 hilos de pares irán a los distintos abonados individuales.



Godescha, Andreas. Access network solutions, página 10

Figura 33

Red de cobre convencional

La sección entre la central y el gabinete o distribuidor de cable es realizado principalmente con cables colocados en ductos y es llamada red primaria. En la sección entre el gabinete de cables y el abonado es llamada red secundaria.

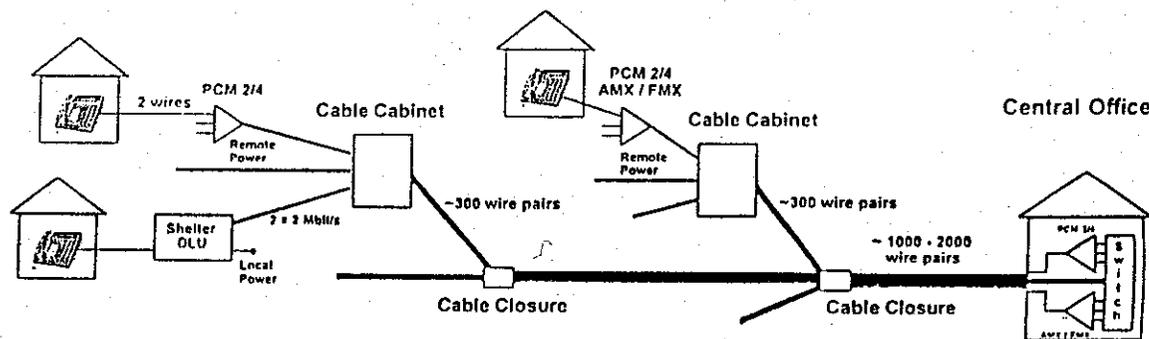
Si la capacidad de una red de cobre esta ya plenamente utilizada la red tiene las siguientes opciones:

- Usar sistemas de ganancia de par
- Colocar nuevo cable de cobre
- Instalar un sistema de fibra óptica.

4.3.2 Sistema de ganancia de par sobre la red de cobre existente

Con el sistema de ganancia de par digital se pueden ampliar los servicios de telefonía a más usuarios, puesto que se utiliza un par de hilos para transmitir simultáneamente dos, cuatro, ocho u once señales diferentes de 64kbit/s, con tecnología HDSL, suministrando una calidad de voz equivalente o mejor comparado con un abonado en un solo par de hilos, utilizando para ello equipos terminales, los cuales se colocan en la central telefónica y en el usuario propiamente.

La finalidad de estos sistemas es aprovechar al máximo las líneas de cobre ya instaladas, claro esta que este sistema de ganancia de par es solamente un alivio temporal puesto que en un momento determinado esta quedara saturada para la prestación de estos servicios existen equipos de PCM 2, PCM4, PCM8, PCM11.



Godescha, Andreas. Access network solutions, página 11

Figura 34

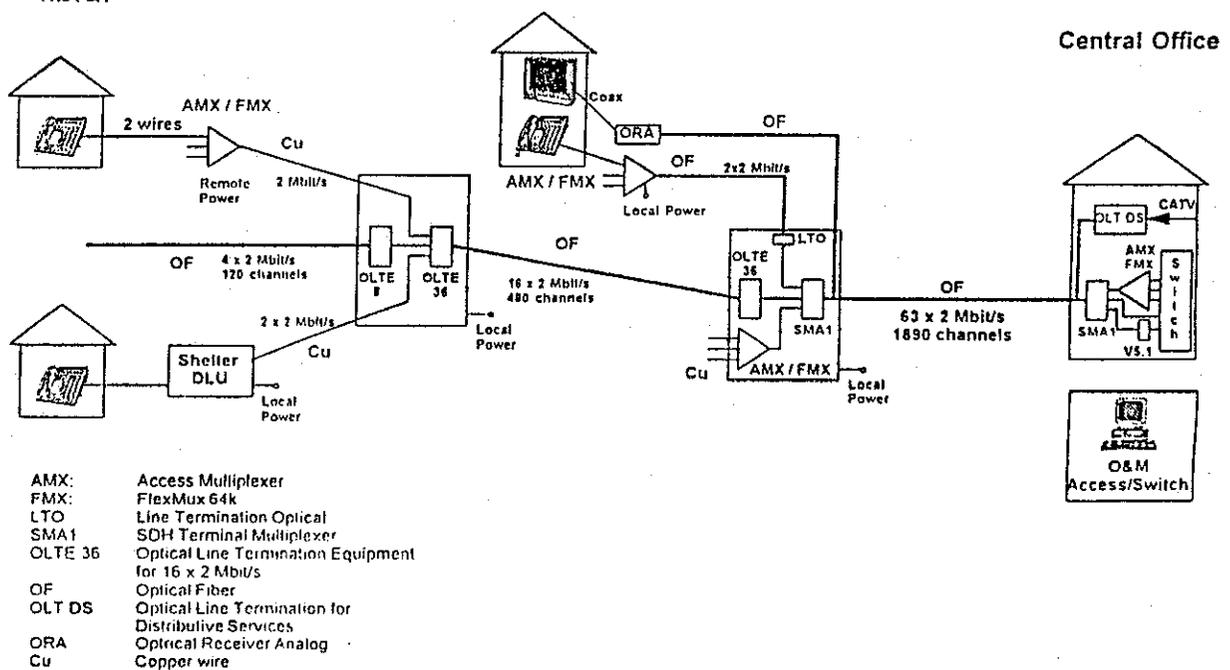
Sistema ganancia de par.

4.3.3 PDH sobre la base de una red de fibra óptica

El primer paso rumbo a la moderna red de acceso, es reemplazar los cables de cobre existentes en la red primaria por cable de fibra óptica. Usando los ductos de cable existentes, (figura 35). La selección apropiada de los equipos terminales de línea para la jerarquía digital pliesicrona PDH (primera fase) hace posible proveer diferentes capacidades de transmisión sobre un único par de fibras. Existen equipos terminales los cuales pueden transmitir señales de 16×2 Mbit/s lo cual es equivalente a 480 canales de voz o datos de 64Kbit/s.

Además, existen equipos con capacidades menores de transmisión 4X2Mbit/s que equivale a 120 canales de voz ó datos de 64Kbit/s. con vista hacia la conversión de una red en anillo SDH, un multiplexor para SDH puede ser usado en esta fase como una entrada en el mundo de la transmisión SDH, cuando se requiera de una capacidad mayor.

Los multiplexores AMX/FMX y los armarios DLU/RDLU pueden ser usados para conectar a los abonados através de la red secundaria de cobre existente. En el caso de que se requiera los equipos multiplexores de AMX/FMX, también proveen transmisión óptica en una parte de las terminales ópticas llamada terminal de línea óptico LTO, para transmisión óptica de 2x2Mbit/s sobre una fibra.



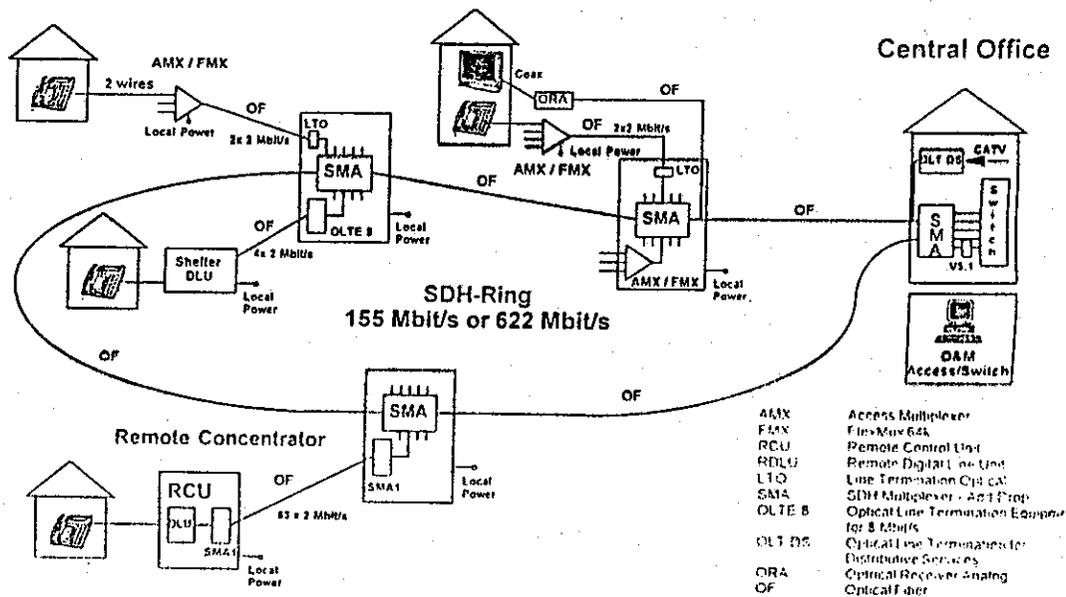
Godescha, Andreas. Access network solutions, página 12

Figura 35

PDH sobre la base de una red de fibra óptica

4.3.4 SDH en una red en anillo con fibra óptica

El incremento de los requerimientos de un ancho de banda para servicios individuales o mixtos para un acceso específico, dictará la necesidad de usar portadores para la jerarquía digital síncrona SDH. Las configuraciones de punto a punto y de anillo y la variedad de protección logrado con tecnologías SDH serán desarrollados en esta fase, para marcar la disponibilidad de red y calidad de los servicios característicos de la demanda. La infraestructura de la red PDH, puede ser fácilmente convertida en una estructura de anillo con SDH, (figura 36).



Godescha, Andreas. Access network solutions, página 13

Figura 36

Configuración en anillo de una red SDH con fibra óptica

Los nodos de acceso están formados por multiplexores Add/dropp para SDH (SMA), lo cual provee la capacidad de transmisión necesaria de STM1 con 155 Mbit/s. El multiplexor SMA1 provee funciones combinadas de multiplexado y de cross-connect con una variedad de interfaces diferentes, ofreciendo un alto grado de confiabilidad. Para la transmisión del lado del multiplexor están integrados interfaces de línea STM1.

Los abonados individuales, con multiplexores AMX/FMX, armarios DLU, pueden ser alimentados desde los nodos de acceso, utilizando fibra óptica ó con cables de cobre. El equipo de transmisión PDH de la fase 1 puede ser usado para estos propósitos.

Los sistemas de distribución de CATV y otros servicios de banda ancha que están basados sobre una red óptica pasiva, pueden ser integrados a la infraestructura de cables de fibra óptica ya instalada.

4.4 Planificación de sistemas de transmisión por fibras ópticas

Puesto que actualmente los costos de tendido constituyen un porcentaje considerable de los costos totales, la planificación, construcción e instalación de una ruta con cobre son proyectos llenos de responsabilidad y son planeados a largo plazo, por supuesto que esto lo hacen los operadores de red ya que la fibra óptica abre para el operador de la red nuevas posibilidades, en lo que respecta a la flexibilidad de red.

Durante la definición del número de pares, en los cables de cobre y de los manguitos de empalme diseñados previamente, tienen que calcularse lo mejor posible las futuras incidencias de tráfico y compararse frente a los costos iniciales de la inversión en un proyecto determinado.

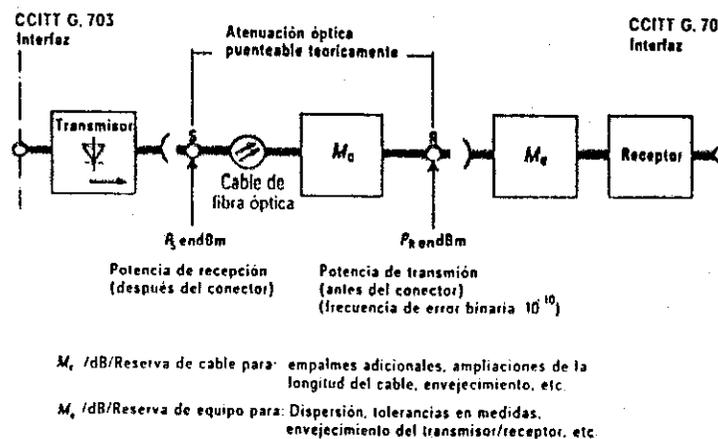
El comportamiento es totalmente diferente con los cables de fibra óptica relativamente ligeros y flexibles. En el caso de que al principio se tiendan en la tierra dos ó más tubos vacíos y a continuación, se introduzca en uno un primer cable de fibra óptica, se podrán corregir posteriormente circunstancias que no se hubiesen considerado al principio mediante la introducción posterior de un segundo cable de fibra óptica, o mediante la sustitución del primero sin necesidad de trabajos de excavación.

4.4.1 Balance de potencia y tramos de regeneración

Para proyectar una ruta de transmisión en forma óptima hay que tomar en cuenta una serie de parámetros de planificación bajo los puntos de vista geográficos, técnicos y económicos. Hay tres puntos principales relacionados con el proyecto: el medio de transmisión, la capacidad de transmisión y la máxima longitud de regeneración que es posible cubrir. Esta regeneración es previamente función de la potencia de transmisión acoplada que disminuye con la suma de los porcentajes de atenuación a lo largo de la ruta, (figura 37).

En la práctica, para el cálculo de la longitud de regeneración máxima es importante un cuidadoso balance de potencia del sistema y de la instalación de cables; dentro de él se considera para el sistema: tolerancias de cualquier tipo, influencias de temperatura y envejecimiento de los equipos, la anchura de banda limitada de transmisión, o bien la dispersión de la fibra de vidrio con un predeterminado ancho de banda espectral de transmisión, la cantidad y atenuación de los empalmes y otros más.

En la instalación de cables la atenuación total está dada, además de por la atenuación de la fibra, por la cantidad y atenuación de los empalmes, incluyendo por supuesto los valores aproximados para futuras y eventuales reparaciones. El punto de transferencia entre sistema e instalación de cables son, por lo tanto, los valores de la atenuación óptica máxima que es posible cubrir a una anchura de banda determinada, o bien la dispersión de la instalación de cables, siempre bajo la consideración de la anchura espectral del transmisor.



Siemens. Telecomunicación digital, página 42

Figura 37

Especificaciones del sistema para fibra óptica

Sólo el balance de potencia es un valioso enunciado cuando se trata de comparar equipos de diferentes marcas, es por lo tanto, un punto muy importante en las decisiones sobre los sistemas utilizados por parte del cliente, en la tabla IV se muestran los parámetros de atenuación más importantes y significativos referidos a los equipos del sistema y a la instalación de cable. Partiendo de la mínima potencia óptica acoplable en la fibra y de la potencia óptica de recepción que todavía es suficiente para una frecuencia definida de error binario $\leq 10^{-10}$, se deducen de la atenuación que teóricamente es factible cubrir, las influencias anteriormente mencionadas (inclusive las reservas del sistema) que hay que considerar en la práctica hasta obtener valores de la atenuación máxima permitida en el cable que garanticen una transmisión segura.

Parte debida al equipo	
Capacidad de transmisión	Mbit/s
Tipo de fibra	
Transmisor óptico	
Potencia óptica en la fibras 1300/1500 nm (después del conector)	dBm
Anchura de banda espectral	nm
Potencia óptica de recepción para una frec. de err. bin. = 10^{-10}	dBm
Atenuación óptica teórica a cubrir	dB
Reserva del sistema para dispersión, tolerancia en las medidas	dB
Atenuación óptica máx. de la ruta que practicamente se puede cubrir	dB
Dispersión por tramo	ps/nm
Ancho de banda por tramo	Mhz
Parte debida al cable	
Atenuación de la fibra a 1300/1550	dB/km
Atenuación media por empalme	dB por empl.
Longitud de tendido	km
Atenuación específica del cable	dB/km
Reserva específica de reparaciones	dB/km
Atenuación específica del cable para la planificación de la ruta	dB/km
Tramos de regeneración puenteables máxima	km

Siemens. Telecomunicación digital, página 42

Tabla IV
Parámetros de atenuación más significativos

Con la ayuda de los parámetros de la instalación de cable (inclusive las reservas del cable) se calculan a partir de ello los tramos de regeneración respectivos. En el anexo 6 se han tabulado la comparación de las fibras multimodo y monomodo así como de diodos led y láser para un sistema de 140 Mbit/s en el cual se puede observar que con la fibra monomodo se alcanzan las mejores condiciones de transmisión en cuanto a menor atenuación y mayor ancho de banda, combinado claro esta con el diodo láser, para la combinación de diodos láser y fibras monomodo la anchura de banda puede despreciarse en la practica puesto que esta entra ampliamente en el rango de los gigahercios.

4.4.2 Capacidad de transmisión y alcance

Con las tecnologías existentes actualmente se pueden instalar sistemas de hasta 565 Mbit/s sobre un portador óptico, y se trabaja en un sistema para aumentar esa capacidad a 2.4 Gbit/s. Hace muchos años se definió para la red interurbana 34 Mbit/s como velocidad de transmisión más baja, pero la creciente necesidad en capacidad de transmisión, el progresivo aumento de la anchura de banda de transmisión de las fibras ópticas, así como la disminución del costo adicional con un sistema de 140Mbit/s, ha hecho que el sistema de 34Mbit/s quedase algo relegado a un segundo plano y sé está pensando utilizar en la red de abonado transmisiones a 34 Mbit/s, esto con la finalidad de llevar más servicios hasta el usuario, claro esta que para esto es necesaria la utilización de la fibra óptica hasta el abonado, y no como un sistema híbrido con el cual se esta iniciando las prestación de los servicios de banda ancha.

Para velocidades de transmisión hasta 140 Mbit/s se dispone de sistemas de fibra óptica para fibras multimodo y monomodo, así como transmisores ópticos que emplean diodos electroluminiscentes led o diodos láser. Como lo muestran, los cálculos, el sistema óptimo económico está situado en la utilización o ejecución con diodos láser y por lo tanto, con el tramo de regeneración mayor posible, en la red de abonado no se tendrán que agregar costos adicionales en lo que respecta a los equipos regeneradores, puesto que las distancias entre los distribuidores ópticos y el abonado pueden llegar a ser menor que 15 Km.

Para la transmisión de 2 y 8Mbit/s en la red de abonado el tramo de regeneración es de aproximadamente 18 Km. Las fibras ópticas monomodo tienen, por ejemplo a 1300 nm una atenuación específica más baja que las fibra multimodo y por ello posibilitan tramos de regeneración mayores. Además con fibra monomodo se pueden ampliar, las capacidades de transmisión de forma más sencilla que con fibra multimodo, mediante el intercambio del primer sistema instalado, puesto que su gran ancho de banda lo permite.

Esta es una de las razones por la cual sé esta utilizando cada día más la fibra monomodo y se tiene pensado llegar hasta el abonado con este tipo de fibra, para prestar una gran variedad de servicios.

Otra reducción de la atenuación específica de la fibra es aportada por el cambio del margen de 1300 nm (segunda ventana óptica) al margen de los 1500 nm (tercera ventana óptica), ya que para cada una de estas ventanas existen hoy en día fibras optimizadas desde el punto de vista de la dispersión.

De tal cuenta que se puede disminuir la exigencia de pureza espectral del transmisor óptico para sistemas de capacidad de transmisión más elevada. Los transmisores ópticos posibilitarán a 1500 nm, con una anchura de banda espectral muy estrecha las transmisiones a alta velocidad arriba de los 2.4 Gbit/s y se llevarán a cabo en la tercera ventana óptica de la fibra monomodo.

4.4.3 Sistemas futuros de transmisión por fibras ópticas

Con la constante investigación y desarrollo en área de las telecomunicaciones, se hace accesible el sistema de 2.4 Gbit/s sobre un portador óptico, una meta que hace pocos años parecía inalcanzable. La pauta la han dado los láseres con espectro de emisión dinámico monomodo con una anchura espectral ≤ 0.5 nm, con una anchura de banda espectral decreciente aumenta también por ejemplo, la retroscibilidad del láser, de forma que el módulo transmisor de la próxima generación tendrá física y tecnológicamente una dimensión todavía más precisa.

Además podrá aumentarse el tramo de regeneración máximo a cubrir alrededor del 30% de los tramos actuales. Las fibras por desplazamiento de dispersión no serán entonces forzosamente necesarias, tampoco las que están optimizadas para ambas ventanas de transmisión.

Otro paso hacia tramos de regeneración todavía mayores se encuentra en la aplicación de la recepción heterodina a la onda lumínica entrante con la frecuencia f , se le superpone la onda de un oscilador local con la frecuencia casi

equivalente f_0 . La potencia total de ambas ondas y la fotocorriente generada por ellas contendrán una componente con la frecuencia diferencial de ambas ondas, que es procesada. Mientras que con una recepción directa, como se efectúa actualmente, solamente es posible una modulación de potencia óptica.

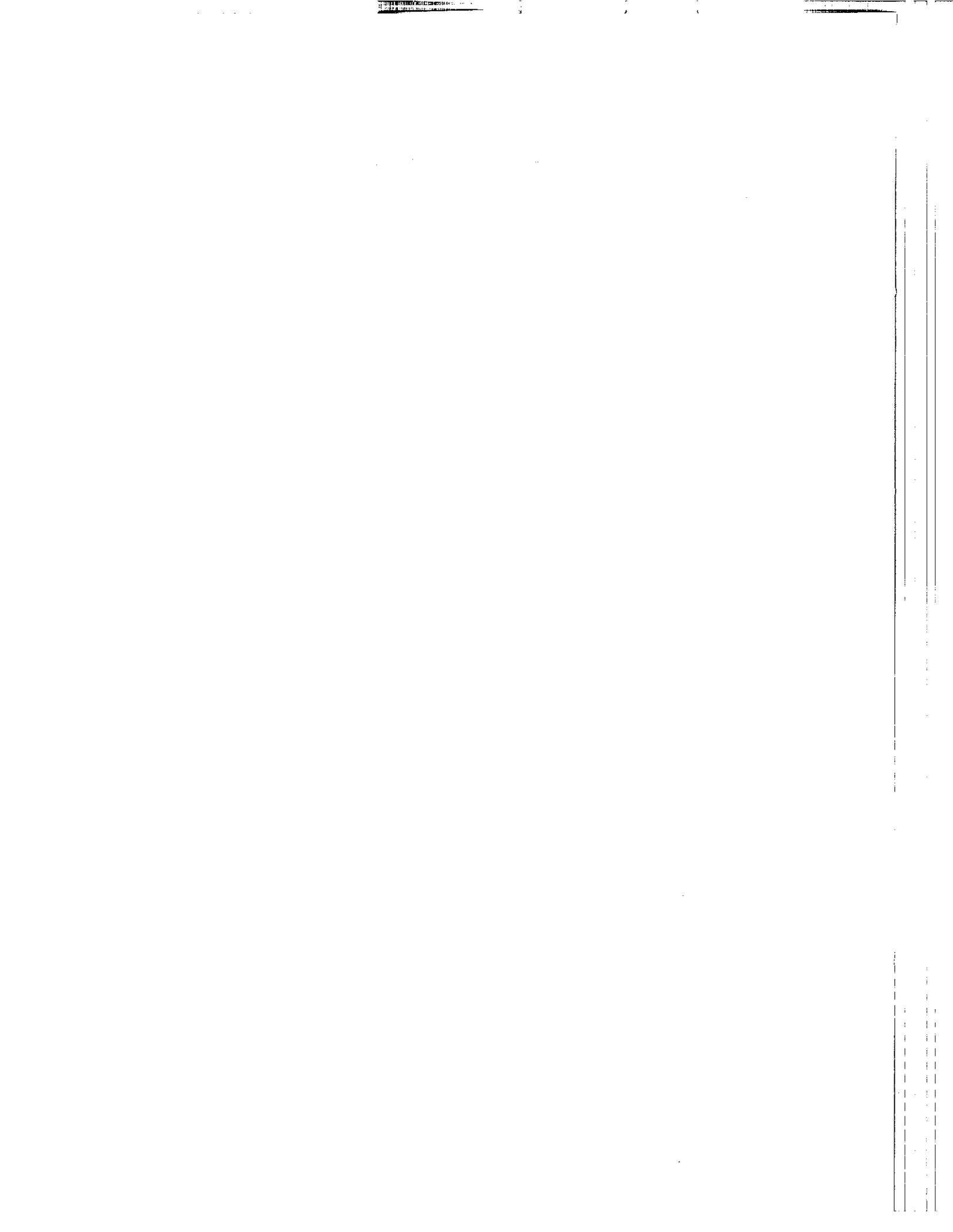
En la recepción heterodina podrán ser empleados todos los procedimientos de modulación conocidos en la tecnología de transmisión. La modulación por desplazamiento de fase PSK es la más indicada, puesto que en ellas los unos y los ceros pueden ser representados por longitudes de onda ópticas de la misma amplitud y frecuencia; sin embargo, de fase contrapuesta. La recepción heterodina posibilitará por lo tanto, una utilización múltiple de la fibra sin equipos adicionales de multiplexado en longitud de onda.

Los sistemas de transmisión futuros con recepción heterodina serán apropiados para cubrir grandes distancias. Su mínima potencia le permitirá una gran separación entre transmisor y receptor.

En el caso en que sea necesaria la regeneración, podrán utilizarse para ello amplificadores láser que amplificarán directamente la señal óptica en una señal eléctrica sin conversión.

Finalmente, se están incluyendo en los planes de desarrollo de las fibras, la utilización en un futuro de fibra con base de fluoruro de una extremada baja atenuación en lugar de las fibras de vidrio actuales.

Los primeros cálculos han mostrado posibilidades de alcanzar, en el margen de longitud de onda de 2 a 10 μm , atenuaciones específicas con un orden de magnitud de 0.01 dB/km e incluso inferiores.



CONCLUSIONES

1. Con la implementación de la fibra en la red de abonado, los operadores de la red podrán responder rápida y flexiblemente a las necesidades del usuario; además, obtendrán la capacidad de ofrecer una gran variedad de servicios.
2. Para las rutas de la red diseñada se tomaron en cuenta los espacios libres de la canalización existente para tener un ahorro en costos iniciales; en la implementación de la fibra en la red de abonado.
3. Una de las razones para la implementación de una red de abonado con fibra óptica es preparar la vía para la introducción, en el futuro, de los servicios de banda ancha.
4. La topología de red óptica activa para la red de abonado se considera la más adecuada para prestar los servicios al abonado ya que se permitirá un crecimiento flexible para la prestación de servicios con fácil integración paso a paso de la fibra óptica en la red de abonado actual.

5. Para la implementación de la fibra óptica en la red de abonado, inicialmente se prestarán los servicios a los abonados de empresa ya que son estos tipos de abonados los que podrán autofinanciarse para poder adquirir estos nuevos servicios y constituirán el motor de arranque para la implementación de fibra en la red de abonado en Guatemala.

6. Con la implementación de la fibra en la red de abonado, no será necesario invertir en una nueva red para prestar nuevos servicios en el futuro, pues con la fibra óptica se cuenta con un ancho de banda mucho mayor a los requerimientos del usuario, por lo que solo será necesario cambiar los terminales ópticos.

RECOMENDACIONES

1. Los proyectos de red de abonado con fibra óptica se deben ejecutar lo más pronto posible, por los beneficios que de éstos se obtendrá, tanto los abonados como los operadores de la red.
2. En la medida de lo posible deben integrarse el sistema de red de abonado con fibra óptica en toda la ciudad capital para aprovechar al máximo las facilidades de las fibra ópticas.
3. Para prestar los distintos servicios de telecomunicaciones al abonado se debe contar con una interconexión entre centrales óptima, una red de abonado bien distribuida y en óptimas condiciones de infraestructura, para que se puedan prestar todos los servicios de alta calidad y confiabilidad a los usuarios.
4. Al implementar el presente proyecto se debe utilizar fibra óptica hasta el abonado, para que el servicio por prestar sea de óptima calidad y se puedan prestar la gran variedad de servicios al usuario y aprovechar al máximo la gran capacidad de transmisión de la fibra óptica.

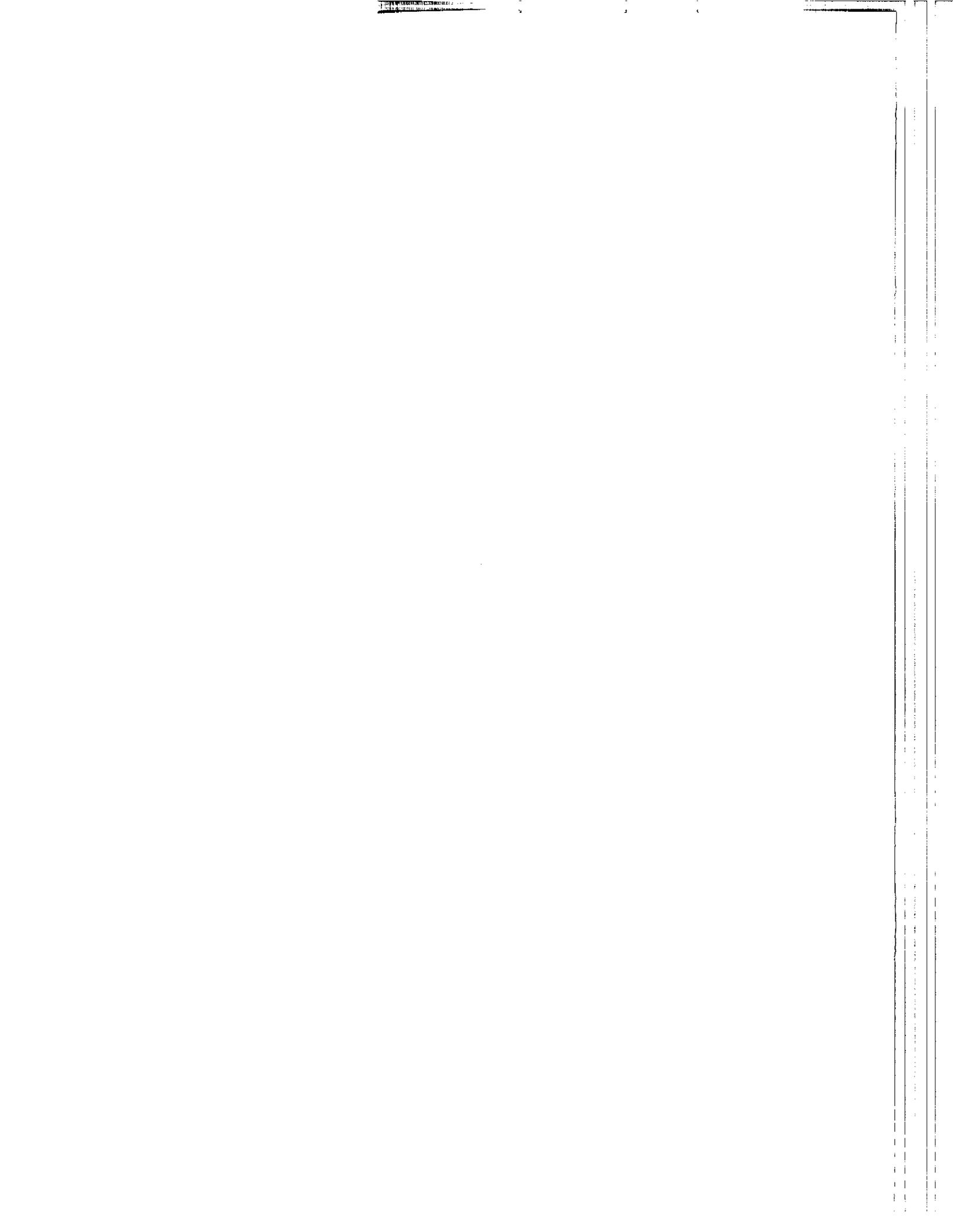
5. Los equipos se deben de instalar con una redundancia de 1 +1, así como los cables de fibra óptica entre los terminales de línea ópticos y las unidades de distribución ópticas, para tener una red más confiable y poder prestar los servicios sin interrupción y así prever posibles fallas.

BIBLIOGRAFÍA

1. **Siemens. Telecomunicación digital.** España: Editorial Marcombo, 1988.
2. **Baues, Peter. Optoelectrónica.** Alemania: Editorial Siemens AG, 1989.
3. **Kashima, Norio. Optical transmission for the subscriber loop.** USA: Editorial Artech House, 1993.
4. **Malke, Günter y Góssig, Peter. Fiber optic cables.** Alemania: Editorial Marcombo, 1987.
5. **Oestreich, Ulrich. Comunicaciones ópticas.** Alemania: Editorial Siemens AG, 1989.
6. **Bielser, Beat y Gminder, Hans. Telecom report international.** Alemania: Editorial Siemens AG, 1993.
7. **Godescha, Andreas. Access network solutions.** Alemania: Editorial Siemens AG, 1994.
8. **Siemens. Fast link.** Alemania: Editorial Siemens AG, 1997

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

ANEXOS

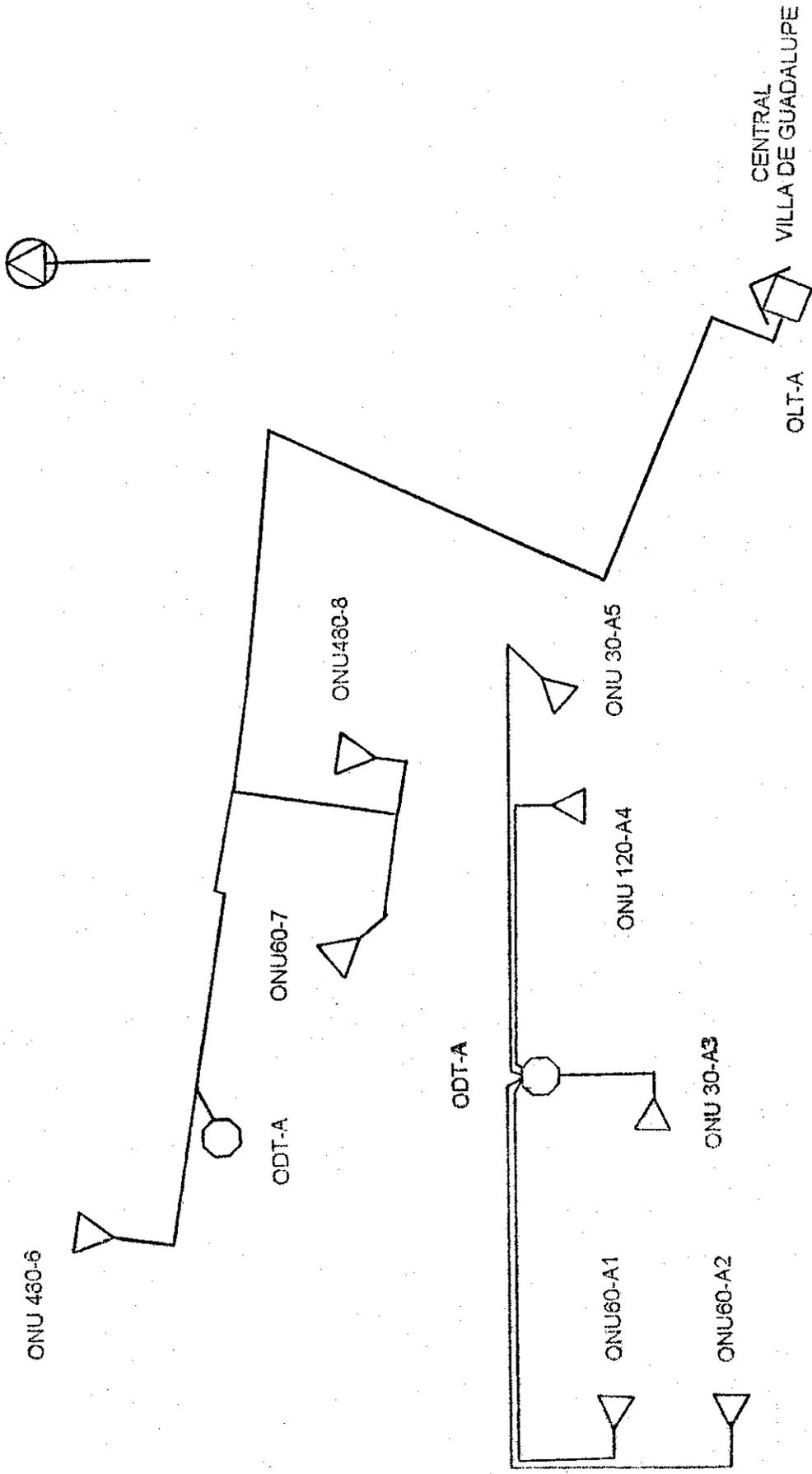


	Conductores de fibra óptica							
	Multimodo G 50/125		Monomodo E 10 125					
	Longitud de onda		Longitud de onda					
	850 nm (...B...)	1300 nm (...F...)	1300 nm (...F...)	1300 nm (...F...)				
Coefficiente de atenuación ¹⁾ máximo	3.5	2.7	2.5	1.5	1	0.7	0.4	0.5
Ancho de banda a 1 km ¹⁾ mínimo	200	400	600	600	800	800	1000	1200
Dispersión en la gama de 1285 a 1330 máximo	-	-	-	-	-	-	-	3.5 (5 a 6)
Apertura numerica Valor nominal Tolerancia admisible	0.2	+/- 0.02	-	0.2	+/- 0.02	-	10	+/- 1
Diámetro de campo Valor nominal Tolerancia admisible	-	-	-	-	-	-	10	+/- 1

¹⁾ Según CCIT no existen indicaciones exactas sobre clases de atenuación y ancho de banda; únicamente se indican gamas como p.ej. de 2.5 a 3.5 dB.

ANEXO 1

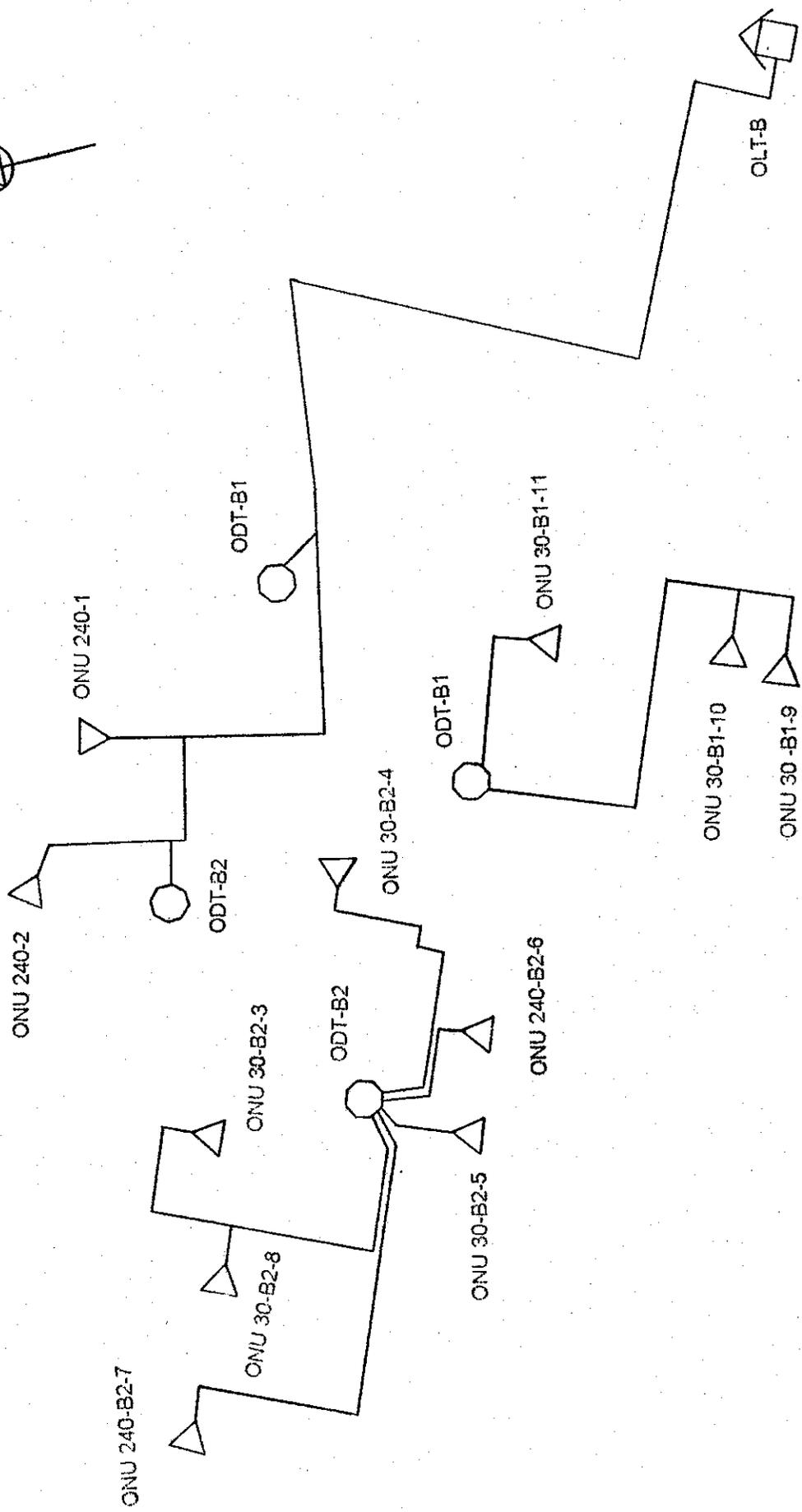
CARACTERÍSTICAS ÓPTICAS Y DE TRANSMISIÓN DE CONDUCTORES DE FIBRAS ÓPTICAS MONOMODO Y MULTIMODO



ANEXO 2
 DIAGRAM DE LA RED, TRAMO A

LUGAR	TIPO DE ONU	DISTANCIA DE ODT A ONU (MTS)	DISTANCIA DE OLT A ONU (MTS)	DIMENSIONES LARGO X ALTO X ARCHO(MM)	SERVICIO
EDIFICIO REFORMA	ONU60-A1	227.90	1.563.60	530 440 260	60 X 64KBIT/S. 24 ACCESO BASICO ISDN INTERFACE 2 MBIT/S. HD SL < 3.5 KM. 2X2 MBIT/S LINEA OPTICA. CATV. RADIO.
CITIBANK	ONU60-A2	274.40	1.610.10	530 440 260	60 X 64KBIT/S. 24 ACCESO BASICO ISDN INTERFACE 2 MBIT/S. HD SL < 3.5 KM. 2X2 MBIT/S LINEA OPTICA. CATV. RADIO.
TELEPRODUCCIONES	ONU30-A3	64.50	1.400.20	530 440 260	30 X 64KBIT/S. 12 ACCESO BASICO ISDN INTERFACE 2 MBIT/S. HD SL < 3.5 KM. 2X2 MBIT/S LINEA OPTICA. CATV. RADIO.
EDIFICIO CENTRO EJECUTIVO	ONU120-A4	137.50	1.473.20	1200 700 400	120 X 64KBIT/S. 48 ACCESO BASICO ISDN INTERFACE 2 MBIT/S. HD SL < 3.5 KM. 2X2 MBIT/S LINEA OPTICA. CATV. RADIO.
PLAZA SANTANDER	ONU30-A5	196.60	1.532.20	530 440 260	30 X 64KBIT/S. 12 ACCESO BASICO ISDN INTERFACE 2 MBIT/S. HD SL < 3.5 KM. 2X2 MBIT/S LINEA OPTICA. CATV. RADIO.
HOTEL CAMINO REAL	ONU480-B		1.311.50	1400 2400 500	480 X 64KBIT/S. 192 ACCESO BASICO ISDN INTERFACE 2 MBIT/S. HD SL < 3.5 KM. 2X2 MBIT/S LINEA OPTICA. CATV. RADIO.
EDIFICIO PALADIUM	ONU60-7		1.145.41	530 440 260	60 X 64KBIT/S. 24 ACCESO BASICO ISDN INTERFACE 2 MBIT/S. HD SL < 3.5 KM. 2X2 MBIT/S LINEA OPTICA. CATV. RADIO.
SDIF. CENTRO EMPRESARIAL	ONU480-B		1.379.31	1400 2400 500	480 X 64KBIT/S. 192 ACCESO BASICO ISDN INTERFACE 2 MBIT/S. HD SL < 3.5 KM. 2X2 MBIT/S LINEA OPTICA. CATV. RADIO.

ANEXO 3
DISTANCIAS DEL TRAMO A



CENTRAL
VILLA DE GUADALUPE

ANEXO 4
DIAGRAM DE LA RED , TRAMO B

LUGAR	TIPO DE ONU	DISTANCIA DE OOT A ONU (MTS)	DISTANCIA DE OLT A ONU (MTS)	DIMENSIONES LARGO X ALTO X ANCHO (MM)	SERVICIO
EDIFICIO MARITIMO	ONU240-1		1,271.20	2200 600 300	240 X 34KBITS, 12 ACCESO BASICO ISDN INTERFACE 2 MBITS, HDSL < 3.5 KM, 2X2 MBITS LINEA OPTICA CATV, RADIO
EDIFICIO TOPADIC AZUL	ONU240-2		1,530.10	2200 600 300	240 X 34KBITS, 12 ACCESO BASICO ISDN INTERFACE 2 MBITS, HDSL < 3.5 KM, 2X2 MBITS LINEA OPTICA CATV, RADIO
CENTRO COMERCIAL MALENITRO	ONU240-3	212.40	1,580.30	530 440 260	30 X 34KBITS, 12 ACCESO BASICO ISDN INTERFACE 2 MBITS, HDSL < 3.5 KM, 2X2 MBITS LINEA OPTICA CATV, RADIO
PLAZA METROPOLITANA	ONU240-4	188.70	1,556.10	530 440 260	30 X 34KBITS, 12 ACCESO BASICO ISDN INTERFACE 2 MBITS, HDSL < 3.5 KM, 2X2 MBITS LINEA OPTICA CATV, RADIO
ATSA	ONU240-5	12.60	1,380.00	530 440 260	30 X 34KBITS, 12 ACCESO BASICO ISDN INTERFACE 2 MBITS, HDSL < 3.5 KM, 2X2 MBITS LINEA OPTICA CATV, RADIO
HOTEL QUALITY SUITE	ONU240-6	50.20	1,418.00	2200 600 300	240 X 34KBITS, 12 ACCESO BASICO ISDN INTERFACE 2 MBITS, HDSL < 3.5 KM, 2X2 MBITS LINEA OPTICA CATV, RADIO
HOTEL MONTANA CAPESTA	ONU240-7	179.30	1,546.00	2200 600 300	240 X 34KBITS, 12 ACCESO BASICO ISDN INTERFACE 2 MBITS, HDSL < 3.5 KM, 2X2 MBITS LINEA OPTICA CATV, RADIO
PLAZA ROSA	ONU240-8	187.20	1,554.60	530 440 260	30 X 34KBITS, 12 ACCESO BASICO ISDN INTERFACE 2 MBITS, HDSL < 3.5 KM, 2X2 MBITS LINEA OPTICA CATV, RADIO
EDIF. CLINICA'S MEDICAS	ONU240-9	390.40	1,314.70	530 440 260	30 X 34KBITS, 12 ACCESO BASICO ISDN INTERFACE 2 MBITS, HDSL < 3.5 KM, 2X2 MBITS LINEA OPTICA CATV, RADIO
EDIFICIO MARSELLA	ONU240-10	289.40	1,212.00	530 440 260	30 X 34KBITS, 12 ACCESO BASICO ISDN INTERFACE 2 MBITS, HDSL < 3.5 KM, 2X2 MBITS LINEA OPTICA CATV, RADIO
CREACIONES Y PUBLICIDAD	ONU240-11	87.20	1,011.50	530 440 260	30 X 34KBITS, 12 ACCESO BASICO ISDN INTERFACE 2 MBITS, HDSL < 3.5 KM, 2X2 MBITS LINEA OPTICA CATV, RADIO

ANEXO 5
DISTANCIA DEL TRAMO B

Parte del equipo		140	
Capacidad de transmisión	Mbit/s	Fibra multimodo	Fibra monomodo
Tipo de fibra		LED	LD
Transmisor óptico			
Potencia óptica en la fibra a 1300/1500 nm (después del conector)	dBm	-21	-5
Anchura de banda espectral	nm	90	10
Potencia óptica d. recep. para una fr. de err. bin= 10-10	dBm	-38	-38
Atenuación óptica teórica a cubrir	dB	17	33
Reserva del sistema para la dispersión, tolerancia en las medidas etc.	dB	4	4
Atenuación óptica máx. de la ruta que prácticamente se puede cubrir.	dB	13	29
Dispersión por tramo	ps/nm	-	300
Ancho de banda por tramo	Mhz	170	120
Parte debida al cable			
Atenuación de la fibra a 1300/1550	dB/km		
Atenuación media por empalme	dB por empl.	0.2 a 0.1	0.1 a 0.005
Longitud de tendido	km	1 a 4	
Atenuación específica del cable	dB/km	0.2 a 0.025	0.1 a 0.0125
Reserva específica de reparaciones	dB/km	0.35 a 0	0.2 a 0
Atenuación específica del cable para la planificación de la ruta	dB/km	1.55 a 1.025	0.7 a 0.4125
Tramos de regeneración puenteables máxima	km	8.4 a 12.7	18.7 a 28.3
			41 a 70

ANEXO 6

COMPRACIÓN DE FIBRA MONÓMODO Y MULTIMODO PARA
UN SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE 140 Mbit/s