



51
Zejeu
**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

FACULTAD DE INGENIERIA

**EMPLEO DE FIBRA OPTICA EN LA RED DE ABONADOS
PARA EL SISTEMA TELEFONICO EN LA CIUDAD
DE MEXICO**

FALLA DE ORIGEN

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

AREA ELECTRICA ELECTRONICA

P R E S E N T A:

JAIME CATTORI LOPEZ

Director de Tesis: Ing. Jesús Reyes García

Co-Director de Tesis: Ing. Narciso Eugenio Aragón



CIUDAD UNIVERSITARIA

1995



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

A) Empresas e Instituciones

A la Facultad de Ingeniería de la UNAM

A la empresa SIEMENS

A Teléfonos de México, en particular al Centro de Investigación y
Desarrollo

A la empresa BARNATEX

B) Personas

Al Físico Héctor Murillo

Al Ing. Jesús Reyes García

Al Ing. Narciso Eugenio Aragón

Al Ing. Raúl Rivera Nivón

C) General

A todas aquellas personas e instituciones que directa o indirectamente aportaron información para la elaboración de este trabajo.

INDICE

Capítulo I: Fibras Ópticas	1
1.1 Introducción General	1
1.2 Historia	6
1.3 Proceso de fabricación	10
1.4 Estirado de la fibra	13
1.5 Conductores de fibra óptica monomodo de vidrio de cuarzo	17
1.6 Tipos de fibras	18
1.7 Influencia de las propiedades de la fibra en el rendimiento del sistema	20
1.8 Tipos de cables	22
1.8.1 Conductores huecos	22
1.8.2 Conductores por grupos	22
1.8.3 Conductores macizos	22
1.8.4 Conductores compactos	23
1.8.5 Cables exteriores	23
1.8.6 Cables interiores	26
1.8.7 Cables especiales	27
Capítulo II: Enlaces Ópticos	28
2.1 Introducción	28
2.2 Comunicaciones analógicas ópticas	29
2.3 Telecomunicación digital	31
2.4 Convertidor analógico - digital	31
2.5 Convertidor digital - analógico	33
2.6 Comunicaciones codificadas	33
2.7 Códigos de línea	34
2.8 Técnicas de modulación digital	35
2.8.1 Modulación por codificación de pulsos	35
2.8.2 Modulación delta	36
2.8.3 Multiplexaje por división de tiempo	36
2.8.4 Multiplexaje por división de frecuencia	38
Capítulo III: Tecnología de enlaces ópticos	40
3.1 Diseño de sistemas	40
3.2 Presupuesto de potencia	41
3.3 Tendido de cables y estructura de la red	42
3.4 Plan de atenuación para una instalación de cables ópticos monomodo	43
3.5 Distintas topologías	44
3.5.1 Enlace punto a punto	44
3.5.2 Redes emisoras y de distribución	45
3.5.3 Redes de Área local	46

3.6	Dispositivos de transmisión y recepción	48
3.6.1	Fuentes ópticas y transmisores	48
3.6.2	Diodos emisores de luz (LED's)	49
3.6.3	Láseres semiconductores	49
3.6.4	Transmisores ópticos	50
3.6.5	Acoplamiento fuente - fibra	50
3.6.6	Circuitos de generación de energía	51
3.6.7	Detectores ópticos y receptores	52
3.6.8	Fotodiodos	52
3.6.9	Componentes receptores	52
3.6.10	Recuperación de la información	53
3.6.11	Tasa de bits erróneos	54
3.6.12	Rendimiento del receptor	55
Capítulo IV: Experiencias mundiales		57
Caso 1:	Tendencias hacia la red óptica transparente (Inglaterra)	57
Caso 2:	Progreso en la tecnología de fibra óptica y su impacto en el futuro (Japón)	59
Caso 3:	Escenario de evolución para un sistema de abonados de fibra óptica para el siglo 21 (Japón)	60
Caso 4:	Aplicación de redes ópticas pasivas (Inglaterra)	63
Caso 5:	Arquitectura y Tecnología de las siguientes generaciones de redes de fibra óptica (USA)	65
Caso 6:	Evolución de las redes ópticas pasivas en el lazo local (Holanda)	67
Caso 7:	Evolución técnica de sistemas FTTH y su impacto en los servicios de telecomunicación (Japón)	70
Caso 8:	Tendencias en el proyecto FTTH (Francia)	74
Caso 9:	Evolución de una red de comunicación en Suecia con vistas a una red óptica de banda ancha de fibra óptica (Suecia)	76
Caso 10:	La evolución de la fibra en el lazo residencial; el enfoque de Southbell.(USA)	77
Caso 11:	Desarrollo de redes locales en el Reino Unido (Inglaterra)	81

Capítulo V: El usuario final en México, enlazarlo vía fibra óptica	86
5.1 Introducción	86
5.2 Situación actual del servicio telefónico en México	87
5.3 Experiencia de TELMEX en el uso de fibra óptica	89
5.4 Redes ópticas flexibles	90
5.5 Propuesta para implementar una red óptica flexible hasta el abonado o sus premisas	93
5.6 Criterios de solución	94
5.7 Implementación de las alternativas propuestas	95
5.8 Tecnología para enlazar al abonado por medio de fibra óptica	97
5.8.1 Características del sistema propuesto	98
5.8.2 Ventajas y características técnicas	100
5.8.3 Topología	100
5.8.4 Áreas de uso	100
5.8.5 Tipos de usuarios	100
5.8.6 Características de funcionamiento	100
5.8.7 Características de operación y funcionamiento	101
5.8.8 Alarmas	101
5.8.9 Capacidad y modularidad	101
5.8.10 OSAN: Equipo de control	101
5.8.11 Interfaces externas	101
5.8.12 ONT: Terminación de red óptica	102
5.8.13 Operación y mantenimiento	102
5.8.14 Subsistemas de operación y mantenimiento	102
5.8.15 Interfaces de operación y mantenimiento	102
5.8.16 Propuesta general de la arquitectura de operación y mantenimiento	103
5.8.17 Pruebas de par metálico y de tarjeta de línea	103
5.8.18 Descripción del sistema de banda ancha	104
5.8.19 Características generales	104
5.8.20 Red de referencia	104
5.8.21 Arquitectura general	105
5.8.22 Integración entre el sistema de banda estrecha y el de banda ancha	105
5.8.23 Hechos y retos del sistema	106
5.8.24 Versiones y recomendaciones para utilizar el sistema	108
5.8.25 Aplicación de los elementos BONT	108
5.8.26 Parámetros ópticos	108
5.8.27 Margen de enlace óptico	109

5.9	Justificación económica	109
5.10	Consideraciones demográficas	115
5.11	Aplicación del modelo formal	116
Capítulo VI: Conclusiones		131
6.1	Generalidades	131
6.2	Ventajas de la propuesta	132
	6.2.1 Sistema de transporte	132
	6.2.2 Terminación óptica de red	132
	6.2.3 Costo	133
	6.2.4 Potencia	133
	6.2.5 Confiabilidad	133
	6.2.6 Sistema de banda ancha	133
6.3	Evolución de los sistemas de fibra en lazos	134
6.4	Consideraciones a efectuar en la introducción de sistemas de fibra en las redes de acceso	134
6.5	Comunicación satelital y sistemas ópticos de comunicación	136
6.6	Sistemas de comunicación por medio de solitones	137
Bibliografía		138

Glosario de términos
utilizados a lo largo
de la tesis

ATM	Asynchronous Transfer Mode Modo de transferencia asíncrono	POTS	Plain Old Telephone Services Servicios de telefonía básica
BER	Bit Error Rate Tasa de bits erróneos	ROF	Red Óptica Flexible
BxL	Producto capacidad de bits x longitud	RZ	Return to Zero Regreso a cero
BONT	Broadband Optical Network Termination Terminal de red óptica de banda ancha	TDM	Time Division Multiplexing Multiplexaje por división de tiempo
BPON	Broadband Passive Optical Network Red óptica pasiva de banda ancha	TDMA	Time Division Multiple Access Acceso múltiple por división de tiempo
CAD	Computer Aided Design Diseño asistido por computadora	TMN	Telecom Management Network Red de manejo de telecomunicaciones
CATV	Cable Television Televisión por medio de cable	TPON	Telephony Over a Passive Optical Network Telefonía a través de una red óptica pasiva
DP	Distribution Point Punto de distribución	VLSI	Very Large Scale Integration Integración en muy alta escala
EDFA	Erbium Doped Fiber Amplifier Amplificador de Fibra dopado con erbio	WDM	Wavelength Division Multiplexing Multiplexaje por división de longitud de onda
FDM	Frequency Division Multiplexing Multiplexaje por división de frecuencia		
FITL	Fiber in the Loop Fibra en el bucle de abonado		
FO	Fibre Optics Fibra Óptica		
FTTC	Fiber to the Curb Fibra hasta la banqueta		
FTTB	Fiber to the Building Fibra hasta el edificio		
FTTH	Fiber to the Home Fibra hasta la casa		
FTTO	Fiber to the Office Fibra hasta la oficina		
FTTZ	Fiber to the Zone Fibra hasta la zona		
ISDN	Integrated Services Digital Network Red Digital de Servicios Integrados		
LAN	Local Area Network Red de Área local		
LED	Light Emitting Diode Diodo emisor de luz		
LIM	Line Interface Module Módulo de interfase de línea		
NRZ	Non Return to Zero (código de línea) No hay regreso a cero		
ONT	Optical Network Terminal Terminal de Red Óptica		
O & M	Operación y Mantenimiento		
OSAN	Optical Subscriber Access Node Nodo óptico de acceso de abonado		
PCM	Pulse Coded Modulation Modulación por codificación de pulsos		
PON	Passive Optical Network Red óptica pasiva		

CAPITULO I: Fibras Opticas

1.1 Introducción General

Desde el punto de vista socio-económico, a las telecomunicaciones les corresponden una importancia capital dentro de la sociedad humana. Las telecomunicaciones forman la infraestructura de la mayor parte de las actividades sociales y económicas. Sin esta infraestructura resulta muy difícil crear las condiciones sociales, económicas y políticas necesarias para que cualquier sociedad se involucre de lleno en la siguiente era en la red de las telecomunicaciones mundial.

Sin embargo, los sistemas y equipos de telecomunicaciones no se pueden ordenar bajo la misma categoría que otros productos industriales. Las telecomunicaciones incorporan a la sociedad a todas las actividades humanas, por lo tanto éstas deben estar bajo el control y conciencia total de toda la sociedad. Las telecomunicaciones también contribuyen a la integridad y soberanía de una nación, así como a la seguridad nacional por lo que también implican un papel político. Es inevitable por lo tanto que el nivel de desarrollo de las telecomunicaciones justifique el grado de desarrollo global de una nación.

Desde el punto de vista técnico, la digitalización de las señales, así como la miniaturización de los componentes electrónicos, han logrado integrar la función de las telecomunicaciones en un rubro común denominado C&C (Comunicaciones y Computadoras) derivando lo anterior en la tecnología de la información la cual basa su existencia en la conjunción que se da entre la informática junto con la tecnología de las comunicaciones tanto desde el punto de vista material como desde el punto de vista de programación.

Las telecomunicaciones llevan a cabo un papel indispensable en la sociedad. No es de sorprender que todas las naciones, incluidas aquellas en desarrollo, dispongan de un gran interés en la instalación y mantenimiento de su infraestructura primaria de telecomunicaciones. Las sociedades orientadas a la información están emergiendo como consecuencia de las que alguna vez fueron sociedades agrícolas y posteriormente industriales. Ahora es seguro que las estructuras socio-económicas y políticas de la siguiente era en el calendario humano mantendrán a la tecnología de la información en su centro.

En un plano de menor escala se está dando un cambio orientado a la tecnología de la información. En todo el mundo, las empresas están pasando de una estructura intensiva en mano de obra hacia una

estructura intensiva en tecnología. Los sectores sociales como son financiero, de distribución, de manufactura así como gubernamental, de salud y de educación ya dependen fuertemente de la tecnología de la información.

En la industria manufacturera, por ejemplo, la competencia por el desarrollo tecnológico logrará acortar los ciclos de vida de procesos y productos. Desde el lado del consumidor, éste está diversificando sus necesidades, por lo tanto los procesos de manufactura deberán adecuarse a dicha flexibilidad para lograr satisfacer estas necesidades. Al final, cuando el cliente adquiera un bien, estará comprando no sólo el producto sino aunado a éste, estará comprando un concepto, que en realidad no es otra cosa más que información.

En las sociedades de la información, las telecomunicaciones ya se utilizan para conducir negocios a control remoto. En aquellas industrias que tengan un control expandido sobre áreas geográficas, estos sistemas les facilitan los controles de proceso integrales y reducirán además el tiempo requerido para llevar a cabo sus funciones características.

En la sociedad del siglo XXI, existirán muchos elementos que facilitarán una mejoría del nivel de vida de la sociedad. Sin duda alguna, uno de los primeros pasos en esa dirección es el desarrollo e implementación de sistemas de comunicación más eficientes. La idea de este esquema consiste en que a través de las telecomunicaciones, la gente logrará atacar los problemas que aquejen a la sociedad de una manera más rápida, más directa y más eficiente.

Hace un siglo, el telégrafo y el teléfono conectados a través de un cable de cobre o por medio de radioenlaces, proporcionaron durante todo un siglo la base invariable de la red de telecomunicaciones mundial. Si bien es cierto que la técnica de transmisión por medio de estas líneas apareció siempre con nuevas mejoras técnicas, no hubo, empero, innovaciones revolucionarias. Recién con el desarrollo del láser semiconductor y de la fibra óptica, así como con la progresiva digitalización de la década pasada, se inicia una transformación en las comunicaciones: señales eléctricas que pudieron ser convertidas en ópticas y conducidas a través de mayores distancias en fibras finísimas de vidrio de cuarzo.

Analizando retrospectivamente las experiencias obtenidas hasta ahora con el medio aún nuevo, se podrá ingresar confiadamente en la nueva era de las comunicaciones. Nuevos impulsos serán dados en el campo de los cables por la fibra óptica como alternativa respecto al conductor de cobre y por los conversores optoelectrónicos para el acoplamiento de los diversos sistemas transmisores.

El uso de las fibras ópticas para transmisión de información se ha extendido durante la década de los 80's y es evidente dada la instalación de redes de telecomunicación por fibra óptica en el mundo

entero. Lo anterior ha quedado también demostrado a través de la instalación de cables submarinos de fibra óptica a través de los océanos Atlántico y Pacífico. El avance tecnológico en el diseño de sistemas de comunicación por medio de fibra óptica ha sufrido un desarrollo vertiginoso durante la década de los 80's. La tendencia está continuando en la década de los 90's y se encuentra respaldada por los avances en investigación y desarrollo que se están logrando en estos años. Entre estos desarrollos se encuentran los sistemas de transmisión luminosos multicanal, los amplificadores de fibra dopada (EDFA) y los sistemas de comunicación de solitones. Un ejemplo de como los sistemas de comunicación de fibra óptica están revolucionando nuestra sociedad, se da en el campo de las señales de televisión transmitidas por cable para la distribución analógica de la señal. Esta substitución de los cables coaxiales tradicionales por cables de fibra óptica, puede aumentar la capacidad de transmisión haciendo posible transmitir cientos de canales de video a cada abonado. También nos permite llevar a cabo la transición de señales analógicas a digitales así como el eventual acceso a las señales de televisión de alta definición. Otro ejemplo palpable es la red digital de servicios integrados (ISDN) cuya aceptación genérica tendrá profundos efectos sobre la industria de las telecomunicaciones. Por lo anterior, las fibras ópticas serán parte fundamental de la siguiente era de la información.

Aunado al desarrollo de las telecomunicaciones, existe un hecho que por su naturaleza provee a las telecomunicaciones de un punto fundamental de apoyo: la microelectrónica. La tecnología VLSI permite fabricar elementos con una longitudes de compuerta de 0.3 μm . Incluso se preve obtener dimensiones de 0.1 μm para 1995:

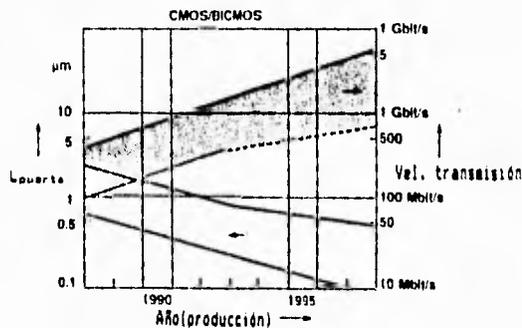


Figura # 1.1

El diseño tan pequeño en la estructura de estos componentes permite:

En este caso, tampoco se han alcanzado los límites de máximo rendimiento posible. En principio, los haces luminosos tienen una enorme capacidad de transmisión dado que su frecuencia es diez mil veces mayor que la de las ondas electromagnéticas actualmente en uso. En la práctica, estos anchos de banda tan amplios son transmitidos por medio de fibras ópticas, sin embargo, el rendimiento de la transmisión todavía se ve mermado por las relativamente bajas velocidades de respuesta de los elementos optoelectrónicos así como las de los elementos de procesamiento electrónicos. Una de las esperanzas básicas está constituida por el desarrollo de los semiconductores que permitirán desarrollar los elementos básicos de transmisión y recepción que mejor logren la finalidad de enlazar con mayor eficiencia vía fibra óptica a los usuarios que así lo requieran.

La tecnología de las comunicaciones ha avanzado a pasos agigantados en las décadas recientes. La década de los 90's permitirá el acceso a nuevas perspectivas tecnológicas. Estos desarrollos se darán en mayor grado en la expansión de las comunicaciones, de tal suerte que se constituyan en un producto de consumo común. También se espera lograr sistemas de comunicación más eficientes para abaratar los costos y mejorar así la relación eficiencia / costo de las comunicaciones. Internacionalmente los expertos coinciden que el objetivo fundamental a largo plazo es la implementación universal de una banda de RDSI basada en fibras ópticas por medio del modo de transferencia asíncrono (ATM).

Dado el desarrollo gradual de los servicios de telecomunicaciones futuras y la necesidad de lograr beneficios económicos de los sistemas existentes de telecomunicaciones, el camino a seguir implica no sólo un cambio sino mejor dicho una evolución de estos sistemas para convertirlos en herramientas más efectivas de comunicación.

El ritmo con el que esta evolución se presente depende de un número de factores; por un lado, la innovación será una consecuencia obligada de la multiplicidad de opciones tecnológicas existentes así como de la creciente competencia existente en el mercado de las comunicaciones. Por otro lado, esta razón de cambio se verá gobernada por las propias necesidades que se presenten en cada caso así como el tiempo requerido por las naciones para crear normas y estándares competitivos a nivel global.

Sin embargo, en la presente década, se darán una serie de cambios que impulsarán a las telecomunicaciones a lograr un rango prominente en la sociedad moderna, creando así las condiciones en las cuales las demandas de la población al respecto de telecomunicaciones se verán enfrentadas de manera eficiente y a menores costos. Las telecomunicaciones por medio de fibras ópticas serán un claro ejemplo de lo anterior.

1.2 Historia

El uso de la luz para fines de comunicación se remonta a la antigüedad si interpretamos las comunicaciones en un sentido muy amplio. Muchas civilizaciones han usado señales de fuego y humo para informar de sucesos o hechos individuales (victorias guerreras, designación de pontífices, etc.). Desde ese entonces, hasta la época actual, han surgido avances significativos al respecto.

Esencialmente la misma idea fue usada al final del siglo XVIII al hacer uso de lámparas de señalización, banderas y otros dispositivos de semáforo. La idea fue perfeccionada en 1792 cuando Claude Chappe sugirió la transmisión de mensajes codificados por un medio mecánico a través de distancias largas (aprox. 100 km) utilizando relevadores o regeneradores intermedios. El papel de la luz consistió en convertir al mensaje en una señal visible para que cada estación regeneradora pudiera interceptar el mensaje. Este tipo de sistemas de comunicaciones era sumamente lento. De hecho, en la terminología actual, la velocidad de transmisión era menor a un bit por segundo.

El advenimiento de la telegrafía en los años de 1830, reemplazó el uso de la luz por el de la electricidad, lo que dio inicio a la era de las comunicaciones eléctricas. La velocidad de transmisión se pudo incrementar hasta aproximadamente 10 b/s utilizando nuevas técnicas de codificación como la clave Morse. Asimismo, el uso de estaciones regeneradoras intermedias permitió la comunicación sobre distancias más largas (aproximadamente 1000 km). De esta manera, la primera comunicación transatlántica por medio de la telegrafía tuvo lugar en 1866. Curiosamente, la codificación telegráfica de Morse utiliza un esquema binario de 2 tipos de pulsaciones comúnmente conocidos como puntos y rayas que difieren en la duración.

En 1870, o sea antes del descubrimiento de Bell, el físico inglés John Tydall señaló una solución del tema demostrando que un chorro de agua era capaz de conducir la luz. Su experimento se basaba en el principio de la reflexión total que actualmente se utiliza en los conductores de fibra óptica. Después de los primeros intentos en el campo de modulación de la luz efectuados por Bell y por Tydall, sólo en el año 1934 el norteamericano Norman R. French obtuvo una patente que cubría un sistema telefónico óptico. En la misma describía que las señales de voz eran transmitidas por una red de conductores ópticos (formados por varillas rígidas de vidrio u otro material similar) con un pequeño coeficiente de atenuación para la respectiva longitud de onda del servicio.

La invención del teléfono, en 1876 consistió en un invento mayúsculo así como un cambio marcado por la transmisión eléctrica de señales analógicas basada en un flujo de corriente eléctrica variable. De esta manera, las técnicas eléctricas de transmisión analógica dominarían los sistemas de comunicación a lo largo de un siglo.

El desarrollo mundial de redes telefónicas en el siglo 20, logró gran cantidad de avances en el diseño de sistemas de comunicaciones eléctricas. Tal es el caso del reemplazo de pares telefónicos por cables coaxiales, el cual permite el aumento considerable en la capacidad del sistema. El primer sistema de cable coaxial fue puesto en operación en el año de 1940 y consistió en un sistema de 6 MHz capaz de transmitir 300 canales de voz o bien un canal de televisión. El ancho de banda de este tipo de sistemas estaba limitado por la frecuencia de transmisión del cable coaxial, el cual ocasiona pérdidas las cuales se incrementan rápidamente a partir de los 10 MHz.

Esta limitación causó el desarrollo de sistemas de comunicación por medio de microondas en los cuales se utiliza una onda portadora de entre 1 y diez GHz para transmitir señales utilizando esquemas de modulación apropiados. El primer sistema de microondas fue puesto en operación en 1948 y trabajó a una frecuencia de 4 GHz. A partir de esa fecha, tanto los sistemas de microondas como los coaxiales han evolucionado y son capaces de operar con unas velocidades de 100 Mb/s. El sistema coaxial más avanzado puesto en servicio en 1975 opera a una velocidad de transmisión de 274 Mb/s. Un aspecto importante que merma las ventajas de este tipo de sistemas es el espacio entre repetidores (1 km), el cual incide directamente sobre el costo de los sistemas coaxiales. Los sistemas de microondas, permiten un espaciamiento mayor entre repetidores, aunque su capacidad de transmisión está limitada por la frecuencia de la onda portadora.

La capacidad de un sistema de comunicación está comúnmente representada por el producto capacidad de bits - distancia ($B \times L$) en donde B es la capacidad de bits transmitidos por el sistema y L es la distancia entre repetidores. El producto $B \times L$ ha aumentado a través de avances tecnológicos en el último siglo y medio. En los años 70's, existieron sistemas de comunicación caracterizados por un $B \times L$ de 100 [(Mb/s)/km] pero estaban restringidos por limitaciones fundamentales.

Durante la segunda mitad del siglo 20, se encontró que el producto $B \times L$ podía ser aumentado en su magnitud si se utilizaban señales ópticas como portadoras. Sin embargo, no se disponían ni de los medios generadores de la señal así como de los elementos para transmitir dicha señal. La invención del láser en 1960 solucionó el primer problema, por lo que se desde entonces se prestó atención al diseño de un laser con fines de comunicaciones. Muchas ideas se produjeron a lo largo de los años 60's, la más notable al respecto de confinar un haz luminoso utilizando una secuencia de lentes gaseosas. Además en 1966, se sugirió el uso de las fibras ópticas como guíasondas óptico debido a que eran capaces de transmitir las señales tal como los cables de cobre eran capaces de transmitir los electrones. El principal problema al respecto eran las pérdidas tan grandes generadas por las fibras ópticas (1000 dB/km). Un hecho de singular importancia ocurrió en 1960 cuando

se logró una atenuación de 20 dB/km para una longitud de onda cercana a 1 μm . Al mismo tiempo se demostró el uso de láseres del tipo semiconductores GaAs operando a temperatura ambiente.

El uso comercial de sistemas luminosos siguió muy de cerca el desarrollo e investigación al respecto. Después de muchas pruebas de campo, se empezaron a instalar sistemas de comunicación vía fibra óptica en 1978 que operaban cerca de la región de 0.8 μm . Operaban a una velocidad de 50 a 100 Mb/s y permitían un espaciamiento entre repetidores del orden de 10 km.

Durante los años 70's resultó claro que la distancia entre repetidores podía incrementarse sobre todo si el sistema de transmisión operaba en la región cercana a 1.3 μm ya que en dicha región las pérdidas de la fibra se encuentran alrededor de 1 dB/km. Además, en esta región, la dispersión de las fibras ópticas es mínima. Esta característica impulsó el desarrollo de láseres semiconductores de InGaAsP así como de elementos detectores que operaran en la zona de 1.3 μm . Esta tecnología fue demostrada en 1970.

La segunda generación de sistemas de comunicación por medio de fibras ópticas fue posible en los 80's y permitió un espaciamiento entre repetidores sobre los 30 km. Sin embargo, la capacidad de transmisión de estos sistemas estaba limitada a los 100 Mb/s debido a la dispersión modal en fibras multimodales.

Esta limitación fue eliminada con el uso de fibras monomodo. En 1981 un experimento de laboratorio logró demostrar la transmisión de 2 Gb/s sobre una distancia de 44 km. A partir de este hecho, el uso e instalación comercial de sistemas monomodo se multiplicó. En 1987, era un hecho el uso de sistemas de comunicación vía fibra óptica operando en longitudes de onda de 1.3 μm y con rangos de transmisión de 1.7 Gb/s así como espaciamientos entre regeneradores de 50 km.

A pesar del costo inicial de operación tan alto de este tipo de sistemas, los mismos resultan más económicos al operar que los sistemas por medio de cable coaxial los cuales operan a velocidades de 100 Mb/s con menores espaciamientos entre repetidores (menores a 10 km).

El espaciamiento entre repetidores de este tipo de sistemas de comunicación está limitado por las pérdidas de la fibra generadas a 1.3 μm (valor típico de 0.5 dB/km). Las pérdidas por fibra de sílice son mínimas en la región de 1.55 μm . Sin embargo, la introducción de la tercera generación de sistemas de comunicación ópticos operando a 1.55 μm fue retrasada considerablemente debido a la dispersión de la fibra cerca de los 1.55 μm . Los láseres semiconductores InGaAsP no pudieron ser utilizados debido a las ampliaciones de los pulsos producto de las oscilaciones simultáneas de varios modos longitudinales. Este problema de dispersión puede ser solucionado utilizando fibras diseñadas para evitar dispersiones cercanas a los

1.55 μm o bien limitando el espectro de emisión del láser a un solo modo longitudinal. Ambas soluciones fueron estudiadas durante los años 80's. Para 1985, experimentos de transmisión a nivel laboratorio mostraron la posibilidad de transmitir información con capacidades de 4 Gb/s a lo largo de distancias de hasta 100 km.

La tercera generación de sistemas de 1.55 μm operando a 2.4 Gb/s se utiliza comercialmente desde 1990. Este tipo de sistemas es capaz de operar en niveles superiores a los 10 Gb/s utilizando un diseño muy cuidadoso en el diseño de los láseres semiconductores así como de los receptores optoelectrónicos. El desarrollo de sistemas de 10 Gb/s se encuentra en desarrollo en varios laboratorios. Los factores limitantes son el de desplazamiento en frecuencia y el de encendido ocasional de un modo secundario en el láser; ambos causan errores en presencia de la dispersión en la fibra. El mejor resultado se obtiene utilizando fibras acondicionadas para la dispersión así como láseres monomodo longitudinales.

La cuarta generación de sistemas de transmisión luminica está enfocada a un aumento de la capacidad de transmisión a través de multiplexaje por división de frecuencia así como en el aumento de los espaciamientos entre repetidores utilizando amplificación óptica. Este tipo de sistemas hace uso eventual de esquemas de detección homodinos o heterodinos, en cuyo caso se conocen como sistemas coherentes de comunicación. Los sistemas coherentes han sido estudiados desde los años 80's y su utilidad ha sido demostrada en muchos experimentos de laboratorio. En uno de estos experimentos fue posible transmitir 100 canales de 622 Mb/s los cuales fueron multiplexados utilizando un arreglo en estrella para llevar la información hasta 50 km con una diafonía intercanal mínima. En otro experimento, se trabajó con un canal coherente independiente operando a 2.5 Mb/s y fue comunicado a través de una distancia de 2223 km sin regeneración de señal; las pérdidas inherentes a la fibra fueron compensadas utilizando amplificadores de fibra dopados con erbio cada 80 km. Hay que mencionar que el uso de la detección coherente no es un prerequisite para sistemas luminicos que utilicen amplificadores ópticos. Las técnicas convencionales (no coherentes) han demostrado su uso en transmisiones de laboratorio sobre 4500 km a 2.5 Gb/s y sobre 1500 km a 10 Gb/s. Otro experimento logró demostrar la posibilidad de transmitir a distancias mayores de 21,000 km a 2.4 Gb/s y sobre 14,300 km a 5 Gb/s utilizando una técnica conocida como configuración recirculante de ciclo cerrado (recirculating closed loop configuration). Desde 1990, los amplificadores ópticos han empezado a revolucionar el campo de las comunicaciones por medio de fibras ópticas.

La quinta generación de sistemas de comunicación por medio de fibras ópticas se encuentra ya en estudio y en desarrollo. Se basa en un concepto nuevo: los solitones. Se trata de pulsos ópticos que mantienen su forma a lo largo de la transmisión en una fibra sin pérdidas compensando los efectos de la dispersión de la fibra a

través de la no linealidad de la misma fibra. A pesar de que la idea se postuló desde 1973, no fue sino hasta 1988 que un experimento de laboratorio demostró la transmisión sobre 4,000 km compensando las pérdidas en la fibra a través de dispersión de Raman estimulada.

Los amplificadores de fibra dopada con erbio (EDFA) se han utilizado desde 1989. A partir de entonces, varios experimentos han demostrado el potencial de los sistemas de comunicación utilizando solitones.

Hoy se cuenta con la tecnología para desarrollar fuentes láseres semiconductoras de alta calidad, fibras ópticas con un muy bajo nivel de pérdidas y detectores semiconductores de alta fidelidad. Estos elementos se encuentran disponibles para la construcción económica y confiable de sistemas de transmisión ópticos.

1.3 Proceso de fabricación

El medio de transmisión es uno de los componentes más importantes en los sistemas ópticos de comunicación por medio de fibras. El desarrollo de guías ópticas de transmisión así como de fibras ópticas con índices de atenuación bajos, pérdidas muy bajas y capacidades de transmisión de anchos de banda muy extensos, han hecho realidad las comunicaciones ópticas por medio de fibras.

Una fibra óptica se fabrica a partir de 2 compuestos de vidrio. El que forma el núcleo, tiene un índice de refracción relativamente alto. El núcleo, a su vez, está recubierto por una segunda composición que tiene un índice de refracción menor que el del alma.

Como se muestra en la siguiente figura, la luz puede ser guiada a través de la fibra de acuerdo a tres distintos fenómenos de propagación:

Tipo de fibra	Multimodo índice escalonado	Multimodo índice gradual	Monomodo índice escalonado
Mecanismo de Propagación	Reflexión	Refracción	Guiado
Geometría			
Perfil del índice de refracción			
			n (core) -n (cladding)

Figura # 1.4

- .- reflexión
- .- refracción
- .- propagación axial

Existen tres tipos básicos de fibras ópticas: multimodales de índice escalonado, multimodales de índice gradual (multimodo gradual) y monomodales de índice escalonado. En la figura anterior se aprecian algunas características de dichas fibras. Las fibras multimodo escalonadas, se emplean especialmente para transmisiones de datos de baja capacidad. Las fibras multimodales graduales, se utilizan en aplicaciones que requieren una capacidad de transmisión mayor, debido al decrecimiento intramodal de la extensión de pulso. La extensión intramodal de pulso se entiende como los diversos periodos de tiempo en que distintos modos de reflexión son guiados a través de una misma fibra. Este decrecimiento en la extensión del pulso se logra a través de graduaciones adecuadas en el perfil del índice de refracción de la fibra óptica referente. Los diámetros de núcleo para las fibras multimodo graduales así como las escalonadas son de aproximadamente 50 a 100 μm . La diferencia pico entre los índices de refracción del núcleo y del recubrimiento oscilan entre un 1% y 2%.

Esta diferencia en los índices de refracción determina la apertura numérica de la fibra, la cual, a su vez, determina la cantidad de luz proveniente de una fuente luminosa que la fibra puede aceptar.

El tipo de fibra monomodo tiene un diámetro de núcleo de aproximadamente 5 μm y acepta un solo modo de luz (de ahí el nombre monomodo). Este tipo de fibra ofrece el desarrollo último en lo que se refiere a la transmisión de anchos de banda muy extensos. Esto se debe a que en este tipo de guías, no existe la extensión de pulso intramodal. La dispersión total en fibras monomodo es el resultado de la dispersión del material así como la dispersión de la guía de onda. En algunos casos, estos dos tipos de dispersión pueden tener la misma magnitud pero signos opuestos, cancelándose mutuamente sobre regiones de estrechos anchos de banda. De esta manera se han fabricado fibras con una dispersión nula para varios anchos de banda en la región de 1.3 μm a 1.5 μm .

Existen muchos procesos para fabricar fibras multimodales o monomodales, sin embargo dichos procesos constan básicamente de 4 operaciones básicas:

- .- fabricación de la preforma
- .- estirado de la fibra
- .- caracterización óptica
- .- caracterización mecánica

En la fabricación de la preforma, se puede preparar la barra de vidrio que contiene ambas partes; núcleo y recubrimiento, o bien los materiales componentes del núcleo y del recubrimiento se preparan por

separado. El vidrio preformado se estira entonces hasta conformar las dimensiones deseadas. Posteriormente, se miden las propiedades ópticas de la fibra estirada. Las fibras ópticas se monitorean para determinar fuerzas mínimas aceptables. Dichas características se determinan a partir de propiedades mecánicas como esfuerzos tensiles y fatiga estática. Esta información se utiliza para determinar tiempos de vida esperados de la fibra.

Como se dijo anteriormente, existen muchos procesos para manufacturar fibras ópticas. La selección de un determinado proceso depende del tipo de fibra deseado así como de sus propiedades. Algunas de las propiedades más importantes de una guía de fibra son las siguientes:

- .- Atenuación espectral óptica
- .- Apertura numérica (A.N.)
- .- Ancho de banda espectral o dispersión de pulsos
- .- Esfuerzos tensiles y fatiga estática

Para fibras monomodo se consideran las siguientes propiedades como muy importantes:

- .- Ancho de banda de dispersión nula
- .- Tamaño puntual
- .- Corte del ancho de banda

La atenuación óptica se debe a tres distintos mecanismos: pérdidas ocasionadas por la absorción del material, pérdidas por dispersión y pérdidas debidas a la guía de onda. La absorción del material en la región útil del ancho de banda se debe a impurezas metálicas existentes en la constitución vítrea de la fibra como: Fe, Co, Ni, Cu, Cr, Mn y V.

La figura # 1.5 muestra como se presentan atenuaciones en la señal aún cuando se presentan concentraciones muy pequeñas de estas impurezas.

Las pérdidas ocasionadas por dispersión resultan debido a movimientos para equilibrar la densidad del material así como por fluctuaciones debidas al material (dispersión de Rayleigh). Además, las pérdidas por dispersión pueden ocurrir debido a varios factores que pueden ser: la no homogeneidad de la fibra, burbujas y cristalizaciones en la fibra. Este tipo de fenómeno se puede eliminar a través de controles adecuados en el proceso de manufactura de la fibra.

Las pérdidas debidas a la guía de onda pueden deberse a irregularidades y variaciones en la región de frontera entre núcleo y recubrimiento. Este tipo de pérdidas se puede disminuir considerablemente por medio de un control de proceso adecuado.

Como conclusión se debe mencionar que las pérdidas por absorción ocupan el primer lugar de las causas de atenuación de la señal; este tipo de pérdidas se puede disminuir a través de una selección cuidadosa de las materias primas así como de la selección y control adecuados del proceso de fabricación.

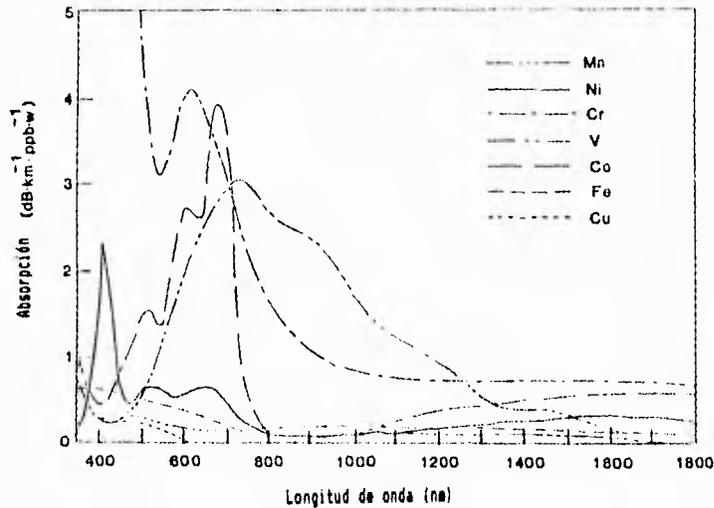


Figura # 1.5

1.4 Estirado de la fibra

Este tema describe el proceso por el cual las fibras son estiradas hasta sus dimensiones finales a partir de los procesos de preformados indicados con anterioridad. Primeramente, se exponen los principios y conceptos básicos que rigen los procesos de estirado así como las limitaciones y consideraciones que se deben efectuar al respecto. Posteriormente se describen detalladamente los métodos, procedimientos y equipos correspondientes.

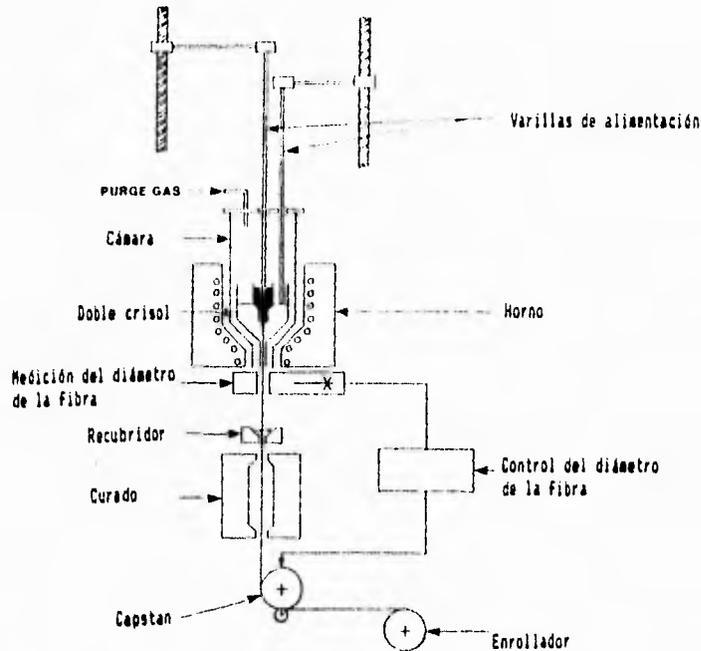


Figura # 1.6

El proceso a través del cual las preformas ópticas se transforman en fibras, se denomina estirado de la fibra. En este proceso, la preforma se sujeta de un extremo suspendiéndola verticalmente. El extremo inferior se calienta hasta que la fibra se suaviza. De esta manera, la suave punta inferior se estira paulatinamente manteniendo constante la mínima sección de la preforma. Este proceso se efectúa en continuo calentando la fibra en la parte inferior y estirándola por medio de un capstan motorizado según se muestra en la figura anterior.

La relación del tamaño final de la fibra con respecto al tamaño de la preforma está determinada por la velocidad de arrastre en relación con la velocidad de alimentación de la preforma:

$$\text{velocidad de estirado} = \text{velocidad de alimentación} (D^2/d^2)$$

donde: D = diámetro de la preforma
d = diámetro de la fibra

Todas las clases de fibra de alto grado están constituidas esencialmente por sílice pura. Por lo tanto, es necesario calentar el

extremo inferior (raíz) de la preforma hasta al menos 2000°C con el fin de suavizar el compuesto lo suficiente como para poderlo estirar. Por ello el primer problema que se presenta consiste en la elección adecuada de la fuente de calor, más aún, resulta muy problemático encontrar los materiales con los cuales fabricar dicha fuente, ya que la temperatura mencionada se encuentra muy por encima del punto de fusión y temperatura de vaporización de la mayoría de los materiales.

El segundo problema radica en la medida y exactitud necesaria de la fibra. La mayoría de las fibras producidas tienen un diámetro de 125 μm con desviaciones menores a 1 μm requeridas para el aislamiento y uniones posteriores necesarias. Estas tolerancias requieren de un método que continuamente mida la fibra a altas velocidades en rangos micrométricos y con niveles de retroalimentación sumamente confiables para mantener la relación de velocidades mencionada dentro de los límites adecuados.

El tercer problema que se presenta en el estirado de la fibra son los esfuerzos a los que se somete la misma. Los productos convencionales de vidrio aceptan fuerzas del orden de los 7 a 20 MPa (1000 - 3000 psi). Sin embargo, las guías de onda ópticas deben garantizar límites de esfuerzo de al menos 350 a 700 MPa (50'000 psi a 100'000 psi) para soportar los procesos de cableado así como el uso rudo al que se ven expuestas en instalaciones reales. Esto no representa mayores obstáculos ya que los límites de esfuerzo de la sílice son del orden de 1'000'000 psi. De hecho el rendimiento al esfuerzo de una fibra, se ve disminuido por daños superficiales así como impurezas o contaminantes en la fibra. Los métodos de manufactura antes expuestos demuestran maneras de eliminar estas desventajas.

El cuarto problema que se puede presentar consiste en la contaminación del alma de la fibra con las consiguientes pérdidas de la características ópticas de transmisión. Esto se lleva a cabo durante los choques térmicos a los que se sujeta la fibra creando estados de difusión de los elementos que intervienen en el proceso. Por ello, cualquier proceso de volatilización de metales como hierro, cobre o níquel procedentes de la fuente de calor, serán absorbidos por la fibra y difundidos al interior de ella. Hay que hacer notar que incluso resultan importantes índices de contaminación del orden de ppb.

El estirado de la fibra óptica, requiere que la raíz de la preforma se caliente de 1900°C hasta 2200°C. Para obtener lo anterior, se utilizan tres métodos distintos: por flama, por láser de alta potencia así como varios tipos de hornos eléctricos.

El proceso de flama debe partir de ecuaciones casi estequiométricas que involucren H_2 y O_2 y que generen la antorcha a la temperatura deseada. Consecuentemente, el sistema del quemador debe ser de un diseño preciso, o bien, formado a partir de una serie de antorchas menores pero de rendimiento constante. Además, debido a

las altas temperaturas generadas y de la radiación proveniente de la preforma, el quemador debe estar sometido a procesos de templado muy estrictos para evitar sobrecalentamientos o destrucciones prematuras. Dentro de las limitaciones más fuertes a las que se ve sometido el proceso de diseño del quemador, se encuentran sobre todo, las corrientes convectivas y turbulencias causadas tanto por la flama como por los gases producto de la combustión, ya que estos factores contribuyen a la desestabilización dimensional de la fibra.

La primera vez que se propuso el sistema de calentamiento de preforma por láser, éste pareció utópico. La idea consiste en enfocar el haz de un láser de CO_2 para generar altas temperaturas. La longitud de onda de la radiación térmica ($10.6 \mu\text{m}$), es absorbida por la fibra sin producir ningún tipo de turbulencia. Sin embargo, se requiere de un sistema láser óptico muy preciso para obtener una forma anular perfecta de radiación. Se han diseñado varios tipos, y actualmente se encuentran en operación, sin embargo, las potencias requeridas para los láseres son generadas por medio de alta tecnología. Además, los procesos de manufactura inciertos de los láseres y el costo de dicha manufactura los convierten en inversiones negativas.

Los hornos eléctricos, han sido los medios más populares para llevar a cabo el calentamiento necesario en este proceso. Sin embargo, las temperaturas que se han logrado alcanzar por estos medios se encuentran en el rango de los 900°C a 1700°C . Esto se consigue a través de resistencias eléctricas de níquel - cromo enrolladas sobre elementos cerámicos. Sin embargo, las temperaturas requeridas para el estirado de la fibra se encuentran por encima de los puntos de fusión del material de las resistencias. Por ello, se han diseñado resistencias a partir de elementos más estables en condiciones de alta temperatura (tungsteno, molibdeno, grafito) dentro de atmósferas en vacío para evitar la oxidación de los materiales mencionados.

La única solución a los problemas descritos lo constituye el horno de inducción de circonio. En este diseño, se utiliza un tubo de circonio que hace las veces de horno y de elemento térmico. Esto se logra debido a que la cerámica de circonio se vuelve conductiva en temperaturas superiores a los 1000°C , además este material se puede calentar en hornos de inducción de alta frecuencia. Lo más importante es el hecho de que este sistema no requiere de atmósferas protegidas. Hoy en día esta tecnología es la más ampliamente utilizada en el estirado de las fibras.

El factor más importante consiste en un control preciso del diámetro y una atmósfera estable en la zona base de la formación de la preforma. Cualquier turbulencia o convección excesiva resultará en variaciones de alta frecuencia. La solución consiste en sellar, o en su defecto cubrir cualquier apertura en la zona de formación para evitar flujos verticales excesivos en el horno debido al efecto

chimenea. En el caso de hornos con elementos expuestos, el sistema de purga de gas deber ser diseñado con cuidado para turbulencias y condiciones de flujo excesivo. Otra condición relacionada es la convección dentro del horno. En el interior, el volumen tiene gradientes de temperatura que son muy grandes, por ello se generan corrientes dentro del horno que generarán variaciones en el diámetro. La fibra, cuando se está estirando, es líquida y tiende a ser perturbada por variaciones mínimas. Esto ha orillado a que la torre de estirado sea un elemento independiente para evitar la transmisión de cualquier vibración a la fibra o preforma. Asimismo, el mecanismo de alimentación de la fibra debe ser de acción suave y homogénea, así como la acción del capstan de tiro. Cualquier movimiento excéntrico y defectuoso de los elementos que guían a la fibra resultará en variaciones inmediatas del diámetro.

El control del diámetro requiere de un sistema de medición y de un circuito cerrado en conjunción con el sistema de tiro de la fibra. La medición de este valor se puede llevar a cabo con 2 tipos de sistemas laser. Un sistema usa el patrón de interferencia de la fibra para determinar su diámetro. El otro sistema utiliza la sombra reflejada por la fibra expuesta a un haz laser para así inferir su diámetro. Ambos sistemas tienen una resolución de una fracción de micra. Una vez tomada la lectura del diámetro, un sistema de control determina el error y ajusta la velocidad de tiro, más lenta o más rápida para formar una fibra más gruesa o más delgada. Este sistema es muy complejo, ya que existe una fracción de tiempo entre la determinación del diámetro y el patrón de corrección al que la fibra se ve sujeta. Otro problema es que la respuesta del sistema de control no es lineal, es decir, la velocidad de cambio es una función cuadrática en relación al error en el diámetro. Con todo esto, el sistema de control tiene una respuesta en frecuencia de 30 MHz, la cual se considera adecuada.

Una de las mayores dificultades que se presenta al tratar de crear fibras resistentes, consiste en la cualidad de evitar tocar la fibra hasta que esta haya sido protegida con recubrimientos protectores. La aplicación de estos recubrimientos en forma concéntrica y sin tocar la fibra es un proceso sumamente difícil. Existen muchas técnicas para lograrlo con distintos grados de eficiencia.

Una vez que se ha creado una fibra protegida en su superficie, el reto consiste ahora en crear una fibra muy resistente. En este punto, se deben mantener condiciones de extrema pureza en el proceso de fabricación de la preforma así como en el estirado de la fibra. Además se utilizan altas temperaturas a lo largo del proceso para volatilizar o disolver cualquier tipo de contaminantes inherentes al proceso.

1.5 Conductor de fibra óptica monomodo de vidrio de cuarzo

A diferencia del conductor de fibra óptica multimodo, en el cual se indica el diámetro del núcleo, en el monomodo basta con indicar el valor del diámetro del campo $2 \times w_0$ (que es función de la longitud de onda). El diámetro de campo es aproximadamente 10% a 12% mayor que el diámetro del núcleo a una longitud de onda de 1300 nm.

La dependencia de la longitud de onda es de gran importancia en las telecomunicaciones. Dado que en el conductor de fibra óptica se tiene un único modo, influye más la adaptación lumínica que la del vidrio sobre la calidad de un empalme.

A continuación se muestran las dimensiones físicas normalizadas de un conductor de fibra óptica monomodo:

Valor nominal en μm		Norma DIN VDE 0888 sec. 2	Recomendación CCITT G 652	Norma IEC 793-1	Especificación del fabricante
Diámetro del campo a 1300 nm	10	x	x	x	--
Desviación admisible	± 1				
Diámetro del recubrimiento	125	x	x	x	--
Desviación admisible	± 3				
Diámetro del conductor de fibra óptica valores típicos en uso actualmente	250 500	-- --	-- --	-- --	x x

Figura # 1.7

1.6 Tipos de fibras

La capacidad de transporte de una fibra óptica en bits por segundo está determinada por su respuesta al impulso, dicha respuesta, y por lo tanto el ancho de banda, están determinadas por las propiedades modales de la fibra. Las fibras ópticas de uso común, se pueden separar en dos grupos dependiendo de sus propiedades modales:

- .- fibras monomodo
- .- fibras multimodo

Las fibras monomodo son de índice escalonado mientras que las multimodo pueden ser de índice gradual o escalonado. El término índice gradual o escalonado se refiere a la variación que sufre el índice de refracción de la fibra de acuerdo a su distancia del centro de la fibra.

Estas fibras consisten en una parte central rodeada por un

recubrimiento. El índice de refracción superior del núcleo comparado con el del recubrimiento causa una refracción interna total en la frontera entre el núcleo y el recubrimiento dentro de las fibras de índice escalonado. En las fibras con índice gradual, el decrecimiento gradual del índice de refracción conforme crece la distancia al centro de la fibra, obliga al haz de luz a doblarse hacia el eje de la fibra conforme la luz se propaga dentro del conductor.

Las guías multimodales se caracterizan por causar una múltiple propagación en distintas trayectorias para los haces luminosos. Por lo tanto, la energía inyectada al principio de la fibra, llegará al destino distribuida a lo largo de un periodo de tiempo. Este fenómeno de dispersión, se debe a que cada haz luminoso recorre distintas distancias por lo que no llegarán al mismo tiempo al final de la fibra, debido a los retrasos ocasionados por los distintos modos dentro de la fibra. Esta dispersión del pulso se conoce como dispersión modal. Lo importante es que reduce la capacidad de transmisión dentro de la fibra ya que limita el número de pulsos de distinta naturaleza que pueden ser transmitidos por la fibra en un intervalo determinado. Las fibras de índice gradual poseen una dispersión modal menor que las de índice escalonado. Obviamente este fenómeno no ocurre en las fibras monomodo en las cuales sólo se propaga la luz en un modo. Sin embargo, las fibras monomodo poseen otras desventajas que se expondrán posteriormente.

El fenómeno básico conocido como reflexión interna total, el cual es responsable de guiar la luz a través de fibras ópticas, se conoce desde 1854, a pesar de que las fibras de vidrio se empezaron a fabricar en el año de 1920, no fue sino hasta 1950 cuando su uso práctico se generalizó al ser recubiertas por una capa delgada de material que mejoró sus características de transmisión. Antes de 1970, su uso se restringía a usos médicos para transmisión de imágenes a distancias cortas. Su uso para propósitos de telecomunicación se consideraba impráctico debido a las altas pérdidas involucradas (aproximadamente 1000 dB/km). Esta situación cambió drásticamente cuando dichas pérdidas alcanzaron niveles de atenuación de 20 dB/km. En 1979, desarrollos ulteriores lograron alcanzar una atenuación de 0.2 dB/km en la región espectral de los 1.55 μm . La existencia de fibras con bajos índices de pérdidas revolucionó la tecnología de ondas luminosas con lo que así se inició la era de las comunicaciones de fibra óptica.

En su forma más sencilla, una fibra óptica consiste en un centro (core) cilíndrico de vidrio de sílice rodeado de un recubrimiento (cladding) cuyo índice de refracción es menor que el del centro. Debido a que en la unión entre centro y recubrimiento el índice de refracción sufre un cambio abrupto, este tipo de fibras se conocen como fibras de índice escalonado. En un tipo distinto de fibra, conocido como fibra de índice gradual, el índice de refracción sufre decrementos graduales dentro del centro. La siguiente figura muestra un esquema del perfil de índice de cada tipo de fibra hasta ahora

descrita. La descripción de la geometría óptica, aunque es aproximada, sólo es válida cuando el radio "a" del centro es mucho mayor que la longitud de onda.

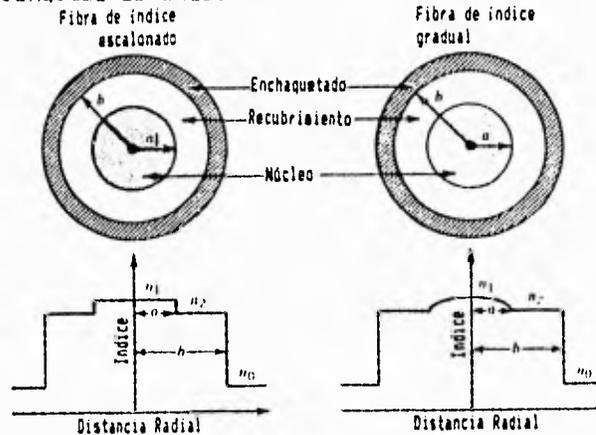


Figura # 1.8

1.7 Influencia de las propiedades de la fibra en el rendimiento del sistema

La información que se presenta a continuación, es importante en el diseño y selección tanto de la fibra como de los elementos terminales para así satisfacer las especificaciones de un sistema de comunicación digital.

El análisis del rendimiento de este tipo de sistemas se dividirá en dos partes: atenuación y distorsión.

Primeramente, la señal que llega al receptor debe tener suficiente amplitud para mantener un nivel para que toda la información llegue a su destino correctamente. Por lo tanto, el nivel de atenuación cuando la señal se propaga dentro de la fibra debe tener un nivel mínimo.

Para predecir el grado de atenuación, primeramente se deben reconocer todas las fuentes de atenuación posibles, las cuales son:

- .- pérdidas en el acoplamiento fibra - laser
- .- pérdidas en cada conector
- .- pérdidas en las uniones fusionadas entre fibras
- .- atenuación en las fibras
- .- pérdidas en el acoplamiento fibra - detector

El margen del sistema es necesario dado que hay una serie de variables que no se pueden controlar en la etapa de diseño (temperatura, envejecimiento, mantenimiento, etc.). Típicamente, el margen de diseño se considera como 6 dB. La ecuación de balance de potencia se puede utilizar para determinar la distancia entre repetidores para un determinado valor de atenuación y una determinada longitud del sistema.

El segundo paso en la etapa de diseño es asegurar que la dispersión del sistema no cause un nivel no deseado de distorsión y por lo tanto evitar interferencias. Existen cinco factores que contribuyen a la distorsión de un pulso que se traslada desde la entrada (emisor óptico) hasta la salida (receptor óptico) de un sistema de telecomunicación óptico:

- 1) ancho de banda (o tiempo de respuesta) del transmisor óptico
- 2) dispersión material de la fibra
- 3) dispersión modal de la fibra
- 4) dispersión de guía de onda
- 5) ancho de banda (tiempo de respuesta) del receptor óptico

El ancho de banda de un transmisor óptico se selecciona para que sea mucho mayor que el rango de bits que vaya a manejar el sistema. Es de notar que los láseres de estado sólido típicos tienen un ancho de banda de 500 MHz mientras que el ancho de banda de los LED's es 10 veces menor. Esta es una razón por la cual se prefieren los láseres para sistemas de alta velocidad.

Como se mencionó con anterioridad, las características dispersivas de la fibra causan distorsión de los pulsos. La distorsión es responsable de la interferencia intersimbólica que en algunos casos causa degradación en la tasa de errores de bits del sistema. En teoría, se puede llevar a cabo un proceso de filtración en el receptor para compensar esta degradación. Sin embargo, los filtros que pueden lograr esta tarea requieren de altas frecuencias y su uso causaría mayores trastornos. Por lo tanto, la técnica más común consiste en diseñar el sistema de tal manera que el pulso al llegar al receptor esté lo menos distorsionado que se pueda. El receptor se puede entonces diseñar independientemente de las propiedades del filtro seleccionado.

1.24 Tipos de cables

1.8 a) Conductores huecos

Por conductor hueco se entiende un tubito de plástico en cuyo interior se encuentra alojado, en forma estable, el conductor de fibra óptica, con poco rozamiento y resistente a las deformaciones. Esta vaina también debe ser tenaz, resistente al envejecimiento y muy flexible. Además debe ser posible manejar el cable en forma similar a un par coaxial como en los tradicionales cables de cobre. De esta forma, el conductor hueco presenta todas las características de un elemento básico utilizable universalmente.

1.8 b) Conductores por grupos

Como se describió en el párrafo anterior, los conductores huecos han probado su eficacia para albergar un único conductor de fibra óptica. Estos tubitos con diámetros variables, según su utilización, de 1.4mm a 2.0mm, se usan con preferencia para la configuración de cables de hasta 14 conductores.

Con el conductor hueco se pueden diseñar y fabricar cables con numerosos conductores de fibra óptica. Sin embargo, a medida que se aumenta el número de fibras, crece la complejidad de la configuración de los cables, así, los diámetros exteriores resultan relativamente grandes y en consecuencia estos cables son cada vez más pesados, o sea que en la práctica su manipulación se vuelve más difícil.

Para reducir estas desventajas, en lugar de un solo conductor se introducen de dos a 96 conductores de fibras ópticas monomodo o multimodo en una cubierta algo más grande formando así los conductores por grupos.

Aplicaciones

Los conductores por grupos se usan preferentemente en aquellas instalaciones en las cuales son muy elevadas las exigencias de calidad de transmisión aunque las influencias del medio ambiente sean variables. Por este motivo, en instalaciones exteriores se utilizan fundamentalmente este tipo de cables.

Otra ventaja de esta clase de diseños radica en que ante exigencias que excediesen los valores usuales, también se pueden fabricar cables para fines especiales variando las dimensiones de los mismos y/o efectuando otra selección de materiales. Como ejemplos se pueden mencionar los cables aéreos, submarinos o para minas.

1.8 c) Conductores macizos

Una forma simple de proteger a las fibras ópticas de las influencias externas consiste en aplicar una cubierta sólida de materiales plásticos adecuados directamente sobre el revestimiento

protector de las fibras. Con esta configuración, se logra reducir su diámetro por lo menos 0.5mm respecto de los conductores por grupos.

Sin embargo, para el caso de producirse elevados esfuerzos por tracción, los consiguientes alargamientos elásticos del cable se pueden transmitir directamente a las fibras ópticas. Esto se puede compensar aumentando la sección del cable, pero se pierde la ventaja de un conductor más ligero.

Aplicaciones

Se pueden utilizar en todos los casos en donde se requieran conexiones cortas con características de líneas o puentes como por ejemplo el cableado interno de los bastidores. Conductores macizos de una o dos fibras se pueden utilizar como cables interiores de longitudes limitadas.

Los cables exteriores se fabrican, en principio, como conductores huecos con hasta 14 fibras ópticas.

1.8 d) Conductores compactos

Los conductores compactos surgieron a partir de una combinación de los conceptos básicos correspondientes a conductores huecos con relleno y conductores macizos. En comparación con el conductor hueco con relleno, el espacio hueco entre el relleno de la fibra óptica y la vaina protectora extremadamente sólida se redujo a valores tan pequeños que la fibra óptica flota dentro de una capa deslizante con un espacio libre de tan sólo 50 a 100 μm . El conductor compacto se puede utilizar, de forma análoga, como un conductor macizo, la diferencia consiste en que las fibras ópticas se encuentran mejor desacopladas de la vaina protectora.

Aplicaciones

El conductor compacto se destina a los mismos usos que el conductor macizo, conductores interiores y todos los lugares donde se requieran conexiones cortas con características de líneas o puentes. Este conductor también resultó ser muy apto para el montaje en el cableado interno de bastidores y armarios, ya que el aislamiento se puede retirar fácilmente al igual que los conductores huecos o por grupos.

El conductor compacto reemplaza en muchas aplicaciones al conductor macizo por presentar un rango de temperaturas más amplio y responder mejor a los esfuerzos por tracción.

1.8 e) Cables exteriores

La configuración y dimensionamiento de los cables exteriores, en particular los que tienen una vaina de polietileno, es tal que se

ajustan a todos los requerimientos que se les presenten tanto en instalaciones de cables que se efectúen en tierra como en conductos subterráneos.

De acuerdo a la cantidad de conductores de fibra óptica multimodo que se requieran, se utilizan conductores de grupos de 2 a 12 fibras ópticas.

Teniendo en cuenta consideraciones constructivas y de rentabilidad se han impuesto para cables los conductores huecos de hasta 14 fibras ópticas y a partir de 16 fibras, los conductores por grupos. En ambos casos, como es sabido, estos cables son rellenos con una gelatina que uniformiza sus características.

Los cables con fibras ópticas monomodo se conforman, en principio, como conductores por grupos.

Los esfuerzos de tracción entre 1000 y 3000 N originados habitualmente durante el tendido de los cables exteriores, en especial cuando son introducidos en conductos, no provocan inconvenientes cuando se efectúa una elección correcta del tipo constructivo así como la elección adecuada de los cabezales o tapas de tracción adecuados.

A continuación se indican las temperaturas de transporte, almacenamiento, servicio y tendido para estos cables de acuerdo a normas DIN de Alemania.

Rangos de temperatura

temperatura de transporte y almacenamiento	-25 ⁰ C a 70 ⁰ C
temperatura de tendido	- 5 ⁰ C a 50 ⁰ C
temperatura de servicio	-20 ⁰ C a 60 ⁰ C

Observando los radios de curvatura mínimos de los cables de conductores de fibras ópticas, se nota que pueden ser tratados de manera similar a los conductores de cobre convencionales. Sin embargo, por su bajo peso, brindan la ventaja de que se pueden colocar en tramos de hasta 2000m de longitud.

Los cables con conductores de fibras ópticas para exteriores se suministran actualmente en tramos de 2000 y 1000m (longitud estándar).

En la siguiente tabla se muestran comparativamente los valores nominales de algunos cables exteriores de fibra óptica y de cobre.

En resumen, se puede advertir que para todas las aplicaciones de la técnica de conductores de cobre conocidas se dispone del adecuado cable exterior equivalente en fibra óptica.

Las principales ventajas de los cables exteriores de fibra óptica son:

- .- diámetro reducido del cable
- .- poco peso
- .- se suministran en tramos de gran longitud
- .- dimensiones convenientes de los carretes de cables, y por ende, reducido peso de estos

Número de conductores		Diámetro exterior, en mm		Peso, en $\frac{kg}{km}$		Longitud de suministro (longitud estándar), en m	
Conductor de fibra óptica	Conductor doble de cobre 0,6 mm	LWL	Cu	LWL	Cu	LWL	Cu
2, 4, 6	6	12	12	115	140	2000	1000
10	10	12,5	13,5	125	190	2000	1000
20	20	14	16,5	160	315	2000	1000
40	40	14	21,5	160	555	2000	1000
60	60	16	23,5	205	800	2000	1000
100	100	20	31,5	305	1245	2000	1000
500	500	43	65,5	1300	5700	1000	500
1000	1000	51	91,5	2100	11200	1000	250

Figura # 1.9

.- Influencias externas:

No existen problemas ocasionados por influencias externas como descargas eléctricas, cercanía de líneas de alta tensión, trenes eléctricos o desplazamientos potenciales ni tampoco inconvenientes de puestas a tierra ya que existe la posibilidad de fabricar totalmente los cables con materiales dieléctricos.

.- Veratilidad en el servicio

La siguiente figura muestra una de las principales ventajas de los conductores de fibras ópticas al comparar los coeficientes de atenuación de diferentes cables coaxiales con los de fibra óptica.

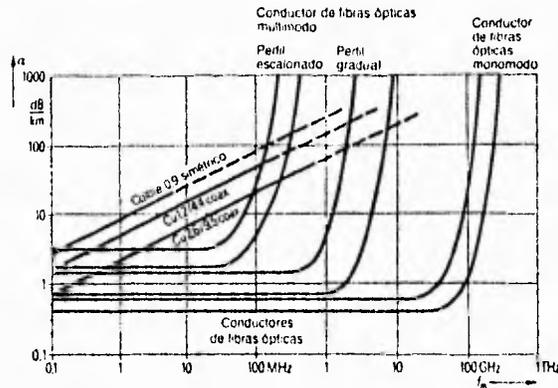


Figura # 1.10

Los cables de conductores de fibra óptica son adecuados tanto para sistemas de pocos canales para la transmisión de señales telefónicas y de telecontrol como para los sistemas de banda ancha planeados para el futuro como el caso de la Red Digital de Servicios Integrados de banda ancha en la cual se han integrado en una red varias formas de transmisión:

televisión, videotexto, radio (estéreo), datos, telex, teletexto, telefax, servicios digitales integrados, telefonía, videoconferencias, videoteca y videoteléfono.

1.8 f) Cables Interiores

Para diversas aplicaciones en el interior de edificios, se requieren cables de fibras ópticas para interiores con vaina de PVC, dado que al igual que en el caso de instalaciones con cables convencionales, el uso de cables exteriores con vaina no está permitido o lo está de forma restringida en el interior de los edificios. Por eso, los cables para exteriores finalizan inmediatamente después de ingresar a un edificio en una caja de empalme distribuidora de fibras ópticas o en un bastidor terminal para cables, siempre que éste se encuentre en la misma sección antiincendios. Desde la caja de empalmes se tienden cables hasta el distribuidor con una o más fibras según sea necesario. Para mantener los empalmes en un régimen bajo de atenuación, se utilizan, dentro de lo posible, cables para interiores con similares características ópticas de transmisión que los correspondientes para exteriores. Los cables para interiores están constituidos de tal forma que ninguno de estos valores experimente alteraciones inadmisibles causadas por esfuerzos mecánicos o variaciones de temperatura.

Para el cableado de instalaciones interiores de redes de comunicaciones y datos o para cables de distribución se requieren cables para interiores con más de 6 fibras ópticas; para ellos se constituyen conductores por grupos a partir de las 10 fibras ópticas multimodo.

En los cables para interiores con fibras ópticas monomodo se utilizan conductores por grupos de 2.8mm de espesor; cada uno contiene un máximo de 4 fibras ópticas. Los valores ópticos se adaptan a aquellos de los cables exteriores.

1.8 g) Cables especiales

Los cables con conductores de fibras ópticas son apropiados de manera excelente para instalaciones con requerimientos especiales. Comparados con cables de cobre brindan considerables ventajas, en especial por su pequeño diámetro y el reducido peso propio resultante así como, en el caso de los cables conformados totalmente con materiales dieléctricos, por su insensibilidad a influencias eléctricas.

Las ventajas de los cables conductores de fibras ópticas se destacan especialmente en las instalaciones de las empresas de distribución de energía eléctrica, ya que con cables diseñados en forma adecuada no existen problemas de influencias, puestas a tierra o potenciales tales como pueden ocurrir en cables de alta tensión o líneas aéreas cuando cables conductores de cobre están tendidos en forma paralela a aquéllas. En estas instalaciones, un nivel bajo de atenuación, así como un amplio ancho de banda son tan importantes como en aplicaciones industriales.

Otras aplicaciones son las navieras y aeronáuticas donde se requieren cables especialmente livianos, mecánicamente estables, insensibles a las vibraciones y resistentes a temperaturas elevadas.

Para aplicaciones militares resulta particularmente ventajoso el que los cables de fibras ópticas al no contener elementos metálicos, no pueden ser rastreados ni identificados.

Otros campos de aplicación son los cables marinos y los cables para instalaciones mineras.

CAPITULO II Enlaces ópticos

2.1 Introducción

Una aplicación importante de los sistemas de luminosos por medio de fibra óptica es en sistemas de telecomunicaciones. De hecho, esta aplicación fue la que promovió el campo de las comunicaciones por medio de fibras ópticas y continuamente se ha visto mejorada.

Los sistemas terrestres de guía ondas ópticos empezaron a ser comercializados en 1979. La primera generación de este tipo de sistemas operó en la región de los $0.85 \mu\text{m}$ y utilizó fibras multimodo de índice gradual como medio de transmisión. Como se observa en la siguiente figura, el producto BxL de este tipo de sistemas está limitado a 2 (Gb/s)-km . Un sistema de comunicación comercial operando a 90 Mb/s con un espacio entre repetidores de 12 km , logró un producto BxL de cerca de 1 (Gb/s)-km según se muestra a través de un círculo en la figura. La segunda generación de sistemas de transmisión ópticos se movió a $1.3 \mu\text{m}$ para aprovechar las bajas pérdidas y dispersión cercanas a esta región. Aún ahora se utilizan comercialmente este tipo de sistemas. El producto BxL de los sistemas que operan en $1.3 \mu\text{m}$ está limitado a 100 (Gb/s)-km cuando se utilizan láseres semiconductores multimodo dentro del transmisor. En 1987, un sistema de comunicación óptico comercial logró transmitir 1.7 Gb/s con un espacio entre repetidores de 45 km . En la figura se muestra lo anterior con un círculo cerca del límite de dispersión.

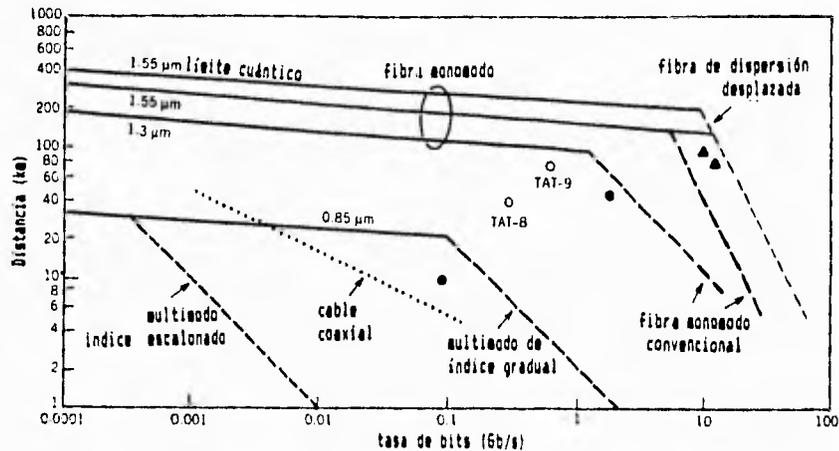


Figura # 2.1

La tercera generación de sistemas de comunicación ópticos fue promovida en el mercado en 1990. Estos sistemas operan en el rango de los $1.55 \mu\text{m}$ con rangos de transmisión de 2 Gb/s (típicamente a 2.488 Gb/s debido a especificaciones SONET).

Los sistemas de transmisión submarinos se utilizan para telecomunicaciones intercontinentales. En este tipo de sistemas, la confiabilidad es de suma importancia dado que el mantenimiento es sumamente costoso. Generalmente, los sistemas submarinos se diseñan para un tiempo útil de vida de 25 años con un máximo número de 3 fallas en este tiempo. El primer sistema submarino de transmisión óptico fue instalado en 1988 en el Océano Atlántico (TAT-8). Opera en la región de los $1.3 \mu\text{m}$ con una velocidad de 295 Mb/s con un espacio entre repetidores de 40 km. Como se puede observar en la figura anterior, el sistema fue diseñado desde un punto de vista de aseguramiento de seguridad. Una serie de proyectos se han diseñado (TAT 9 - TAT 12) para satisfacer las demandas de comunicaciones intercontinentales. El sistema TAT 9 se diseñó para operar cerca de los $1.55 \mu\text{m}$ a una velocidad de 590 Mb/s con un espacio entre repetidores de 80 km; en 1992 este sistema se puso en operación. Los sistemas TAT 10 y TAT 11 están diseñados para trabajar a velocidades mayores a 1 Gb/s y se piensa ponerlos en operación en 1994. El sistema TAT 12 se operará en 1995 para operar a 1.4 Gb/s. En este caso, el sistema utilizará amplificadores ópticos en vez de los sistemas de regeneradores electrónicos. Este tipo de diseños se planean de manera análoga para atravesar el Océano Pacífico.

La cuarta y quinta generación de sistemas de telecomunicación por medio de fibras ópticas se encuentran en estudio. La cuarta generación utiliza técnicas de detección coherente y está particularmente enfocada al uso de canales digitales múltiples utilizando técnicas de multiplexado en división de frecuencia. La quinta generación hace uso de los efectos no lineales en las fibras ópticas y utiliza la tecnología de los solitones.

2.2 Comunicaciones analógicas ópticas

El tema de este trabajo tiene que ver fundamentalmente con las comunicaciones digitales ópticas que pueden intervenir en el proceso de las comunicaciones telefónicas, sin embargo, es importante mencionar el papel que las comunicaciones analógicas ópticas juegan en el contexto de las telecomunicaciones.

A pesar de que la tendencia general se enfoca hacia los sistemas digitales de comunicaciones, existen muchas aplicaciones potenciales donde se necesitan sistemas de comunicación analógicos que sean compatibles con sistemas de transmisión ya existentes. Existen varios ejemplos de lo anterior: señales de video multiplexadas, sistemas de radio por microondas, terminales de satélite y canales de voz multiplexados por división de frecuencia. A pesar de que este tipo de señales, en principio, se puede convertir a un formato digital, el

costo es generalmente prohibitivo. La mayor desventaja de los sistemas de transmisión analógica consiste en su susceptibilidad al ruido y a los efectos no lineales dentro del canal de transmisión. A continuación se muestra un diagrama de los elementos esenciales de un enlace de transmisión analógico:

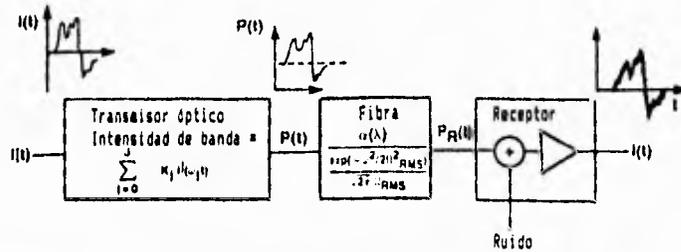


Figura # 2.2

De manera similar a un sistema digital de comunicación, este tipo de sistemas consiste en tres elementos: un transmisor, una guía de onda y un receptor. Usualmente el transmisor contiene una fuente óptica que puede ser un LED o un diodo láser. La potencia de la fuente se modula para poder modular la potencia de salida de la fuente directamente.

El segundo bloque de la figura representa a la guía de onda. Es importante señalar que en un proceso de transmisión analógica los siguientes factores cobran mucha importancia: amplitud, fase y retardo en el comportamiento del grupo con la frecuencia. El ancho de banda que está limitado por la distorsión modal, resulta muy difícil de controlar ya que existen modos mezclados cuyo comportamiento es difícil predecir.

El último bloque funcional de la figura corresponde al receptor. El fotodetector en el receptor convierte a la señal óptica en una señal eléctrica que es una réplica de la envolvente de la potencia que entró al receptor. Existen detectores con un ancho de banda de 1 GHz. En la mayoría de los casos, este tipo de tecnología es adecuada. La consideración primaria en el receptor se refiere a su comportamiento en ambientes con ruido. Esto es de suma importancia cuando se conectan varios sistemas en cascada, dado que el efecto del ruido es acumulativo en este tipo de sistemas.

Los sistemas de televisión por cable, en la actualidad, se basan en procesos analógicos de transmisión. Por ello resulta sumamente atractivo para este tipo de sistemas el uso de fibra óptica. Por una parte el uso de fibra óptica permite el uso de señales digitales y

por otra, el ancho de banda de la fibra óptica permite una gran capacidad de transmisión que no sólo se puede restringir a señales analógicas de televisión.

2.3 Telecomunicación digital

Las telecomunicaciones digitales se diferencian del resto en el hecho de que los números constitutivos de una lista adquieren valores discretos. Estas formas de transmisión se denominan digitales en contraposición a las señales analógicas.

Muchas señales se presentan de antemano en forma enlistada formando parte de un universo de valores específicos. Los valores generados a la salida de los equipos de cómputo tienen este formato. Otros ejemplos son, la hora del día, datos de líneas de producción. En contraste con este tipo de señales digitales, las señales de audio emitidas por alguien que está hablando tienen un formato analógico original el cual hay que convertir a un formato digital. La transformación de un formato analógico a digital se lleva a cabo por medio de un convertidor analógico - digital.

2.4 Convertidor analógico - digital (A/D)

El primer paso para cambiar una señal analógica continua en el tiempo en una forma digital, consiste en convertir la señal en una lista de números. Esto se lleva a cabo a través de un proceso denominado muestreo por medio del cual a cada valor continuo en el tiempo, se le asigna un correspondiente valor discreto de acuerdo a la magnitud de la señal en el ámbito del tiempo. La lista resultante de números será una relación continua de valores. Es decir, a pesar de que algún valor de dicha lista equivalga a 5,758 V, siempre se puede especificar como un número redondeado. La lista de números debe ser entonces codificada en palabras clave. La primera idea que surge consiste en redondear los números de la lista, si, por ejemplo, la lista de muestras corre en el rango de 0 - 10 V, entonces cada muestra puede ser redondeada al entero más cercano. Si el número de muestras es igual a 11, entonces, existirán 11 números enteros entre 0 y 10.

En la mayoría de los sistemas de comunicación digital, la forma adecuada para codificar la lista de números se basa en un sistema binario de 1's y 0's. Las razones para seleccionar este sistema son múltiples y son de gran utilidad. Así el convertidor operará las muestras en el rango de los 0 - 10 V primero redondeando al muestra al valor entero más cercano y luego convirtiendo el valor obtenido a un número binario de 4 números.

La conversión analógica digital también se conoce como cuantizar y codificar. La meta consiste en cambiar variables de índole continua en sus correspondientes valores discretos. En la cuantización uniforme, el rango de valores continuos es dividido en regiones

uniformes a las cuales se les asigna un código entero. Es importante mencionar que todos los valores que aparezcan en la misma región serán codificados bajo el mismo número entero. La siguiente figura muestra el concepto de cuantización para 3 bits, de dos maneras distintas, la figura de la izquierda, muestra el rango de valores funcionales dividido en 8 regiones. A cada una de estas regiones se les ha asignado un número binario de 3 bits. En algunos casos como el mostrado, se puede normalizar el rango de lectura para lograr mejor eficiencia en el proceso. La figura de la derecha muestra un proceso de cuantización en que relaciona las entradas con las salidas de un sistema determinado, mientras que los valores a la entrada son continuos, la salida sólo puede tomar valores discretos. El ancho de cada escalón es constante lográndose así una cuantización uniforme.

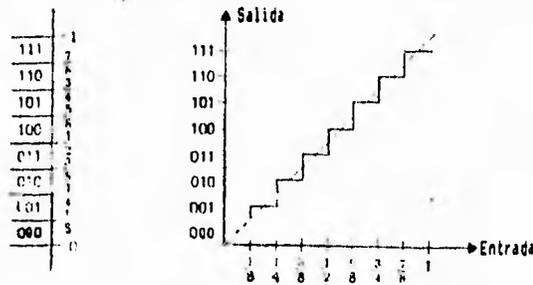


Figura # 2.3

La siguiente figura muestra una representación continua de una señal $s(t)$ así como su representación digital para 2 y 3 bits respectivamente.

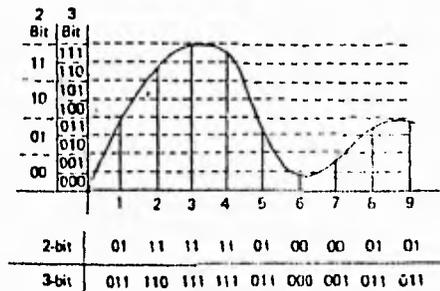


Figura # 2.4

2.5 Convertidor digital - analógico (D/A)

Ahora es necesario analizar el proceso inverso de conversión conocido como conversión digital - analógica, el cual se logra a través de un convertidor digital analógico. Para llevar a cabo dicha conversión, es necesario asignar un valor a cada palabra binaria codificada. Si la palabra codificada representa una serie de valores codificados, entonces el valor elegido para la conversión se sitúa en el centro de dicha región. Si el proceso de conversión analógico - digital se llevó a cabo de la manera explicada anteriormente, entonces lo que procede ahora es el proceso inverso en el cual se asigna un valor de peso a cada posición binaria. Por lo tanto, tomando como ejemplo la figura anterior se nota que el período de cuantización se dividió en 16 regiones. Por lo tanto, el límite inferior que corresponde al valor binario 0011 es equivalente a $3/16$ V. El límite inferior de dicha región es $15/16$ V. Para alcanzar el punto medio de la región, se suma $1/32$ V a cada uno de estos límites inferiores.

Como se puede apreciar, la conversión digital - analógica se logra convirtiendo el número binario a decimal, dividiéndolo por 16 y añadiéndole $1/32$, esto para el ejemplo mostrado. La conversión del número binario a su equivalente decimal es una tarea comúnmente llevada a cabo reconociendo los valores decimales de acuerdo a la posición de los valores de los bits binarios.

2.6 Comunicaciones codificadas

Las primeras formas de comunicación cableadas a distancia fueron logradas a través del telégrafo. Una serie de puntos y rayas se transmitían ejemplificando palabras. Esto se ideó debido a que no se podían transmitir señales de audio a través de las líneas por problemas de estática. Sin embargo, tonos cortos sí podían ser distinguidos.

En los sistemas telegráficos originales tanto la codificación como la decodificación eran efectuados por personas transformando las palabras en tonos y los tonos en palabras respectivamente. La velocidad de transmisión estaba determinada por la velocidad de codificación y decodificación de cada operario.

La razón por la cual en la actualidad se efectúa una codificación de las señales es porque el medio transmisor (aire) continuamente se ve afectado con infinidad de transmisiones que causan errores en la comunicación debido a interferencias. Esto resultaría innecesario si el sistema receptor conociera de antemano la naturaleza de la señal que está por recibir, sin embargo no existen técnicas eficientes para eliminar el ruido en las telecomunicaciones. Sin embargo, este problema se puede solucionar dándole a la señal una naturaleza que la distinga del ruido que la rodea. Esto se logra a través de la codificación.

Existe una segunda razón que justifica la codificación de las señales, se trata de la demanda que existe para codificar las señales ya que hoy en día, la gran mayoría de los sistemas electrónicos de comunicación trabajan bajo formas de comunicación que difieren mucho de las formas de comunicación analógica como son las señales de onda. Existe pues la necesidad imperante de codificar la información.

En un sistema de comunicación codificado, la señal se ve obligada a tomar una única forma discreta. En la mayoría de los casos, las señales así codificadas no permitirán ser corrompidas por ruido. Utilizando una terminología más aceptable, se transmite una palabra que se encuentra en un diccionario de palabras susceptibles a ser transmitidas. En general, la palabra que se reciba no se parecerá en nada a la palabra originalmente transmitida. Si el nivel de ruido no es muy grande, se puede lograr adivinar cuál fue la palabra que en realidad se transmitió. Esta es la esencia de las comunicaciones codificadas.

A continuación se describen las algunas técnicas para procesar la señal.

2.7 Códigos de Línea

El primer paso para diseñar un sistema óptico de comunicaciones consiste en definir el proceso de conversión de una señal eléctrica a una señal digital óptica. Normalmente, la salida de una fuente óptica como un láser semiconductor, se modula aplicando la señal óptica a un modulador externo. Existen dos opciones para llevar a cabo dicha modulación.

Se conocen como regreso a cero (RZ: return to zero) y no regreso a cero (NRZ: non return to zero). En el formato RZ el pulso óptico que representa un "1" dura menos que el espacio de tiempo de tal manera que la amplitud del pulso regresa a cero antes de que la duración llegue a su fin. En el formato NRZ, el pulso óptico se mantiene constante a lo largo de la duración del bit, y no regresa a cero entre dos 1's sucesivos. La consecuencia más importante del formato NRZ es que el ancho del pulso varía dependiendo de la señal, mientras que en el caso del formato RZ, el ancho del pulso se mantiene constante. La ventaja del formato NRZ, consiste en que el ancho de banda del pulso asociado con el flujo de bits, es menor que en el formato RZ simplemente debido a que hay menos transiciones ON-OFF. Sin embargo, su uso requiere un control mucho más preciso del ancho del pulso. El formato NRZ se utiliza mucho en la práctica debido a su estrecho ancho de banda asociado con la señal transmitida. El formato RZ se utiliza en sistemas de alto rendimiento como el caso de los sistemas de comunicación por medio de solitones.

Un punto importante, es el relacionado con la elección de la variable física que se modula para encodificar la información en la portadora óptica. De acuerdo al diseño, se puede seleccionar la variable a modular: amplitud, fase o frecuencia tanto en el caso analógico como en el caso digital.

2.8 Técnicas de modulación digital

2.8.1 Modulación por codificación de pulsos (PCM)

Este tipo de modulación es una aplicación directa de la conversión analógica - digital discutida con anterioridad. Para entender lo anterior, se analizará un caso de comunicación específico.

Se supone que en un sistema de comunicación, la amplitud de cada pulso se redondea para alcanzar un nivel de una serie de niveles. De manera análoga, la función constante en el tiempo se puede redondear en todo su rango lográndose así una función constituida por una serie de escalones. Posteriormente esta función se muestrea de acuerdo a lo establecido.

Existe un error originado por el proceso de cuantización llamado ruido de cuantización. Esto se origina debido a que la aproximación efectuada por las distintas funciones escalón, no es idéntica a la función original. La diferencia entre ambas funciones ocasiona un error.

El universo de señales (alturas de los pulsos) se ha determinado para admitir sólo aquellos niveles de cuantización utilizados. Cada pulso recibido se compara con los pulsos posiblemente transmitidos y así se decodifica de acuerdo a la señal que más se asemeje a la recibida. De esta manera se pueden reducir los errores y ser corregidos.

Este principio de corrección de errores es la mayor razón para la popularidad de la modulación PCM. Si por ejemplo se desea transmitir una señal de Tijuana a Mérida por medio de un cable coaxial, utilizando cualquier medio de modulación, la señal llegaría ininteligible ya que el ruido a lo largo de la línea se sumaría al ruido añadido de cada amplificador. Si por el contrario, la misma señal se transmitiera utilizando la modulación PCM, gran cantidad de errores podría ser anulado. Si además, los amplificadores son espaciados entre sí de tal manera que el ruido generado por ellos fuera menor a la mitad de cada escalón del proceso de cuantización, entonces la señal podría ser regenerada completamente en cada punto de regeneración y ser transmitida como si se tratara del original. En este caso, los regeneradores actúan como repetidores dado que restauran la señal PCM original.

Mientras más escalones de cuantización se utilicen, más se asemejará la señal discreta a la original, es decir, la resolución será mayor. Sin embargo, si el espaciamiento entre cada palabra transmitida disminuye, la eficiencia del sistema decrece.

La forma de establecer la modulación PCM se logra a partir del uso de 1's y 0's. Así, los niveles de cuantización se codifican en base a números binarios, por lo tanto, si existen B niveles de

cuantización, las palabras se pueden codificar por medio de 3 bits, se requerirán de 3 bits para transmitir cada nivel de cuantización. Cada uno de estos pulsos representará un 0 o un 1. Esta característica es la que asemeja al sistema PCM con los convertidores analógicos - digitales.

2.8.2 Modulación Delta

La modulación PCM es un medio excelente para transmitir señales analógicas sin perder resolución de la señal. Sin embargo, este tipo de modulación requiere de codificadores y decodificadores muy complejos y si se desea aumentar la resolución, el número de bits por muestra debe crecer también lo que limita el número de canales que pueden ser multiplexados por división de tiempo.

La modulación delta permite lograr lo anterior sin necesidad de aumentar la cantidad de información en cada muestra.

En el desarrollo PCM, cada muestra era codificada en una serie de pulsos binarios. Cada grupo de pulsos binarios proveía suficiente información para permitir la evaluación y decodificación de la información.

En la modulación delta se utiliza la información del pasado para simplificar la técnica de codificación y mejorar el formato resultante de la señal. Primeramente, la señal se cuantiza a niveles discretos. Pero el tamaño de cada escalón de la aproximación se mantiene constante. La localización de cada escalón se controla de tal manera que correspondan a los instantes de muestreo. Por lo tanto en cada instante de muestreo la forma de onda cuantizada aumenta de acuerdo al tamaño del escalón o bien disminuye de acuerdo a dicho valor. La señal cuantizada debe cambiar en cada punto del muestreo.

Una vez que la cuantización se ha llevado a cabo, se procede a la transmisión de la señal; simplemente se transmite una cadena de 1's y 0's. Un 1 indica una transición positiva mientras que el 0 indica una transición negativa.

2.8.3 Multiplexaje por división en el tiempo

Este concepto fue introducido anteriormente en la descripción de PCM. El enfoque debe ser cambiado dado que cada muestra, en vez de necesitar un solo pulso para la transmisión requiere en este caso, un número igual al número de bits de cuantización. Por lo tanto, por ejemplo, una codificación PCM de 6 bits, requiere de 6 pulsos a ser transmitidos durante cada período de muestreo.

En caso de que el ancho de banda del canal sea tal que los 6 pulsos requieran de menos tiempo que el período de tiempo para ser transmitidos, otros pulsos pueden ser intercalados con los anteriores. Por ejemplo, si la transmisión de los 6 pulsos requiere de 1/20 del período de muestreo, entonces se pueden multiplexar 20

canales. Los 120 pulsos binarios, pueden ser transmitidos durante cada periodo de muestreo de maneras distintas. Una técnica sencilla, consiste en enviar los 6 bits del canal 1 seguidos por los 6 bits del siguiente canal hasta enviar los 6 bits del canal número 20. El proceso se repite secuencialmente hasta completar todas las muestras correspondientes. Lo anterior se ejemplificará con un caso práctico del sistema portador T-11.

Durante principios de los años 60's, se desarrolló la necesidad de proveer de suficiente capacidad a los sistemas públicos y comerciales de comunicaciones digitales. Primeramente, esta necesidad surgió con los canales de voz. En esa época, el sistema Bell ya contaba con un elaborado sistema portador en operación con cables que tenían capacidad de anchos de banda de varios MHz. Las ventajas de la comunicación digital eran consabidas, una de ellas, la inmunidad al ruido. Desde entonces, se han desarrollado técnicas digitales más económicas que las analógicas de tal suerte que muchas transmisiones telefónicas ahora se logran con técnicas digitales.

El sistema portador digital T-11 de Bell se diseñó para ser compatible con sistemas portadores existentes sobretodo para enlazar vínculos entre oficinas, por lo que las distancias eran relativamente cortas entre 15 a 65 km.

El sistema desarrolla una velocidad de 1.544 Mbit/s para una señal digital a través de cable. La señal se forma a través de un multiplexaje de 24 canales de voz. Cada canal se muestrea a razón de 8000 muestras/s. Las muestras se cuantizan entonces en 127 niveles discretos, 63 positivos, 63 negativos y cero. Por lo tanto se requieren de 7 bits para enviar cada valor muestreado. El código para muestrear cada canal, se ilustra en la siguiente figura:

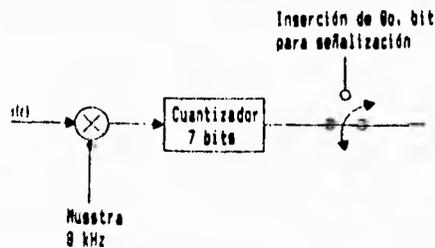


Figura # 2.5

Para cuestiones de señalización se le añade un octavo bit a la muestra. Los 24 canales son entonces multiplexados en el tiempo de acuerdo al siguiente esquema:

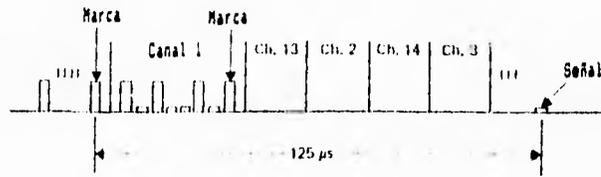


Figura # 2.6

El orden interpuesto de los canales se debe a un método de combinación requerido por el sistema de multiplexado. Las señales cuantizadas de cada uno de los 24 canales forman una trama y debido a que el muestreo se lleva a cabo a una velocidad de 8 kHz, cada trama ocupa el recíproco de este valor es decir 125 μs.

Existen 192 bits de información y señalización en cada trama (24 x 8) más un bit adicional para sincronización de la trama. Esta señalización de sincronía se lleva a cabo alternando 1's y 0's en este último bit en cada transmisión. La falta de sincronía puede lograr interferencia entre canales.

Con 193 bits por trama y 8000 tramas por segundo, la velocidad de transmisión queda como 1'544'000 bits por segundo.

2.8.4 Multiplexaje por división de frecuencia

La banda comercial de AM ubica el primer canal en los 540 kHz, el canal 2 en los 550 kHz y así a lo largo de la banda. Posiblemente la diferencia más marcada entre este tipo de multiplexaje y los restantes es que las transmisiones son generadas por transmisores que no están sincronizados entre sí. En este caso, el desarrollo del sistema donde todos los mensajes se centralizan en un lugar antes de ser combinados para ser transmitidos. Existen dos características que vale la pena mencionar:

1. La información que debe ser enviada, puede estar constituida por señales sin modular o bien pueden haber sido procesadas en frecuencia por grupos.
2. El enlace entre transmisor y receptor es generalmente cable coaxial o fibra óptica.

En este caso, la transmisión se vuelve de uso particular sin preocuparse por interferencias. Para fines de comprensión se utilizarán subsecuentemente las frecuencias comerciales. Considerense una serie de señales de voz que ocupan la banda base de frecuencias situadas entre los 300 Hz a los 3 kHz. Cada una de estas señales ha sido modulada en frecuencia utilizando la primera portadora en 64 kHz y las subsecuentes separadas por espacios de 4 kHz. Si se suprimen las frecuencias de las portadoras así como las bandas laterales, y las 12 señales se combinan, se obtendrá un sistema de 12 SSSC (single side band suppressed carrier) señales de AM espaciadas 4 kHz que ocupan la banda de frecuencias de 60 a 108 kHz. Esto se denomina un grupo como se muestra a continuación.

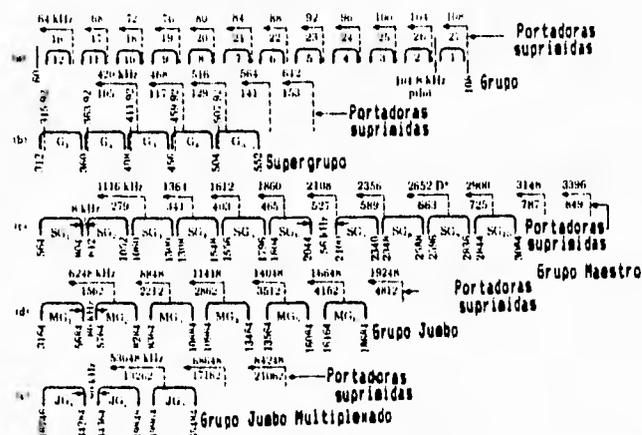


Figura # 2.7

El canal 12 se muestra como la banda lateral inferior de la portadora de 64 kHz, el canal 11 se muestra como la banda lateral de los 68 kHz y así sucesivamente para los 12 canales de la emisión finalizando con el canal 1 en la banda de los 108 kHz. Cada canal entonces contiene un mensaje distinto que puede ser recuperado en el receptor. Debido a que cada señal de voz queda contenida entre las frecuencias de 300 Hz a 3 kHz, y cada una está localizada en un ancho de banda de 4 kHz, este margen define una guarda entre cada mensaje del grupo. Se transmite también una señal piloto en los 104.8 kHz para lograr sincronización así como separación de cada canal transmitido.

Posteriormente se pueden combinar grupos entre sí (por medio de heterodinación) para obtener un supergrupo. Un proceso similar se lleva a cabo para formar grupos maestros a partir de los anteriores. Consecuentemente se puede formar un grupo jumbo. Este tipo de multiplexaje se muestra también en la figura anterior.

CAPITULO III: Tecnología de Enlaces Ópticos

3.1 Diseño de sistemas

Existen muchos temas que deben considerarse al diseñar un sistema real de telecomunicación por medio de fibras ópticas. Entre estos factores se encuentran: longitud de onda operativa, selección adecuada del receptor, el emisor y la fibra así como la compatibilidad entre estos elementos. También es necesario considerar la relación costo - rendimiento y la confiabilidad del sistema. A continuación se describirá el proceso de diseño a partir del presupuesto de potencia así como el presupuesto de operar el sistema a un nivel competitivo en cuestión de capacidad de transmisión de bits.

Para el análisis resulta conveniente considerar especificaciones dadas de antemano como son la razón de bits B y la longitud pretendida de comunicación L . El criterio de rendimiento para sistemas digitales está dado por la razón de bits erróneos (Bit Error Rate, BER). Típicamente esta condición no debe excederse de tal forma que $BER < 10^{-9}$. La primera decisión del diseñador de sistemas digitales consiste en la elección de la longitud de onda operativa. De manera práctica, el costo del sistema es menor cuando λ está en la región de los $0.85 \mu\text{m}$. Dicho costo aumenta si esta longitud de onda se mueve entre $1.3 \mu\text{m}$ y $1.6 \mu\text{m}$. Para esta labor de selección, la figura siguiente es de suma utilidad.

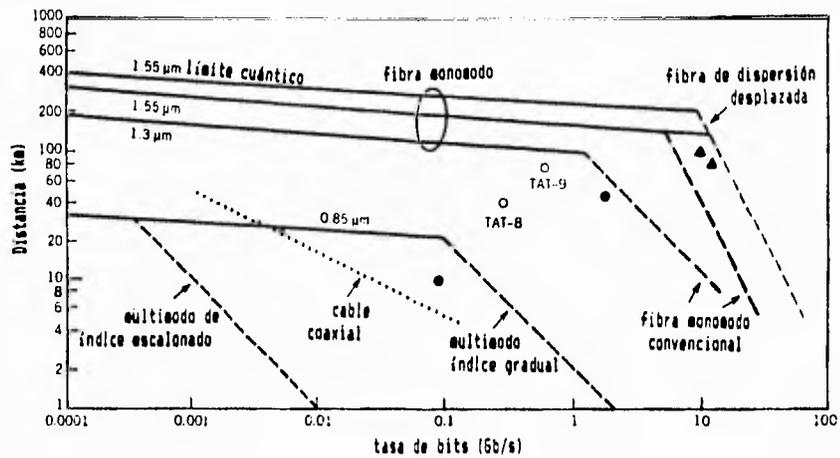


Figura # 3.1

De manera general, un enlace por medio de fibra óptica puede operar cerca de la región de $0.85 \mu\text{m}$ si $B < 100 \text{ Mb/s}$ y $L < 20 \text{ km}$. Este es un caso típico para aplicaciones tipo LAN. Por otro lado, en el caso de transmisiones a gran distancia, la longitud de onda operativa se sitúa entre los $1.3 \mu\text{m}$ y $1.6 \mu\text{m}$ siendo la tasa de transmisión sobre los 200 Mb/s .

3.2 Presupuesto de potencia

El propósito de este factor es asegurar que suficiente potencia llegue al receptor para así lograr un rendimiento competitivo del sistema a lo largo de su vida útil de trabajo. El promedio de potencia mínimo por el receptor para operar equivale a la sensibilidad del receptor P_{rec} . La potencia promedio transmitida P_{tr} se especifica de acuerdo a cada tipo de emisor. La ecuación de potencia que asegura un rendimiento adecuado del sistema toma la siguiente forma; es importante señalar que las unidades están expresadas en decibeles y las potencias ópticas en dB_m :

$$1) P_{\text{tr}} = P_{\text{rec}} + C_L + M_s$$

donde C_L es la pérdida total por canal y M_s es el margen del sistema. El propósito de este margen es crear un factor de seguridad que permita que el sistema opere con un grado de seguridad adecuado aún cuando existan otras fuentes de penalidad imprevistas. Un margen de seguridad de $6 - 8 \text{ dB}$ se incluye en todo proceso de diseño.

La pérdida de canal C_L , debe tomar en cuenta todas las fuentes posibles de pérdida incluidos los conectores así como las uniones fusionadas. Si α_f es la pérdida en la fibra en dB/km , entonces C_L se puede escribir como:

$$2) C_L = \alpha_f \times L + \alpha_{\text{con}} + \alpha_{\text{splice}}$$

donde α_{con} y α_{splice} son los valores correspondientes a las pérdidas en los conectores y en las uniones fusionadas.

Las ecuaciones anteriores pueden ser usadas para estimar la distancia máxima de transmisión de acuerdo a la configuración de los componentes. Como ejemplo, se considerará un enlace por fibra operando a 50 Mb/s y que requiera una distancia mínima de transmisión de 8 km . Como se aprecia en la figura anterior, este sistema se puede diseñar para operar a $0.85 \mu\text{m}$ si se utiliza una fibra óptica multimodo de índice escalonado como cable. Toda vez que se ha seleccionado la longitud de onda operativa, se debe llegar a una definición para determinar el tipo de emisores y receptores a ser utilizados. El transmisor GaAs podría usar un laser semiconductor o un LED. De manera similar, el receptor se puede definir para ser del tipo p-i-n o bien del tipo de silicón APD. Si se desea mantener bajo el costo del sistema, entonces la elección adecuada es el receptor tipo p-i-n. Este tipo de receptores requiere de aproximadamente 5000

fotones /bit en promedio para operar de manera confiable bajo un nivel BER $< 10^{-9}$. Utilizando la relación: $P_{rec} = N_p h \nu B$ con $N_p = 5000$ y $B = 50$ Mb/s, la sensibilidad del receptor se define como $P_{rec} = -42$ dBm. La potencia promedio transmitida por el LED y por los emisores láseres es típicamente de 50 μ W y 1 mW respectivamente.

3.3 Tendido de los cables y estructura de la red

De acuerdo con el actual estado de la técnica, para el área de redes locales están previstos cables de fibras ópticas de entre 10 y 2000 fibras. Algunas de las ventajas de la envoltura suelta y de la técnica de elementos conductores son las siguientes:

- .- suficiente espacio libre entre fibra y recubrimiento para que se compensen alteraciones de tensión entre ambos elementos debidas a esfuerzos mecánicos y fluctuaciones de temperatura.
- .- disposición de hasta 10 fibras en una envoltura lo que permite alcanzar una alta densidad de empaquetamiento.
- .- empleo de juegos de empalme por cada conductor por lo que se facilita la labor de empalme.
- .- diámetros y pesos mínimos del conductor.
- .- estructura del cable libre de metal.
- .- impermeabilidad longitudinal del cable al agua.
- .- variaciones en el nivel de atenuación despreciables.

Para la confirmación de cables completos, deben de ser conocidas ciertas condiciones entre las que se cuentan:

- .- cantidad prevista de fibras y sus propiedades de transmisión
- .- condiciones de instalación (subterránea, aérea)
- .- especificaciones climáticas y geográficas (temperatura, humedad, etc.)

Variando las dimensiones del conductor hueco y el paso de cableado durante el trenzado del alma, por una parte, o variando los elementos de tracción y recalado, por otra, puede ampliarse el rango de uso mecánico y, mediante la elección de otros materiales constructivos, también el uso térmico.

En el tendido de los cables, los cables de fibra óptica ligeros, ofrecen ventajas con respecto a los cables de cobre. Así, los cables de cobre de alta capacidad por su peso y dimensiones, constituyen un factor muy atractivo para considerarlos en las instalaciones de sistemas de telecomunicación óptica.

En la siguiente tabla, se comparan algunas características de los conductores de cobre convencionales con los conductores de fibra óptica.

Cantidad de conductores		Diámetro		Peso		Largo de suministro	
Fo	Cu Pares	Fo mm	Cu mm	Fo kg/km	Cu kg/km	Fo m	Cu m
Cables principales							
50	50	13,5	17,0	100	295	2000	1000
100	100	17	21,5	190	495	2000	1000
500	500	38	40,0	1055	1985	1000	1000
1000	1000	45	50,0	1850	3865	1000	750
2000	2000	66	76,5	2750	7395	1000	333
Cables de derivación							
3, 4, 6	6	10	11,0	95	120	2000	1000
10	10	11	12,5	95	165	2000	1000
30	30	13,5	21,0	100	500	2000	1000
100	100	17	30,5	190	1125	2000	1000
200	200	24	41,5	295	2120	2000	1000

Figura # 3.2

Con la introducción de la técnica de la fibra óptica se ha vuelto necesario replantear la técnica de las redes locales. Como cada empalme causa una atenuación adicional, será necesario diseñar la red de tal forma que estas uniones sean las mínimas indispensables. En realidad es posible reducir los puntos de empalme, si se toman en cuenta los siguientes puntos:

- .- tendido en paralelo de varios cables lo más largos posibles (ahorro de manguitos de bifurcación)
- .- reparto sin manguitos en la central de conmutación
- .- reparto hacia adelante y hacia atrás de los manguitos de bifurcación.

3.4 Plan de atenuación para una instalación de cables ópticos con fibras monomodo

Una instalación de cables de fibras ópticas comprende los largos de cable tendidos y empalmados (conexiones) entre sí. En las mediciones para la recepción de la señal, estas conexiones se separan convenientemente dado que interfieren con la medición y su valor de

atenuación se conoce de antemano. Dando cumplimiento a la técnica de medición, se toman los valores correspondientes a la atenuación que pueden ser sumados entre sí:

$$1) a_k = \sum a_i + \sum E s_j \quad \text{con } a_i = l_i \alpha_j$$

Esta ecuación suministra la atenuación a_k de la instalación de los cables, una vez que se conocen todos los valores parciales. En los valores de atenuación α_j de los largos de los cables se deben considerar especialmente los aumentos de atenuación debidos a esfuerzo en el tendido o variaciones de temperatura. Si el cable se encuentra correctamente dimensionado y especificado de acuerdo a las condiciones de trabajo, este tipo de atenuaciones no se debe presentar.

3.5 Distintas topologías

La aplicación de sistemas de comunicación por medio de fibras ópticas se puede clasificar en tres categorías fundamentales:

- 1) enlaces punto a punto
- 2) redes de distribución y emisión
- 3) redes de área local

A continuación se describen las características fundamentales de cada una de estas arquitecturas.

3.5.1 Enlaces Punto a Punto

Este tipo de enlaces constituye la manera más simple de un sistema de comunicación de ondas ópticas. Su finalidad consiste en transportar la información en forma de señales eléctricas de la manera más confiable posible. La longitud del enlace puede variar desde longitudes menores al kilómetro hasta valores de miles de kilómetros dependiendo de la aplicación en cuestión. Las redes de cómputo, por ejemplo, se utilizan para conectar computadoras y terminales dentro del mismo edificio o entre dos edificios con una inherente corta distancia de transmisión (menor a 10 km). El nivel de pérdidas y el ancho de banda en las fibras ópticas son factores que no inciden en el rendimiento del sistema y la razón por la que se prefiere el uso de la fibra óptica es por su inmunidad electromagnética. Por otro lado, existen los sistemas submarinos de transmisión por medio de fibras ópticas utilizados para comunicaciones intercontinentales. En estos casos, la longitud del enlace puede ser de varios miles de kilómetros. En este tipo de sistemas, interesa un nivel bajo de pérdidas así como un amplio ancho de banda dado que estas características inciden en los costos de operación del sistema.

Cuando la longitud del enlace excede un valor límite, en el rango de 20 a 100 km dependiendo de longitud de onda, se vuelve

necesario llevar a cabo un procedimiento de compensación de las pérdidas ocasionadas en esa distancia. Comúnmente esta compensación se lleva a cabo a través de sistemas de repetidores, que regeneran el valor de la señal para que se pueda recuperar la señal sin distorsiones. Un regenerador no es más que una mancuerna receptora - transmisora que detecta la señal a la entrada, recupera el tren de bits eléctricamente y luego la convierte en un tren de bits ópticos modulando el transmisor. Sin embargo, los sistemas de transmisión de ultra larga distancia sufren de mayores afectaciones por la dispersión en la fibra que por las pérdidas en ella. Sin embargo, los regeneradores sirven también para este propósito ya que restauran las características originales de la señal.

3.5.2 Redes emisoras y de distribución

Muchas aplicaciones de sistemas de comunicación ópticos, requieren que la información no sólo sea transmitida sino que también sea distribuida hacia los suscriptores. Ejemplos de lo anterior son distribución por medio de lazos locales de servicios de telecomunicación así como emisiones múltiples de canales de televisión por medio de CATV. Sin embargo, se ha enfatizado la integración de servicios de audio y video a través de una red digital de servicios integrados (ISDN). Este tipo de sistemas tienen la habilidad de distribuir una amplia gama de servicios que incluyen teléfono, fax, datos de computadora videotexto así como emisiones de video. Las distancias de transmisión son relativamente cortas aunque las velocidades de transmisión pueden ser de hasta 10 Gb/s para redes ISDN super anchas.

La siguiente figura muestra 2 topologías para redes de distribución, en el caso de la primera topología, la distribución de los canales se lleva a cabo en lugares centrales donde un equipo automático conmuta los canales en el ámbito eléctrico. La función de la fibra es similar al caso de los enlaces punto a punto. Debido a que el ancho de banda de la fibra es generalmente mucho mayor que el requerido por una sola central, varias oficinas pueden beneficiarse del uso de una sola fibra. Una preocupación de este tipo de topologías es la confiabilidad del sistema debido a que la falla de una sola fibra puede afectar el servicio en una amplia región de la red.

En el caso de una topología tipo bus, una sola fibra transporta la señal óptica multicanal a través del área de servicio. La distribución se logra usando taps ópticos los cuales desvían una porción de la potencia óptica a cada suscriptor.

Una aplicación simple de la topología tipo bus consiste en la distribución de canales de video dentro de una ciudad utilizando CATV. El uso de fibra óptica permite la distribución de un gran número de canales (aproximadamente 100) debido a su amplio ancho de banda comparado con el de los cables coaxiales. Para el uso de la televisión de alta definición, el uso de fibra óptica es esencial dada la gran cantidad de información que se debe transmitir por cada canal (100 Mb/s).

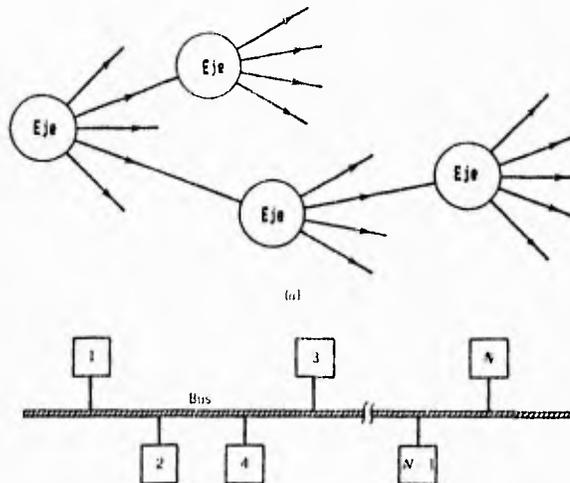


Figura # 3.3

Un problema característico de esta configuración es que las pérdidas en la señal aumentan exponencialmente con el número de taps, limitando así el número de suscriptores.

3.5.3 Redes de área local

Muchas otras aplicaciones de sistemas de comunicación requieren de redes en las cuales un gran número de usuarios se encuentran interconectados de tal manera que cada uno de ellos puede acceder la red de manera aleatoria para transmitir la información a cualquier otro usuario. Este tipo de enlaces se denomina redes de área local (LANs). Debido a que las distancias de transmisión son relativamente cortas, (menores a 10 km), las pérdidas de la fibra no representan una preocupación importante. La mayor motivación ofrecida por las fibras ópticas es el ancho de banda tan grande que ofrecen.

La mayor diferencia existente entre las redes de distribución y las LANs se refiere al acceso aleatorio con la que los usuarios pueden acceder la red. En el caso de las LANs, la arquitectura juega un papel determinante junto con los protocolos que rigen las reglas de trabajo en este tipo de ambientes. Existen tres topologías conocidas como configuraciones bus, estrella y anillo.

Un ejemplo comúnmente conocido de la topología bus está dado por la red ethernet utilizada para conectar múltiples computadoras y terminales.

La figura siguiente muestra dos topologías para aplicaciones tipo LAN, anillo y estrella. En la topología de anillo, se forman nodos a través de enlaces punto a punto para formar un anillo cerrado. Cada nodo puede transmitir y recibir información. Una corriente de bits predeterminada, fluye a lo largo del anillo. Cada nodo monitorea esta corriente para localizar su dirección particular y así poder recibir información y transmitirla.

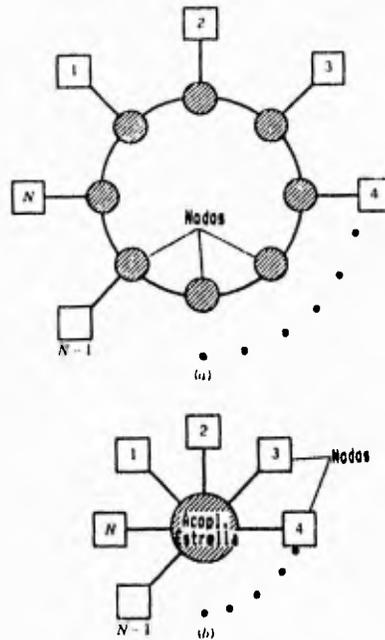


Figura # 3.4

En la topología de tipo estrella, todos los nodos están conectados a través de enlaces punto a punto hacia un nodo central conocido como estrella. Este tipo de LAN's se clasifica también en estrellas pasivas o estrellas activas. En el caso de las estrellas activas, todas las señales ópticas que llegan son convertidas al ámbito eléctrico a través de receptores ópticos. La señal eléctrica es distribuida entonces hacia nodos de transmisión individuales. Las operaciones de conmutación se llevan a cabo en el nodo central. En la configuración estrella pasiva, la distribución se lleva a cabo en el ámbito óptico a través de acopladores direccionales. Debido a que la

entrada a cada nodo se distribuye a otros nodos, la potencia transmitida a cada nodo depende del número de usuarios. De manera similar a la topología bus, el número de usuarios que pueden acometer la topología estrella pasiva está limitada por las pérdidas de distribución.

3.6 Dispositivos de transmisión y recepción

3.6.1 Fuentes Ópticas y Transmisores

La función de un transmisor óptico es convertir la señal eléctrica de entrada en su correspondiente señal óptica. El componente más importante del transmisor óptico es la fuente óptica. Los sistemas de comunicación por medio de fibras ópticas, invariablemente utilizan fuentes ópticas semiconductoras LED's y los láseres semiconductores ya que ofrecen ciertas ventajas. Algunas de estas ventajas son: tamaño compacto, alta eficiencia, confiabilidad, rango de longitud de onda adecuado y la posibilidad de modular directamente a frecuencias muy altas. Esta última característica es de mucha utilidad ya que elimina el uso de un modulador externo, a pesar de que el concepto operativo de los láseres se demostró alrededor de 1962, no fue sino hasta 1970 cuando llegaron a su fase operativa. A partir de entonces, tanto los láseres como los LED's, han sido estudiados extensamente debido a su importancia en las telecomunicaciones.

Conceptos básicos

Bajo condiciones normales, todos los materiales absorben la luz antes que emitirla. El proceso de absorción de la luz se puede entender mejor, analizando la siguiente figura:

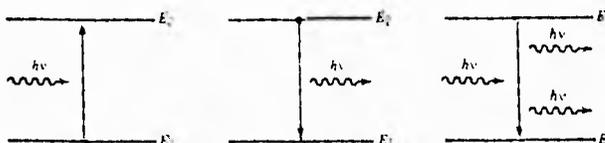


Figura # 3.5

Los niveles de energía E_1 y E_2 , corresponden al estado en reposo y al estado en excitación de los átomos del medio absorbente. Si la energía fotónica $h\nu$ de la luz incidente de frecuencia ν es aproximadamente igual a la diferencia de energías $E_2 - E_1$, entonces, el fotón es absorbido por el átomo y de esta

manera el átomo se excita. Un proceso de atenuación de la luz se lleva a cabo a través de una serie de eventos similares dentro del medio en cuestión.

Los átomos excitados, eventualmente, regresan a su estado de reposo y emiten luz en dicho proceso. La emisión de la luz puede ocurrir de acuerdo a dos procesos fundamentales conocidos como emisión espontánea y emisión estimulada. Ambos se muestran en la figura anterior. En el caso de la emisión espontánea, los fotones son emitidos en direcciones aleatorias sin relación de fase entre ellas. En contraste, la emisión estimulada, se inicia por un fotón existente. Lo interesante es que la emisión estimulada provoca que el fotón emitido asemeje la energía del fotón original no sólo en intensidad o frecuencia, sino que en el resto de características como son dirección de propagación. Todos los láseres, incluidos los láseres semiconductores emiten luz a través de un proceso de emisión estimulada y por lo tanto se dice que emiten luz coherentemente. En contraste, los LED's emiten luz a través del proceso de emisión espontánea. La luz así emitida es incoherente dado que los fotones transmitidos se emiten de manera aleatoria sin ninguna relación de fase entre ellos.

3.6.2 Diodos Emisores de Luz (LED's)

Una unión p-n polarizada directamente emite luz por medio de la emisión espontánea, este fenómeno se conoce como electroluminiscencia. En su forma más simple, un LED es una homounión directamente polarizada. Parte de la luz emitida por el LED escapa del dispositivo y otra parte puede ser acoplada dentro de una fibra óptica. La luz emitida es de forma incoherente y de extensión angular relativamente amplia (aproximadamente 100°)

3.6.3 LASERES semiconductores

Los láseres semiconductores emiten luz a través de emisiones estimuladas. Como resultado de las diferencias entre la emisión espontánea y la estimulada, son capaces de emitir altas potencias (aproximadamente 10 mW), pero además cuentan con una serie de ventajas relacionadas con la naturaleza coherente de la luz emitida. El hecho de que emitan un haz de luz relativamente estrecho logra altas eficiencias de acoplamiento en fibras monomodo, (30 - 50%) comparado con los LED's. Su ancho de banda espectral, también reducido, logra velocidades de transmisión de hasta 10 - 12 Gb/s. Además, los láseres semiconductores pueden ser modulados directamente en altas frecuencias (hasta 24 GHz), debido a los tiempos de recombinación tan cortos inherentes a la emisión estimulada. La mayoría de sistemas de comunicación de ultra larga distancia utilizan los láseres semiconductores como fuentes ópticas debido a su rendimiento superior.

3.6.4 Transmisores Ópticos

A pesar de que la fuente óptica es el componente más importante de los transmisores ópticos, no es el único componente involucrado. Los otros componentes son un modulador para convertir la señal eléctrica en óptica, un acoplador para lanzar la señal óptica dentro de la fibra y un circuito eléctrico que provea de energía a la fuente óptica. A continuación se describen los procesos para lograr la transmisión de la señal.

3.6.5 Acoplamiento Fuente - Fibra

El objetivo en el diseño de cualquier transmisor es acoplar la mayor cantidad de luz posible dentro de la fibra, para así aumentar el poder de lanzamiento de la señal. En la práctica esta característica depende del tipo de fuente utilizada, así como del tipo de fibra utilizada (monomodo o multimodo). Por lo general, se empaca dentro de la fuente un pequeño pedazo de fibra para maximizar la eficiencia durante la fabricación, posteriormente, se une este tramo corto de fibra con el resto de la fibra por medio de un conector.

Existen dos métodos para lograr el acoplamiento entre fuente y fibra. En el primero, la fibra se pone en contacto físico con la fuente y se fija por medio de una resina epóxica. En el segundo, se utiliza una lente entre la fuente y la fibra para así maximizar la eficiencia de acoplamiento. La elección de un esquema u otro depende del criterio de aplicación, sin embargo es importante que la unión mecánica entre fibra y fuente se mantenga constante a lo largo del tiempo. A continuación se muestran ambos procesos a manera de esquema.

El acoplamiento de un laser semiconductor es, en general más eficiente que el de un LED a la fibra. Otro problema que requiere atención es la extrema sensibilidad del laser semiconductor en lo que se refiere a la realimentación óptica. Incluso un nivel relativamente bajo de sensibilidad (< -30 dB), puede desestabilizar al laser y así afectar la eficiencia del sistema. Por lo tanto, es necesario utilizar un aislamiento óptico entre el laser y la fibra en aplicaciones críticas.

La mayoría de los aislamientos ópticos hacen uso del efecto de Faraday que describe la rotación del plano de polarización de un haz óptico en presencia de un campo electromagnético. las características de diseño de un aislamiento óptico son: bajas pérdidas de inserción, alta capacidad de aislamiento (> 30 dB), tamaño compacto y un extenso ancho de banda espectral de operación.

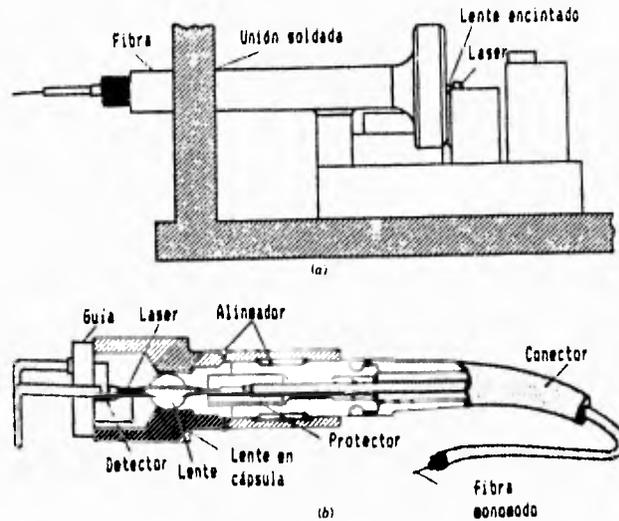


Figura # 3.6

3.6.6 Circuitos de generación de energía

El propósito de estos circuitos es proveer de energía a la fuente óptica y modular la luz a la salida de acuerdo a la señal que será transmitida. Los láseres semiconductores se modulan a través de una señal eléctrica dependiente en el tiempo. Por lo tanto, el circuito se diseña para dar una corriente bias constante así como una señal eléctrica de modulación. Asimismo se utiliza un servomecanismo para mantener la potencia óptica promedio constante.

Los componentes eléctricos utilizados en el circuito determinarán el rango de modulación de la señal a la salida. Para sistemas de comunicación ópticos operando sobre 1 Gb/s, existen corrientes eléctricas parásitas que limitan el rendimiento del sistema. El rendimiento de los transmisores de alta velocidad puede ser mejorado grandemente utilizando técnicas de manufactura monolítica.

3.6.7 Detectores Ópticos Y Receptores

La finalidad de un receptor óptico es convertir a la señal óptica de nuevo a su forma eléctrica y recuperar la información transmitida por el sistema de comunicación óptico. Su componente más importante es el fotodetector que convierte la luz en electricidad a través del efecto fotoeléctrico. Los requerimientos de un fotodetector son similares a los de una fuente óptica, debe contar con alta sensibilidad, bajo índice de ruido, bajo costo y alta confiabilidad. Estos requisitos son llenados satisfactoriamente por los materiales semiconductores. A continuación se describen los elementos y procesos que determinan que la señal llegue a su destino con alta calidad.

3.6.8 Fotodiodos

Una junta p-n polarizada inversamente consiste en una región en la cual un potente campo eléctrico se opone al flujo de los electrones en dirección n - p. Si una unión como la descrita recibe luz de un lado, por ejemplo del lado p, por medio de absorción se crean pares de hoyos de electrones. Debido al fuerte campo eléctrico existente en la zona, los electrones y hoyos generados dentro de esta región se aceleran en direcciones opuestas para llegar a sus correspondiente puertos n y p. El flujo de corriente resultante es proporcional a la potencia óptica incidente.

3.6.9 Componentes receptores

El diseño de un receptor óptico depende en gran medida del formato de modulación utilizado por el transmisor. En lo particular depende si la señal ha sido transmitida en formato analógico o digital. Se supondrá en esta explicación el formato digital. En la siguiente figura se muestra un esquema de un receptor óptico digital cuyo funcionamiento está dividido en tres secciones que serán analizadas en forma individual:

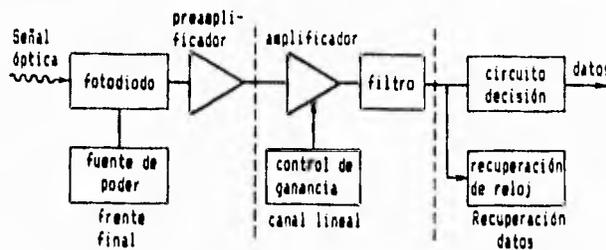


Figura # 3.7

Parte frontal

La parte frontal de un receptor consiste en un fotodiodo seguido de un preamplificador. La señal óptica se acopla al fotodiodo utilizando un esquema de acoplamiento similar al utilizado por los transmisores ópticos. El fotodiodo convierte el flujo de bits en una señal eléctrica variable en el tiempo. La finalidad de preamplificar la señal es para amplificar los impulsos eléctricos para posteriores procesos de recuperación.

El diseño de la parte frontal requiere de un compromiso entre el ancho de banda y la sensibilidad. En algunas ocasiones, se utiliza un ecualizador para aumentar el ancho de banda, este ecualizador actúa como un filtro que atenúa las componentes de las señales de baja frecuencia más que las componentes de alta frecuencia incrementando así el ancho de banda de la parte frontal de la señal.

Canal Lineal

El canal lineal en los receptores ópticos consiste en un amplificador de alta ganancia y un filtro paso bajas. Aquí también se puede utilizar un ecualizador para compensar el ancho de banda limitado de la parte frontal de la señal. El filtro paso bajas da forma al pulso de voltaje de la señal. Su finalidad principal es reducir el ruido que puede traer consigo la señal. En la práctica, la forma del pulso de entrada nunca es rectangular.

3.6.10 Recuperación de la información

La sección de recuperación de datos de un receptor óptico consiste en un circuito de decisión y un circuito de reloj. El propósito consiste en aislar la componente espectral $f = B$ de la señal recibida. Esta componente provee de información al circuito de decisión al respecto del espacio de bit $T_B = 1/B$ y así ayuda a sincronizar el proceso de decisión. En el caso del formato RZ, se encuentra presente una componente espectral $f = B$ en la señal, por lo que la recuperación de la señal es muy sencilla. Sin embargo, en el caso del formato NRZ, la señal recibida carece de esta componente en $f = B$ por lo que la recuperación de la señal se dificulta.

El circuito de decisión compara la salida del canal lineal con un nivel de referencia en tiempos de muestreo determinados por el circuito de recuperación de reloj y así decide si la señal corresponde a un "1" o a un "0". El tiempo de muestreo corresponde a una situación en la cual el nivel de la señal entre un "1" y un "0" es máximo. Esto se puede determinar a partir del patrón ocular formado a partir de la superposición del patrón de 2 señales. A continuación se presentan los patrones oculares para 2 tipos de señales: una pura y otra degradada:

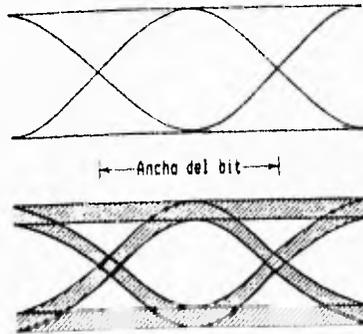


Figura # 3.8

Debido al ruido presente en todo receptor, siempre existe la probabilidad de que un bit sea incorrectamente identificado por el circuito de decisión. Los receptores digitales están diseñados de tal manera que la probabilidad de error sea muy pequeña. El diagrama óptico provee un medio visual para monitorear el rendimiento de la recepción; cuando el ojo se cierra, esto indica que el receptor no está trabajando adecuadamente.

3.6.11 Tasa de bits erróneos (BER)

La siguiente figura muestra un esquema de una señal fluctuante recibida por un circuito de decisión y que es muestreada por éste en el instante t_D determinado por el circuito de recuperación de reloj. El circuito de decisión, compara el valor de la señal con un valor de referencia y lo identifica como "1" si $I > I_D$ o bien "0" si $I < I_D$.

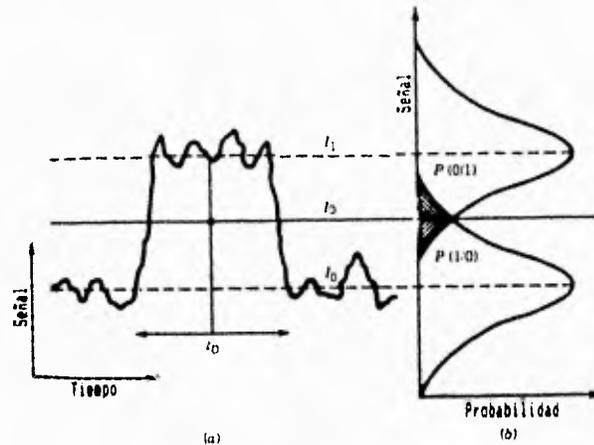


Figura # 3.9

Ocurre un error cuando $I < I_D$ y el bit es "1", de manera análoga ocurre un error cuando para un "0" $I > I_D$. La probabilidad de encontrar un bit erróneo está dada por:

$$\text{BER} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{Q}{\sqrt{2}}\right) \approx \frac{\exp(-Q^2/2)}{Q \sqrt{2\pi}}$$

donde:

$$\operatorname{erfc}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^{\infty} \exp(-y^2) dy$$

$$y \text{ o } Q = \frac{I_1 - I_0}{\sigma_1 + \sigma_0}$$

3.6.12 Rendimiento del Receptor

El rendimiento del receptor está caracterizado por las mediciones del BER en función de la potencia óptica promedio recibida. La potencia óptica promedio recibida correspondiente a una BER 10^{-7} es una medida de la sensibilidad del receptor. En la siguiente figura, se muestra esta relación probada experimentalmente estimulando una fibra monomodo por medio de un tren de bits pseudoaleatorio.

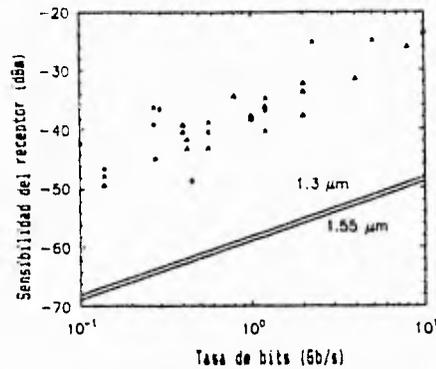


Figura # 3.10

Una comparación directa muestra que la sensibilidad del receptor es inferior a 20 dB o más en receptores prácticos. La mayor parte de la degradación se debe al ruido térmico inherente a todos los receptores. Parte de la degradación se debe también a la dispersión en la fibra.

El rendimiento de un receptor óptico dentro de un sistema óptico de comunicación puede variar con el tiempo. Debido a que no se puede medir la tasa BER directamente en un sistema en operación, la técnica consiste en monitorear el rendimiento del sistema. La siguiente figura muestra los diagramas oculares de experimentos en laboratorio.

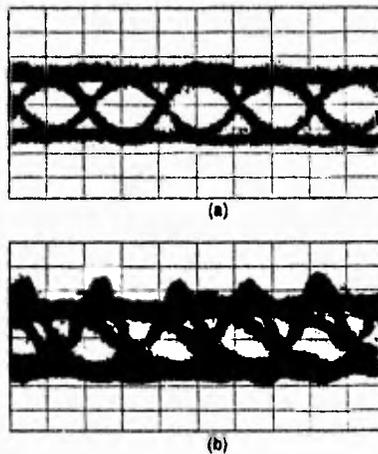


Figura # 3.11

Como se puede apreciar, el ojo se encuentra abierto en ausencia de fibra óptica (diagrama superior) mientras que se encuentra parcialmente cerrado cuando la señal ha recorrido 120 km de fibra (diagrama inferior). El monitoreo continuo de un sistema en operación con base en el diagrama ocular consiste en una técnica común para monitorear el rendimiento de sistemas en operación.

CAPITULO IV: Experiencias mundiales

4.1 Experiencias Mundiales del uso de fibra óptica hasta el usuario

La exposición de esta tesis ha tocado, hasta ahora, temas de naturaleza básica para comprender los principios de funcionamiento de la fibra óptica. Estos puntos son de suma importancia dado que sustentan la base teórica de la transmisión por medio de fibras ópticas.

Sin embargo, todos los temas hasta ahora vistos carecen de importancia si no se plantean en ejercicios reales, ya que es ahí donde se confirman dichos principios. Por lo tanto, a continuación, se presentarán reportes de casos reales del uso de fibras ópticas en sistemas de comunicación. El enfoque con el que se presentan estos casos consiste precisamente en el desarrollo tecnológico de sistemas de transmisión de señales por medio de fibras ópticas desde un punto de vista de llevar la fibra óptica lo más cerca posible del usuario. Estos reportes servirán de antesala para el tema principal de este trabajo.

Cabe mencionar que estos reportes corresponden a experiencias mundiales efectuadas en varios países por lo que son fiel representación de la situación actual de los desarrollos que se llevan a cabo para implementar el uso de la fibra óptica hasta el usuario final.

Caso # 1: Tendencias hacia la red óptica transparente (Inglaterra)

La fibra óptica es el medio de transporte dominante en las comunicaciones a larga distancia. Tan sólo en Inglaterra, el 80% de las comunicaciones de larga distancia se llevan a cabo a través de la fibra óptica. En el mundo el 55% de las comunicaciones de larga distancia se ejecutan por medio de fibra óptica. En muchos casos, el uso de regeneradores se ha anulado y en otros se ha restringido lo que ha creado que el costo de implementación de estos sistemas haya sido reducido atractivamente.

Con el advenimiento de la amplificación óptica, el multiplexado y la conmutación, se abre un potencial para acceder todo el ancho de banda de la fibra lo que representa nuevas estructuras de redes que pueden desarrollarse. A continuación se presentan algunos desarrollos que se han logrado al respecto.

1. Amplificadores Ópticos

Debido a limitaciones en el ancho de banda, los regeneradores ópticos sólo pueden acceder una región limitada del ancho de banda útil. Esta dificultad se puede sobreponer utilizando amplificadores ópticos con base en semiconductores cuya única limitación está dada por los elementos ajenos al sistema.

2. Amplificadores laser semiconductores

Existen dispositivos experimentales denominados pozos múltiples cuánticos (MQW) que ofrecen un potencial de amplificación tanto en la zona de los 1300 nm, como en la de los 1500nm.

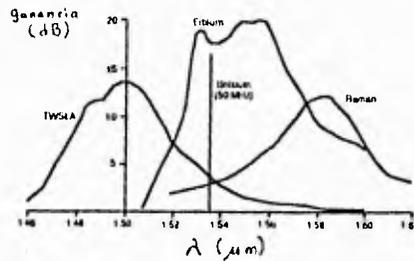


Figura # 4.1

Aunque presentan ciertas complicaciones como puede ser la intermodulación, su tamaño tan pequeño les abre puertas para aplicaciones futuras.

3. Amplificadores de fibra

Básicamente existen tres tipos de amplificadores que comúnmente se conocen: Brillouin, Raman, Erbio.

Debido a que el perfil de ganancia y la longitud de onda central de los amplificadores de erbio se comportan atómicamente estables sin importar el nivel de excitación, son preferidos para uso de amplificación en sistemas ópticos de comunicación.

4. Sistemas punto a punto ópticamente amplificados

Al utilizar sistemas ópticos de amplificación, resultan evidentes una serie de ventajas. En el caso de los sistemas submarinos, los sistemas pueden funcionar con distancias entre repetidores de 350 km. En el caso británico, en la comunicación

terrestre esta distancia es de 200 km. El uso de repetidores no sería necesario si las tasas de transmisión fueran muy pequeñas, sin embargo, para necesidades actuales de transmisión del orden de los Gbits/s, el uso de regeneradores es indispensable.

5. Conclusiones

Ahora será posible transportar información entre varios usuarios o subscriptores para así enlazarlos de manera transparente. Con la ayuda de los esquemas analógico - digitales la aventura del transporte óptico de la información será cada vez más factible y popular.

Caso # 2: Progreso en la tecnología de fibra óptica y su impacto en el futuro (Japón)

La siguiente figura muestra el progreso de los sistemas de transmisión en Japón. Los sistemas se clasifican de acuerdo a tres parámetros: velocidad de transmisión, tipo de fibra y longitud de onda.

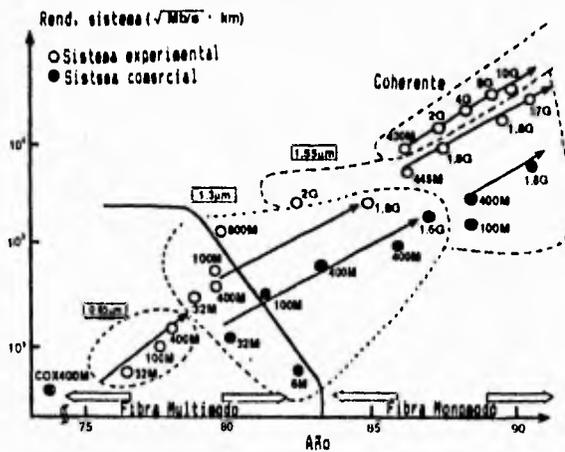


Figura # 4.2

En 1979, con el descubrimiento de la región de pérdidas bajas alrededor de los $1.3 \mu\text{m}$, se experimentó un sistema de 32 Mb/s con una distancia entre repetidores de 53 km. Los resultados concluyeron que las comunicaciones ópticas competirían y eventualmente desplazarían en ciertas aplicaciones a los sistemas existentes de microondas.

El progreso tan importante de los sistemas de comunicación por medio de fibras ópticas debe su origen a tres desarrollos tecnológicos:

- a) uso de regiones en el ámbito de la longitud de onda de bajas pérdidas en el rango de los $1.3 \mu\text{m}$ hasta los $1.55 \mu\text{m}$.
- b) desarrollo de tecnologías monomodo que garantizan anchos de transmisión mayores.
- c) desarrollo de tecnologías de alta velocidad de transmisión incluidos los dispositivos electrónicos así como ópticos.

Conclusiones

Las nuevas tecnologías acelerarán la introducción de los sistemas de fibra óptica y reducirán los costos de los sistemas troncales de comunicación. Más aún, se mejorará la transparencia de las redes así como se reducirá el costo de transmisión de información.

Caso # 3: Escenario de evolución para un sistema de abonados de fibra óptica para el siglo 21. (Japón)

La ventaja más obvia de un proceso de opticalización es llevar a cabo una RDSI de banda ancha a nivel nacional. Para lograr lo anterior es necesario salvar una serie de obstáculos.

La primera pregunta que se plantea es con respecto a qué viene primero, la infraestructura o bien la demanda de usuarios. La idea de NTT es que primeramente, las redes de abonados ópticos deben ser instaladas mucho antes de pretender la implementación de servicios de RDSI en banda ancha. NTT se ha dedicado a instalar sistemas de fibra óptica sobre todo en compañías muy grandes para satisfacer sus necesidades, sin embargo, este tipo de usuarios corresponden solamente al 6% de todos los usuarios y sólo al 20% de los usuarios comerciales. La gran mayoría de los usuarios en Japón corresponden a espacios residenciales o comercios a menor escala, es ahí donde se debe llevar a cabo una opticalización efectiva. La meta japonesa consiste en opticalizar a todos los usuarios de manera pronta pero con la posibilidad de crear una infraestructura compatible con demandas técnicas futuras.

Además la oportunidad que brinda la introducción de la fibra óptica, constituye un punto fundamental para aumentar la eficiencia y simplicidad de las redes de comunicación. Por lo tanto, el proceso de opticalización debe considerar tanto aspectos de usuario como de operación de la red.

1) Perspectivas actuales de opticalización

Existen dos métodos para llevar a cabo una opticalización masiva de las redes: el enfoque de banda estrecha y el de banda ancha. Sin embargo, un sistema de FO, debe ofrecer sus servicios al mismo costo que uno de pares metálicos. En Estados Unidos, el enfoque utilizado consiste en usar sistemas FTTC para compartir costos entre los usuarios.

En Japón, sin embargo, el análisis indica que los sistemas FTTC conllevan reducciones económicas de sólo 20-30%. Esto se debe fundamentalmente a la densidad de usuarios que existe en Japón, en promedio la línea al usuario es no mayor a 2 km de longitud. El enfoque de banda ancha requiere una opticalización integral hasta el usuario para permitir que los servicios a futuro sean compatibles. Sin embargo esto requiere que el punto de multiplexaje se encuentre lo más cerca posible del usuario con el consiguiente aumento de precio del equipo ya que esto implica que menos usuarios utilicen el mismo sistema. Mientras que el sistema FTTC es el más costoso, el sistema FTTF muestra señales muy atractivas y comparables a las de los actuales pares de cobre. Si la perspectiva de desarrollo consiste solamente en el costo, entonces lo más adecuado es opticalizar grupos de usuarios que compartan el costo de los sistemas.

El enfoque cambia si se trata de servicios de banda ancha, los cuales pueden ofrecerse a clientes con una estructura económica capaz de solventar estos costos. Sin embargo, para los usuarios pequeños, la banda ancha resulta poco atractiva.

2) Nueva propuesta de opticalización

Resulta imposible opticalizar a Japón con base en los esquemas hasta ahora estudiados. Se requiere de una tercera perspectiva de opticalización. En el sistema metálico existente, el costo del sistema es proporcional al número de servicios proporcionados. Por otra parte, en un sistema óptico el costo no depende drásticamente del número de servicios ofrecidos.

En Japón, la concentración de usuarios en las áreas metropolitanas crece constantemente. Esto ha ocasionado serios problemas como son baja oferta de casas y degradación ambiental. Para evitar este tipo de problemas, el desarrollo de una red de comunicaciones adecuada es esencial.

Adicionalmente, la demanda de servicios como son distribución de audio y computación personal sigue creciendo. El flujo de información dentro del hogar ha ido creciendo y demanda un enfoque diverso. Las FO ofrecen al usuario cubrir estas necesidades de información de manera efectiva y a costos reducidos a largo plazo. Los sistemas FTTH no sólo brindarán esta opción, sino que además lo lograrán de manera económica. Este tipo de sistemas será el que se desarrolle en el siglo 21.

4. Escenario de evolución del servicio

La siguiente figura muestra la evolución planeada en el servicio de implementación y mejora del sistema de FO. De 1995 al año 2000, se añadirá un servicio de video en un sólo sentido. Para justificar un sistema de video duplex, es necesario esperar a que exista la demanda, lo cual no se espera que suceda sino hasta después del año 2000:



Figura # 4.3

La figura muestra como el sistema japonés desarrollará la RDSI en tres etapas: sistema básico, sistema de video y sistema RDSI de banda ancha.

5. Escenario de implementación

Este número de usuarios y de servicios se ha determinado de acuerdo a las condiciones de penetración en cada localidad. El sistema transporta señales de banda angosta de 1300nm con velocidades de 1.5 Mb/s utilizando esquemas de multiplexaje comprimido.

Es importante que el usuario tenga oportunidad de crecer de servicios de banda estrecha a servicios de banda ancha. Este esquema de escalamiento tecnológico es sumamente importante ya que de acuerdo a él se definirá el tiempo útil de vida así como los datos necesarios para definir el tiempo del retorno de la inversión. Se implementará una capacidad de transporte de banda ancha en un solo sentido

utilizando WDM, este sistema permitirá transportar señales de TV en los 1550 nm utilizando esquemas de modulación analógicos. Sin embargo, por el momento, los servicios de radio AM y FM resultarán más atractivos debido a su compatibilidad con los actuales equipos receptores. La idea consiste en estandarizar las necesidades de los usuarios para lograr sistemas completamente digitales, premisa importante para un sistema escalable en el tiempo.

Caso # 4: Aplicación de redes ópticas pasivas (Inglaterra)

Las redes ópticas pasivas son importantes ya que ofrecen una red potencial futura, inerte, escalable y a bajo costo. Otras arquitecturas requieren de nodos activos que implican un mayor costo fundamentalmente debido al mantenimiento que esto implica. Sin embargo, por el momento redes puramente pasivas son muy costosas por lo que el uso de regeneradores se justifica ampliamente.

Las redes ópticas pasivas incluyen diversas variantes:

- .- punto a punto
- .- punto a multipunto
- .- bus

Las redes punto a punto son muy sencillas en su concepto pero requieren de nodos alternos y de grandes tramos de fibra; por otra parte, la confiabilidad de este tipo de configuraciones está en duda.

Las redes punto a multipunto y de tipo bus, tienen muchos puntos en común. La diferencia básica consiste en la configuración física de la fibra y la robustez prevista en caso de falla. En esta exposición, se enfocará el tema de las redes punto multipunto ya que son las más prácticas para implementar los sistemas TPON (Telephony over a Passive Optical Network). Los sistemas TPON consisten en una red de fibras con sus correspondientes divisores en forma de árbol. La transmisión se diseña enfocando servicios de telefonía con la opción de un escalamiento a servicios de banda ancha como pueden ser señales de televisión o servicios comerciales. Este enfoque se conoce como BPON (Broadband over a Passive Optical Network).

1) Servicio de telefonía a través de una red óptica pasiva.

Una fibra individual se alimenta desde el conmutador y se divide a través de divisores pasivos a un gabinete o punto de distribución (DP) para así servir a un número determinado de usuarios. La clave en la economía del sistema es el divisor óptico el cual es muy económico. Una señal multiplexada en el tiempo se transmite hacia todas las terminales utilizando una frecuencia de 1300nm. La señal es recogida y detectada en el punto receptor en el cual se encuentra el equipo terminal que selecciona el canal correspondiente para recuperar la información. En la dirección de salida (cuando el

usuario llama). la información se inserta en un espacio del tren de información en un tiempo determinado para llegar a su destino en el tiempo y lugares asignados. Este proceso se conoce como TDMA (Time Division Multiple Access). El ambiente de comunicación se rige por un protocolo que establece las relaciones de tiempo y espacio dentro del sistema. En el caso estudiado la señal viaja a 2 Mbits/s.

Una característica importante de este sistema es la inclusión de un filtro que sólo permite pasar las frecuencias del ámbito telefónico, esto no excluye que en un futuro, el sistema pueda manejar otro tipo de frecuencias de banda ancha. En la práctica, el sistema actual no permite el envío de señales de banda ancha debido a las pérdidas sufridas en los divisores pasivos. Sin embargo, estas señales pueden montarse a la fibra en un punto intermedio más cercano al usuario.

Para el experimento de campo Bishop, se utilizó un sistema de subportadora de 16 canales de TV que se multiplexaron eléctricamente utilizando frecuencias de modulación desde los 900 a los 1700 MHz las cuales son responsables de modular el laser de 1520 nm. En la recepción se utilizaron receptores tipo APD de germanio el cual convierte la señal óptica en eléctrica dentro del equipo receptor en el lugar del usuario.

3. Servicios

Los servicios que se transmitieron en el sistema son:

- .- telefonía (un circuito dedicado a cada usuario)
- .- emisiones de TV (16 canales se pueden transmitir, lo cual es una restricción comercial mas no técnica)
- .- audio en estéreo (de 12 a 16 canales se pueden transmitir a distintos usuarios)
- .- videotexto (ciertos usuarios tendrán acceso también a sistemas locales de información sin la necesidad de adaptadores en sus equipos de TV)

4. Conclusiones

Sólo si existe un consenso mundial al respecto del diseño óptico, se podrán obtener dispositivos optoelectrónicos a buen precio y calidad competitiva. Esta prueba tan exitosa induce a la industria mundial de telecomunicaciones a tomar conciencia de la utilidad de los desarrollos ópticos para llevar la fibra hasta el usuario.

La prueba Bishop, indica que el enfoque es el adecuado y que el camino a seguir está definido por una política comercial que impulse el desarrollo de equipos y dispositivos encaminados a popularizar el uso de la fibra óptica.

Caso # 5: Arquitectura y Tecnología de las siguientes generaciones de las redes de fibra (USA)

En los Estados Unidos las compañías telefónicas han estudiado y probado el tema de las fibras ópticas durante los últimos 3 años. La idea consiste en definir la utilidad de utilizar esta tecnología para la transmisión de señales de televisión y de banda ancha. Este tipo de sistemas deben contar con una naturaleza práctica y que compita con los actuales sistemas de transmisión por medio de cobre.

Existen 4 puntos importantes que deben resolverse antes de implementar los sistemas de transmisión de fibra óptica hasta el usuario:

- .- alcanzar un paridad con el costo de las instalaciones de cable de cobre
- .- desarrollar sistemas de energía económicos y prácticos que provean a los sistemas de energía confiable
- .- establecer procedimientos de administración, operación y mantenimiento suficientemente confiables.
- .- aumentar la confiabilidad global del sistema.

Para conseguir lo anterior, los portadores americanos de señales telefónicas están cambiando el enfoque de FTTH a FTTC como se muestra en la siguiente figura:

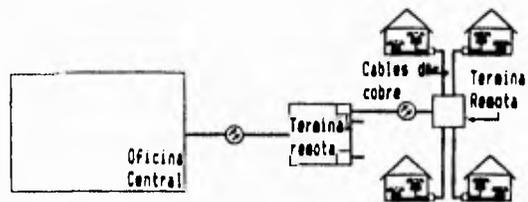


Figura # 4.4

Un punto que puso en duda a los desarrollos de fibra óptica en este país fueron los desastres naturales (terremotos) que se sufrieron en 1989. Esto cuestionó la manera de brindar energía a los sistemas así como la arquitectura de los mismos. Sin embargo, un punto fundamental de este tipo de proyectos consiste en demostrar que todos los servicios que actualmente se proveen a través de cables de cobre, sean provistos por medio de fibra óptica.

1. Perspectiva de costo de los sistemas FTTH

A pesar de que los esquemas actuales de penetración son muy eficientes, el uso de la fibra óptica todavía resulta muy caro debido a los elementos electrónicos con los que debe contar cada usuario en casa. Esta necesidad ha involucrado la perspectiva de dividir los costos del sistema ubicando estos dispositivos fuera de la casa y de uso común entre varios abonados. Sin embargo, otros dos factores son los que también determinarán la utilidad de este tipo de sistemas:

Estos dos factores son: medios de suministro de potencia y servicios agregados que deban transmitirse. Estos aunados al punto mencionado previamente correspondiente al costo de la instalación.

Por el momento todo enfoque que requiera de fibra óptica deberá ser analizado bajo la visión de llevar la fibra óptica hasta la banqueta (FTTC).

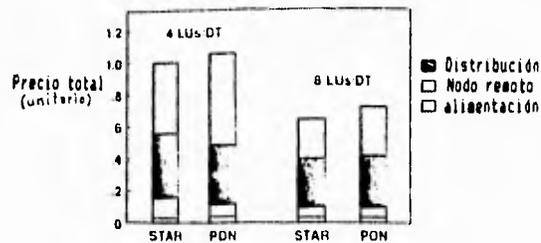


Figura # 4.5

Usualmente, en los Estados Unidos, las compañías de tráfico telefónico basan la justificación de las inversiones con base en la comparación de costo de las alternativas de costo actuales. Por lo que la instalación de equipos complejos como los que requiere la fibra óptica resulta incoesteable desde el punto de vista actual. El reto consiste en identificar un sistema capaz de manejar el menor número de fibras por grupo de usuarios. El uso de frecuencias de TV en este tipo sistemas deberá esperar a encontrar una justificación práctica del uso de este tipo de servicios por parte de la comunidad.

2. Suministro de potencia a la terminal remota

Una terminal remota actual suministra potencia de manera autónoma. Sin embargo, los sistemas ópticos planteados requerirán de un suministro de potencia confiable, de acuerdo a las siguientes posibilidades mostradas:

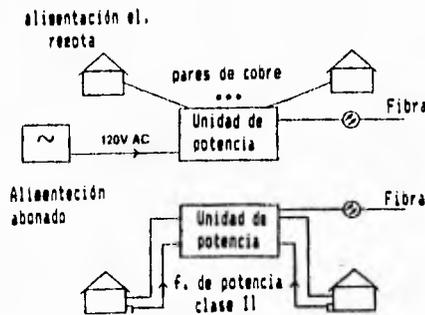


Figura # 4.6

Se debe entender que muchas regulaciones existentes restringen la implementación de servicios de potencia a los servicios ópticos por venir. Además, no se debe olvidar el hecho de que el nuevo proyecto requiere de nuevos teléfonos, y que las redes de cobre actuales ya cuentan con este tipo de equipos por lo que la mentalidad al respecto del costo del proyecto es muy ambigua ya que el abonado intervendrá directamente en el pago de dicha inversión.

Caso # 6: Evolución de los PON's en el lazo local (Holanda)

El objetivo de este proyecto consiste en introducir la fibra óptica en la red local de manera económica. Este enfoque se refiere tanto a las áreas residenciales como mercantiles.

1. Factores que intervienen en la evolución

No resulta fácil predecir cómo evolucionarán las redes locales en los siguientes años, sin embargo, si se pueden reconocer los factores que determinarán dicha evolución. A continuación se presentan algunos de dichos factores:

a) estandarización: la estandarización es un punto clave para el éxito en el desarrollo e introducción de un sistema FTTH. Un sistema de estandarización no debe estar restringido por prioridades individuales, al contrario, debe ser desarrollado de acuerdo a condiciones iniciales pero con vistas a desarrollos futuros. La CCITT se encuentra actualmente trabajando en algunas recomendaciones para E-ISDN, como son los métodos de conmutación y transmisión así como temas de mantenimiento y capacidades de control.

b) servicios: una de las razones para instalar fibra óptica consiste en crear una infraestructura que permita transmitir servicios de banda ancha. Dicha estructura debe ser flexible y ajustarse de acuerdo a la pauta de evolución del sistema en cuestión. La justificación para una red de este tipo debe ser al menos justificable para una serie de servicios que actualmente se demandan. La ventaja es que conforme se adelante en este tema, nuevos servicios podrán ser incorporados sin necesidad de cambiar mayormente el sistema.

c) retorno de la inversión: el tiempo para que una inversión de este tipo se pague, está decreciendo, más que nada debido a los continuos avances tecnológicos que se han llevado a cabo. Como consecuencia de lo anterior, la inversión se puede pagar, en muchos casos, antes de que la instalación del sistema por completo se lleve a cabo.

2. Configuración del escenario

Se han propuesto cuatro distintas topologías para llevar a cabo este proyecto.

La primera se refiere a un enlace tipo LAN en el cual los subscriptores se conectan por medio de una topología tipo anillo. sin embargo esta configuración no es atractiva para suscriptores residenciales; sí lo es para suscriptores comerciales.

La segunda configuración se basa en una red local con un número determinado de niveles jerárquicos. El nivel más alto corresponde a un nivel de alta velocidad. El anillo está interconectando puntos de distribución activos que se encuentran localizados a distancias moderadas de los puntos de uso doméstico (1 km). Esta configuración existe ya como sustituto de anillos de cobre, por lo que los estudios están encaminados ahora a llevar la fibra hasta la casa o hasta la banqueta. Esta configuración requiere de elementos activos en la calle. Esta configuración se adecúa también para clientes comerciales pequeños.

La tercera configuración es una solución íntegra basada en una estrella óptica. Cada cliente se encuentra conectado por medio de su fibra óptica personal hasta el centro de conmutación más cercano. La ventaja de esta configuración es el hecho de que no se requiere equipo electrónico en la calle, lo que reduce los costos de mantenimiento y aumenta la confiabilidad de la red. En caso de falla, sólo un usuario queda aislado del resto del sistema. Sin embargo, al ser cada fibra dedicada, el proyecto se complica y no ofrece ventajas respecto a los sistemas de cobre actuales.

La cuarta configuración corresponde a la arquitectura óptica pasiva de árbol. Esta configuración soluciona algunos de los problemas presentados por la configuración tipo estrella. Debido a que el costo del equipo local se divide entre varios usuarios, el costo de la inversión es sumamente atractivo, además este tipo de servicio distribuido presenta costos directos de servicio menores.

De acuerdo a los estudios y cálculos desarrollados, se ha concluido que la última configuración es la más atractiva. La relación óptima se obtiene al dividir la señal en relaciones 1:32 o 1:64. La ventaja de esta configuración es además que nuevos servicios se pueden añadir en el futuro en longitudes de onda adicionales.

3) El caso holandés

En Holanda, la compañía encargada de las comunicaciones (PTT) está llevando a cabo una prueba de campo FTTH con base en un esquema de árbol óptico pasivo para abonados domésticos, el sistema trabajaría en un esquema WDM. Las características técnicas son:

ventana 1300nm inferior: POTS o RDSI via TPON
 ventana 1300nm superior: señales CATV
 ventana 1500nm inferior: servicios básicos RDSI
 ventana 1500nm superior: funciones CMC

Se instala un cable de 24 fibras entre el conmutador local y el área que será provista de servicios. En esta área, el cable se instala como configuración anillo a lo largo de 6 puntos de distribución. Posteriormente un segundo tramo de cable se regresa al punto de conmutación. El cable madre contiene 6 grupos de 4 fibras cada uno. En cada punto de distribución, un alma del cable madre se secciona para tener acceso a 8 extremos de fibra como se muestra a continuación:

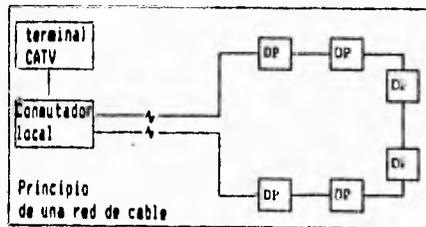


Figura # 4.7

Estas puntas o extremos se utilizan para conectar hasta 6 clientes comerciales al sistema. Otra punta se reserva para conectar hasta 32 abonados domésticos.

Todo el sistema se instala bajo tierra para aumentar la confiabilidad y la seguridad del sistema. En un periodo no mayor de 5 años, se ofrecerá el servicio de CATV.

Caso # 7: Evolución técnica de sistemas FTTH y su impacto en los servicios de telecomunicación. (Japón)

En términos a largo plazo, la NTT planea conectar todos los hogares japoneses a un sistema de fibra óptica en los inicios del siglo XXI. Sin embargo la pauta de aplicación de este sistema depende de 2 factores fundamentales: primero, el costo para implementar sistemas FTTH es mayor que el de sistemas de cobre actuales. En segunda instancia, todavía queda por definir el tipo de servicios adecuados para ser transmitidos vía cable óptico hacia estos hogares.

Por lo tanto, resulta esencial definir el procedimiento para determinar cuándo y qué tipo de servicios son los más adecuados para los sistemas FTTH. Por el momento, la política de la compañía está determinada a montar la infraestructura para servicios actuales así como diseñar esta estructura para futuras demandas de servicios. Por lo tanto se están instalando sistemas a partir de los siguientes objetivos:

- .- proveer servicios a altas velocidades o bien servicios de banda ancha.
- .- disminuir la carga de los sistemas subterráneos.
- .- proveer de servicios de telefonía y RDSI a nuevos polos de desarrollo geográfico.
- .- reemplazo de sistemas anticuados.

Este proceso se continuará hasta 1995 fecha en la cual, la red digital estará completamente terminada por lo que la capacidad de proveer servicios de banda ancha estará disponible. La red evolucionará de acuerdo a la demanda de servicios por parte del abonado. En este proceso, se visualiza el concepto FTTZ (Fiber to the zone) como escalón intermedio para llegar a FTTH. Una zona cubre una zona de servicio de hasta 2000 suscriptores. Por el momento, la compañía está implementando pruebas piloto para determinar el tipo de servicios a ser implementados en la red futura.

Escenario de desarrollo.

La evolución de una red convencional hasta una red de fibras ópticas, depende de las características específicas del área donde se implementará el sistema. Estas perspectivas incluyen los conceptos FTTO (Fiber to the Office), FTTZ y FTTH. A continuación se presentan los esquemas deseados:

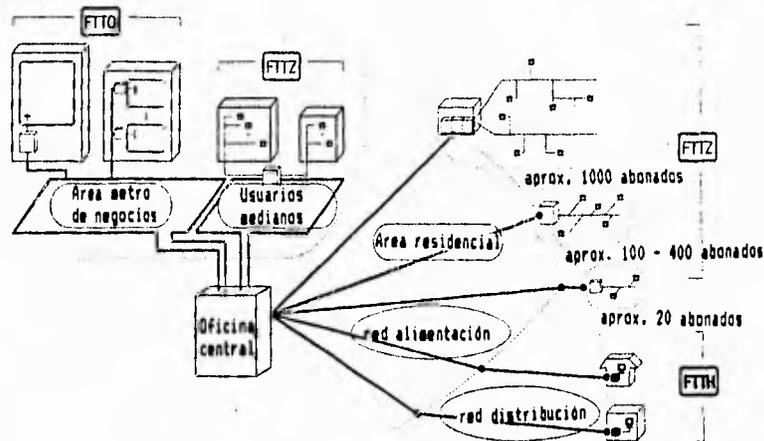


Figura 4.8

Sistema FTTO como primer paso

La NTT se encuentra promoviendo esta perspectiva en zonas densamente pobladas como en Tokyo, Osaka y Nagoya. Afortunadamente la competencia tan reñida por los servicios de valor agregado obligan a las compañías locales a establecer una pauta muy activa de instalación de este tipo de sistemas. La tecnología utilizada en sistemas FTTO se denomina terminal remota que es un tipo de portadora de lazo digital.

El enfoque en este caso está en función de aquellos edificios con multitud de usuarios (hasta 40 líneas). En un segundo paso, se planea escalar el sistema para usuarios más pequeños. La idea consiste en instalar este tipo de sistemas sobre todo en edificios nuevos o bien en existentes reemplazando los cables de cobre.

Desarrollo de sistemas FTTZ

En cuanto al desarrollo de sistemas hacia áreas o centros comerciales se están considerando las siguientes tres alternativas:

- .- instalar fibras ópticas sólo cuando la demanda de servicios de alta velocidad o de banda ancha sea requerida.
- .- instalar sistemas de fibras ópticas con vistas a futuros servicios de banda ancha.

.- instalar fibras ópticas en aquellos casos en los cuales quede inmediatamente demostrada la justificación económica sobre los actuales sistemas de cobre.

La última alternativa es la que mejor panorama presenta para la implementación de sistemas FTTH. La aplicación paulatina de fibra óptica en áreas en donde desde un inicio quede demostrada la justificación económica, puede ahorrar mucho tiempo. Además, desde un principio se sientan las bases para el desarrollo futuro de la provisión de servicios.

El enfoque FTZ juega un papel muy importante en este proyecto. Como se puede apreciar, este enfoque es un acercamiento del proyecto actual FTTC, ya que la "zona" incluye un rango muy amplio de suscriptores.

Aplicaciones FTZ para TV por cable

En Japón, la mayoría de proveedores de TV por cable sirven a menos de 500 suscriptores en promedio. Sin embargo, se está demostrando que el uso de TV por cable está creciendo. Esta demanda debe ser considerada en el diseño de sistemas ópticos por medio de fibra.

Otro factor que ha influenciado el crecimiento de esta demanda ha sido el advenimiento de la transmisión de programas vía satélite. Además la calidad en la recepción ha obligado a muchos televidentes a cambiar a la opción de TV por cable.

Por lo anterior, los sistemas FTZ serán de gran ayuda para la transmisión de canales de TV.

Implementación de sistemas FTTH

Uno de los mayores pasos para lograr sistemas FTTH, consiste en reemplazar a los cables de cobre por cables de fibra óptica.

Para lograr lo anterior, los cables simplemente se extenderán desde el enfoque FTZ hasta áreas más cercanas al suscriptor de acuerdo a la siguiente figura:

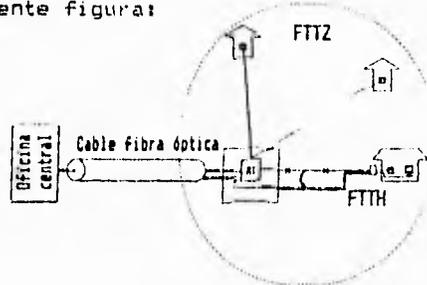


Figura # 4.9

Este esquema tiene dos ventajas fundamentales: la primera consiste en que el enfoque FTTZ se puede implementar para posteriormente pasar al enfoque FTTH. La segunda ventaja es que el enfoque FTTH puede ser instalado sin necesidad de pasar por el enfoque FTTZ. La implementación de uno u otro sistema dependerá del número de usuarios así como de la utilidad de los servicios propuestos.

Proceso de evolución

El enfoque FTTO será el primero en ser implementado. En un segundo paso se instalará el enfoque FTTZ. Sin embargo este enfoque deberá estar sustentado por una sólida justificación económica en relación con el futuro de dicho sistema.

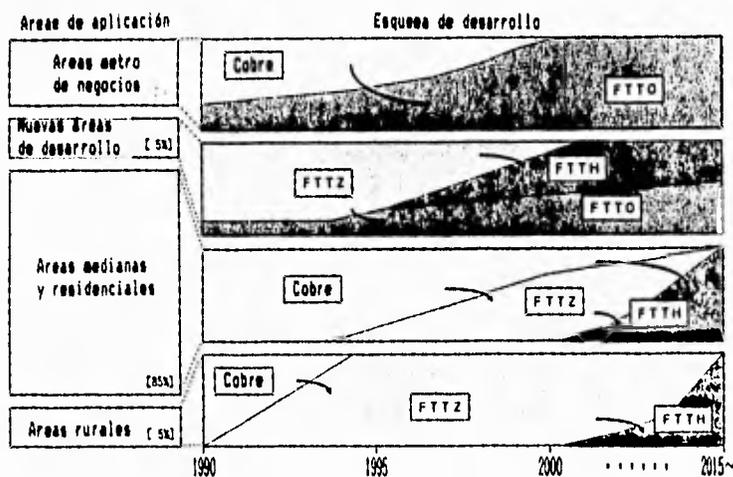


Figura # 4.10

La NTT ha empezado a implementar este tipo de sistemas desde mediados de 1990 y conforme se avance en la tecnología, los sistemas se volverán más económicos. Por lo tanto, los cables de fibras ópticas cuentan con fibras libres para solucionar problemas futuros.

Lo importante de este proyecto es el hecho de que el sistema FTTZ se plantea como una solución intermedia antes de llegar a los sistemas FTTH.

Tecnología para el suministro de energía

La transmisión de información debe mantenerse ininterrumpida aún cuando existan fallas de energía. Por lo tanto, los sistemas FTTZ deben estar diseñados para sobrellevar esta contrariedad. En los sistemas FTTZ, el costo de sistemas autónomos de potencia puede ser absorbido sin mayores problemas ya que cientos de usuarios estarán cubriendo este costo. Sin embargo, si el sistema se centraliza en menos usuarios, entonces el costo crecerá proporcionalmente. Una probable alternativa al respecto consiste en alimentar al sistema con un bus de transmisión de energía que funcione en base a baterías cuando falle la corriente local. Este sistema alimentaría al proyecto de energía a través de cables eléctricos instalados junto con los de fibra óptica.

Cable de fibra óptica

El costo del cable de fibra óptica incide directamente en el costo de este proyecto. Se espera que el precio del cable se estabilice en 30 yen/m debido a mejoras continuas en el proceso de fabricación de los cables. Uno de estos procesos se refiere al de la deposición axial de fase de vapor (VAD) en el cual la fibra y el recubrimiento se procesan de manera simultánea.

Otro costo inminente es el de la instalación de dichos cables. Actualmente NTT trabaja incansablemente para simplificar los procesos de instalación sobre todo en cuanto a reducir los tiempos de instalación.

Componentes ópticos

Como se mencionó anteriormente, la longitud promedio de una red local en el caso japonés es de 2 km. En este esquema, los equipos de transmisión y recepción ocupan un monto considerable del costo total de la inversión. Por lo tanto es necesario reducir los costos de los componentes opto electrónicos que inciden en este proceso.

Caso # B: Tendencias en el proyecto FTTH. (Francia)

Está quedando claro que a largo plazo, la introducción amplia de la RDSI de banda ancha está supeditada a una introducción masiva de

la fibra óptica. Sin embargo, técnicamente, la fibra óptica aún no es necesaria para proveer todos los servicios actuales.

El enfoque de ALCATEL acerca de los lazos ópticos

El enfoque establecido por la compañía estipula que la tecnología beneficiará a las redes ópticas de las siguientes maneras:

A) La fibra óptica permite compartir los servicios actuales y futuros de las redes. En la mayoría de los países industrializados, existen 2 redes para sustentar los servicios de telecomunicación. Esto se debe al tipo de servicios tan diversos que deben ser manejados en ambas redes. La fibra óptica es el único medio confiable que puede conjugar ambos tipos de servicio.

B) Las tecnologías exhibirán próximamente una solución económica a las necesidades presentes y futuras. Actualmente se pueden considerar a los sistemas de fibras ópticas como maduros y eficientes para comunicaciones a larga distancia en las cuales actualmente se utiliza ampliamente. Sin embargo, las necesidades de los usuarios, no concuerdan precisamente con las capacidades de transmisión de los sistemas actuales. El hecho es que en un futuro cercano, se dispondrá de la tecnología adecuada para implementar dichas necesidades. Por lo tanto, Alcatel se ha comprometido en promover y desarrollar varios componentes de las redes que así lo requieran.

C) La fibra óptica es la única inversión segura en el futuro: la tecnología de fibra óptica representa un 50% de la red total de comunicación, además su tiempo de vida se estima entre 20 a 30 años. Sin embargo, cualquier error en la adecuada selección de los componentes integrantes de la red, puede causar gastos irreparables en el proyecto. En el futuro, los servicios se demandarán de manera inmediata, desde servicios residenciales, hasta servicios de banda ancha. La única alternativa segura para lograr lo anterior es la fibra óptica.

Descripción del sistema de ALCATEL

El enfoque de ALCATEL consiste en instalar la fibra como medio de transporte dentro de la red. El sistema puede proveer los siguientes servicios:

- .- una sola red que sostenga todos los servicios actuales así como servicios de CATV de acuerdo a las regulaciones existentes.
- .- una estructura compartida
- .- la posibilidad de escalar el sistema de acuerdo a necesidades futuras.

El enfoque general se presenta en la siguiente figura:

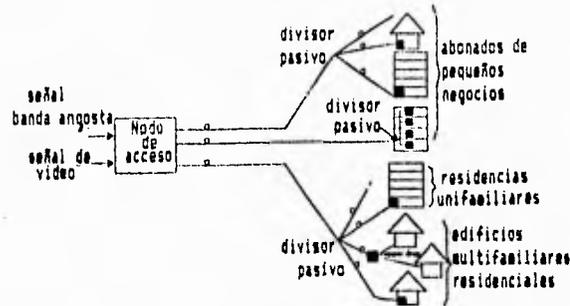


Figura # 4.11

Caso # 9: Evolución de una red de comunicación en Suecia con vistas a una red óptica de banda ancha de fibra óptica. (Suecia)

El reto más grande en el establecimiento de una red óptica de banda ancha consiste en establecer la estructura adecuada de la red local. Este proceso se debe establecer paso a paso de acuerdo a cada nivel de progreso en el proyecto. Para lograr lo anterior, se han establecido algunos conceptos fundamentales:

- .- Una necesidad futura de proveer servicios de banda ancha que la estructura actual no puede soportar. Las necesidades comerciales nacionales e internacionales demandan soluciones de telecomunicación de alta capacidad. Asimismo, los clientes residenciales demandan capacidades de comunicación cada vez mayores. Este es el caso específico de la CATV.
- .- Necesidad de telecomunicaciones ininterrumpidas; la nueva red de telecomunicaciones debe ofrecer los servicios con interrupciones menores o bien programadas así como mayor confiabilidad. Para lograr esto, la red deberá contar con sistemas redundantes así como sistemas de manejo competitivos. En caso de interrupción, los tiempos de restauración deben ser menores. El equipo terminal debe tener la posibilidad de repararse por medios rápidos y eventualmente la reparación de los equipos debe ser de manera modular.
- .- Infraestructura en términos de ductería y edificación: la actual infraestructura consiste de edificios, ductos y cables. En lo que se refiere a edificios y ductería, estos elementos pueden permanecer, sin embargo, el cableado de fibra óptica reemplazará por completo a la actual planta de cobre.

.- calidad de transmisión: de manera adicional a la calidad del servicio, el usuario demandará menores tasas de bits erróneos (BER). Los actuales estándares de 10^{-8} deberán ser reemplazados más bien por tasas de 10^{-10} .

Red de banda ancha para servicios de banda ancha

La red de transmisión óptica que la Swedish Telecom empezó a diseñar a principios de los años 80's, está diseñada esencialmente para los servicios de banda estrecha. Este primer paso implica un mercado futuro para las telecomunicaciones. De acuerdo al esquema planteado, la plataforma para que los usuarios domésticos puedan acceder en un futuro los servicios de banda ancha. De esta manera, se pretende estandarizar la red óptica con vistas a un futuro más competitivo.

Caso # 10: La evolución de la fibra en el lazo residencial; el enfoque de Southbell.(USA)

Perspectiva actual

A partir de finales de los años 70's, hasta hace algunos años, la fibra óptica se ha visualizado como el medio más adecuado para proveer servicios de banda ancha, no así para la provisión de FOTS.

Sin embargo, durante los últimos años, el enfoque FTTC ha sido ampliamente aceptado en los Estados Unidos debido a que compite en costo con los sistemas actuales de cobre y promete grandes ahorros en el futuro. Estudios estimados prevén un ahorro de hasta el 20% en los gastos de mantenimiento en comparación con las actuales redes de cobre. La siguiente figura muestra el perfil de costos relativos entre la red de cobre actual y los enfoques FTTH y FTTC.

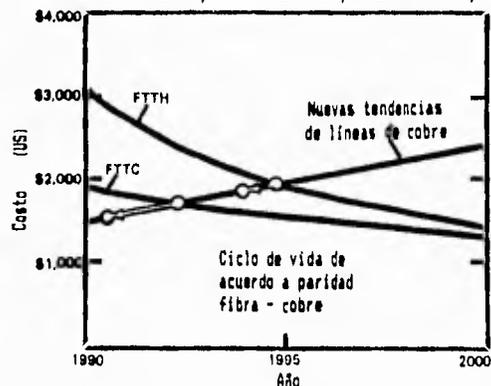


Figura # 4.12

Sin embargo, el proceso de implementación de la fibra óptica de manera integral, que incluye construcción e instalación, se puede llevar unos 20 a 30 años. Esto implica un nivel de uso de la fibra óptica de hasta 50 millones de km de sistemas FITL. Por lo tanto existen aún muchos detalles por ser solucionados para lograr el reemplazo total de la red de cobre. Entre estos detalles se cuentan muchos factores como son: estandarización, desarrollos de tecnología en el ámbito de los componentes electrónicos, desarrollo de estrategias mercantiles así como implementación a futuro de servicios de banda ancha para necesidades presentes de servicios de banda estrecha.

El reto de energizar la unidad óptica de la red

El hecho de que la fibra óptica es un material dieléctrico, obliga a condicionar la transmisión de energía necesaria para surtir a la unidad óptica del usuario, por otro medio. Por lo tanto, para los enfoques RDSI y FITL, la solución radica en energizar a los sistemas de manera remota en el lugar que ocupa el usuario a través de respaldos de baterías locales.

Sin embargo, algunos diseños FTTC han logrado minimizar el gasto de potencia correspondiente hasta el nivel de 1 mW por unidad con lo que se logrará suministrar la potencia necesaria desde la central por medio de pares de cobre.

El tema se complica cuando se trata de proveer servicios de banda ancha como video, en los cuales la demanda de potencia es mayor, en cuyo caso se requiere de un enfoque distinto consistente en el suministro local de energía. Es importante que el enfoque que se pretenda sea consistente con las necesidades de confiabilidad y calidad de servicio que actualmente brinda la red de cobre.

Para el enfoque FITL, ya sea FTTC o FTTH, por el momento se puede manejar la alternativa de suministro de potencia desde la oficina central sin embargo, persiste la necesidad imperiosa de desarrollar sistemas confiables que suministren la potencia desde el punto local.

Servicios más allá de los POTS

Los sistemas FTTC presentan un potencial increíble en cuanto al ancho de banda se refiere, sobre todo para el usuario residencial. Por lo tanto el reto consiste en descubrir el potencial que dicha oportunidad brinda sobre todo para los nuevos servicios.

Dentro de estos servicios se establece el video por demanda así como una nueva serie de servicios que cubre la compra de artículos por TV así como manejo de información interactiva.

Se ha demostrado también que otro tipo de servicios basados en AM, FM y PCM pueden ser transportados por medio de la fibra.

Evolución hacia la banda ancha

Existen varias experiencias mundiales que justifican el desarrollo de la banda ancha a partir de sistemas de banda estrecha. Uno de ellos es el expuesto por British Telecom denominado TFON (Telephony over a Passive Optical Network). La señal es la misma para todos los usuarios. Pero el enfoque consiste en enviar al usuario la información por él requerida, es decir el usuario tendrá la capacidad de acceder la señal común y extraer de ella la que le corresponda. De manera similar por medio de técnicas TDMA, el usuario puede cargar su información a la señal para que sea transmitida a la central y de ahí al receptor.

La siguiente figura muestra el desarrollo de estos servicios dentro del concepto FITL:

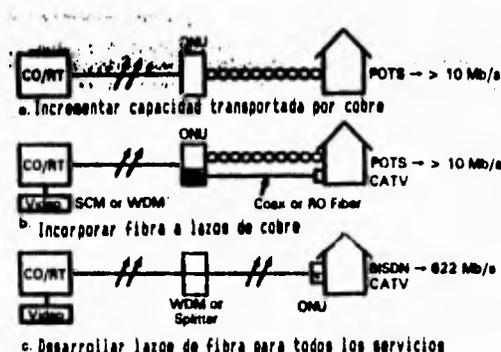


Figura # 4.13

Estructuras de lazo para el futuro

De acuerdo a los esquemas propuestos hace aproximadamente 20 años, la base de las redes actuales de comunicación, se basa en dar servicio a áreas de usuarios de 350 a 650 residencias.

El estudio de costos de las arquitecturas FITL sugiere un nivel óptimo de servicio de 16 o 24 abonados. Lo anterior también justifica la confiabilidad del sistema, ya que serán pocos los abonados que puedan quedar fuera de servicio en caso de existir alguna falla. Esto es importante si se toma en cuenta que la naturaleza de los servicios no será sólo una: además servicios de salud, educación y otros servicios vitales se beneficiarán de estos desarrollos.

El enfoque de Southwestern Bell

El enfoque económico que se persigue es una paridad de costo de US \$ 400 a US \$ 1600 respecto a los sistemas actuales de cobre. El

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

rango de variación tan alto se debe a varios factores los cuales vale la pena mencionar. El primero consiste en que el costo de los servicios que pueden ser transportados por líneas de cobre se comporta de manera lineal, mientras que aquel requerido por las fibras ópticas se comporta de manera no lineal.

Un segundo factor está determinado por la densidad demográfica de la zona que requiera el servicio ya que no es lo mismo instalar un sistema en un área densamente poblada que efectuar la instalación en zonas rurales de baja densidad y de difícil acceso.

Sin embargo, muchos estudios fallan al reconocer las ventajas reales de la fibra óptica en relación con las del cobre; los estudios llevados a cabo en Southwestern Bell demuestran una ventaja de 1 a 4 en lo que se refiere a mantenimiento. La explicación es sencilla y consiste en que los fotones que viajan por la sílice efectúan un recorrido más eficiente que los electrones que transportan la información en el cobre. Por lo tanto una sola fibra puede reemplazar cientos o miles de pares de cobre.

A continuación se presenta la estructura de costos de cada unidad terminal de acuerdo a las fechas de desarrollo de la misma:

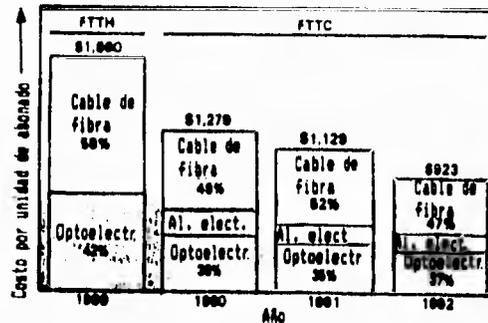


Figura # 4.14

Curiosamente, la implementación de la fibra óptica como medio único de transmisión, empezará de manera gradual, pero llegará un momento en que debido al desarrollo tecnológico al respecto, el avance sea explosivo y conlleve a avances exponenciales al respecto.

A pesar de las dificultades que actualmente se presentan, una cosa está clara: la fibra óptica ofrece mejores posibilidades de desarrollo que el cobre.

Caso # 11: Desarrollo de redes locales en el Reino Unido (Inglaterra)

La red de fibra local

A finales de los años 70's, quedó claro que en un futuro cercano, la redes locales verían por primera vez el advenimiento contundente de la fibra óptica. Esto fue cierto también desde el punto de vista de los servicios de banda ancha como el caso de la TV por cable.

Para este fin, en Inglaterra, se eligió a un pueblo en el centro de Inglaterra de nombre Milton Keynes. El sistema de televisión por cable basó su estructura en una red estrella de fibra. Este sistema proporcionó una selección de 8 canales de TV y un servicio de teletexto de 200 páginas. Este servicio llegaba a 18 hogares. Este sistema operó en 1992 por un lapso de un año, después de lo cual fue desconectado para analizar los resultados.

Arquitecturas de fibra

Las opciones para enlazar sistemas ópticos son estrella, bus y anillo.

Estas topologías tienen algunas variantes las cuales se discutirán a continuación.

Estrella sencilla

Esta arquitectura constituye la analogía exacta con la red actual de cobre. Las redes ópticas de este tipo requieren una gran cantidad de cable de fibra, así como métodos de manejo y fusión de fibra. Las grandes cantidades de cable requieren grandes obras de ingeniería civil. Los requisitos que impone este tipo de sistemas obligan al usuario a tener sistemas de enlace dedicados los cuales tienen costos potenciales muy altos.

Sin embargo, las estrellas sencillas poseen importantes ventajas. Dado que cada abonado es independiente entre sí, se pueden enviar al usuario una serie de servicios con un alto nivel de privacidad. El desarrollo futuro de estos sistemas es ilimitado ya que desde el principio se cuenta con las condiciones adecuadas para llevar al usuario servicios de banda ancha. La confiabilidad del sistema es sumamente alta ya que la desconexión de un usuario por fallas queda automáticamente aislada del resto de abonados sin afectación para estos últimos. Las estrellas sencillas son muy costosas, pero ofrecen grandes ventajas para aplicaciones de negocios.

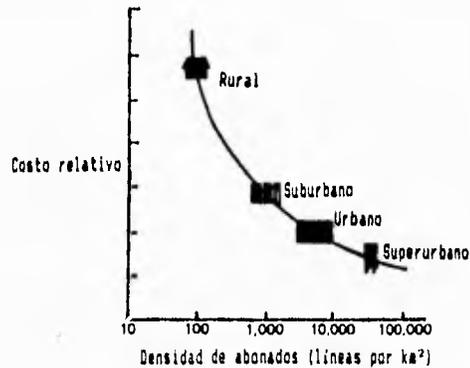


Figura # 4.15

Estrella activa doble

Esta arquitectura es análoga al principio de servicio por medio de portadora con ayuda de sistemas de conmutación y multiplexaje electrónicos remotos. Para uso residencial y de negocios pequeños, el costo del sistema se reduce dado que gran parte del costo del sistema se divide entre varios usuarios. La mayor desventaja que genera este sistema es que requiere de suministro de potencia de manera remota en el lugar donde se ubica el usuario. Asimismo, los costos iniciales del proyecto son relativamente altos.

Sistema pasivo estrella-bus

Este sistema divide de manera pasiva las señales que deben llegar a cada usuario. El procesamiento de la señal se lleva a cabo ya sea en la central remota o en la locación del abonado. En esta arquitectura se aprovecha la fibra al máximo, pero requiere de una utilización sumamente amplia del espectro de la fibra. Los costos iniciales del sistema son relativamente bajos, pero los costos iniciales se dan cuando los abonados se conectan al sistema.

En Inglaterra se ha demostrado que los usuarios comerciales pueden tomar ventaja de estructuras de estrella sencilla mientras que la estrella doble y los sistemas pasivos estrella-bus son muy adecuados para usuarios residenciales y pequeños negocios. A continuación se presentan en detalle las diversas estructuras desarrolladas para servir a dichos propósitos.

Desarrollo de sistemas

Estrella sencilla

La aplicación de las redes de estrella sencilla se utiliza, como ya se mencionó para grandes usuarios. Este tipo de sistemas dedicados transportan servicios de telefonía y de banda estrecha a abonados con 25 o más líneas.

En el futuro se espera que también los servicios de banda ancha puedan ser direccionados hacia pequeños usuarios. Sin embargo, esto dependerá del grado de desarrollo que mantengan los dispositivos optoelectrónicos así como el desarrollo de sistemas de fibra hasta la casa.

Sistema pasivo estrella-bus

Los beneficios de compartir las arquitecturas de fibra entre varios usuarios son evidentes. El objetivo de estos sistemas consiste en desarrollar sistemas telefónicos de baja velocidad pero con vistas a implementar sistemas de banda ancha cuando el mercado y las regulaciones así lo permitan.

En este tipo de sistemas, una sola fibra que sale de la central se extiende hacia los usuarios y se divide por medio de divisores pasivos hasta llegar al usuario. De esta manera la señal TDM se transporta hacia todos los usuarios que así lo requieran. El abonado accesa la señal de acuerdo a una selección predeterminada. Para emitir información, el usuario accesa una trama TDM de manera análoga, logrando así la intercomunicación. Este sistema se conoce comúnmente como Telefonía por medio de una red óptica pasiva y utiliza un protocolo TDMA. Opera a una velocidad de 20.48 Mb/s y puede soportar un máximo de 128 terminales de fibra y 294 x 64 kb/s canales o bien su equivalente.

El manejo del tiempo se logra por medio de un protocolo que determina periódicamente el retraso entre la central y la terminal del abonado. Una característica fundamental del sistema consiste en que existe un filtro que sólo deja pasar aquellas frecuencias relacionadas con sistemas TDM. Consecuentemente, se puede lograr la implementación de servicios de banda ancha por medio de una frecuencia alterna.

Doble estrella activa

En este caso, British Telecom ha logrado la transmisión de señales por medio de formatos FM/FDM desde el punto donde se genera la señal. La central cuenta con puertos de 2 Mb/s derivados de switches de 64 kb/s que se pueden multiplexar para lograr flujos de 140 Mb/s. Este acceso se encuentra típicamente en un gabinete callejero.

Una desventaja de este sistema consiste en que el costo inicial es muy alto, más aún cuando no se tiene certeza del número de canales que podrán ser transmitidos en un futuro cercano. Un tema a definir consiste también en el hecho de que los gabinetes callejeros no constituyen una garantía de servicio debido a fenómenos de vandalismo.

Pruebas de campo

Los estudios han demostrado que tanto la estrella doble activa así como el sistema pasivo estrella-bus, son los más adecuados para la provisión de servicios de banda ancha y estrecha. British Telecom está trabajando en sistemas al respecto tomando en cuenta condiciones orográficas y de servicio impuestas por condiciones reales de operación en el poblado de Bishops Stratford.

Para poder iniciar la prueba, el gobierno ha concedido una licencia a British Telecom para demostrar los siguientes puntos:

- .- posibilidad de utilizar fibra óptica para proveer servicios de telefonía básica.
- .- llevar a cabo comparaciones entre arquitecturas activas y pasivas desde diversos puntos de vista como son: costo, características técnicas, facilidad de operación y respuesta por parte del usuario.
- .- adquirir experiencia en aspectos prácticos de operación de sistemas de fibra óptica incluidos instalación, confiabilidad mantenimiento y control de la red.
- .- ofrecer experiencias necesarias para lograr mayores grados de confiabilidad que los actuales.
- .- Ofrecer a British Telecom, la perspectiva necesaria para competir y discutir temas similares en el contexto mundial.

El rango de servicios ofrecidos por este sistema es la telefonía residencial y comercial, acceso a 18 canales de video, 16 canales de audio en estéreo y servicios de videotexto. Durante la prueba se

incorporarán otros servicios como son: RDSI, telefonía de alta fidelidad, televisión de alta definición y acceso a una librería de video.

Se probarán tres tipos de TPON: al hogar (FTTH), mercantil (FTTD) y a la banqueta (FTTC) con extensiones de cobre hasta cada abonado. El sistema operará en el rango de los 1300 nm.

Costos

El costo de la tecnología de las líneas de cobre depende en gran medida de la localización geográfica de los abonados. En el Reino Unido, la densidad de población varía grandemente entre las poblaciones urbana, rural y suburbana. Estos términos se refieren a la densidad de población y se pueden clasificar de acuerdo al tamaño del grupo poblacional en cuestión. Obviamente a mayor densidad, la incidencia del costo es menor.

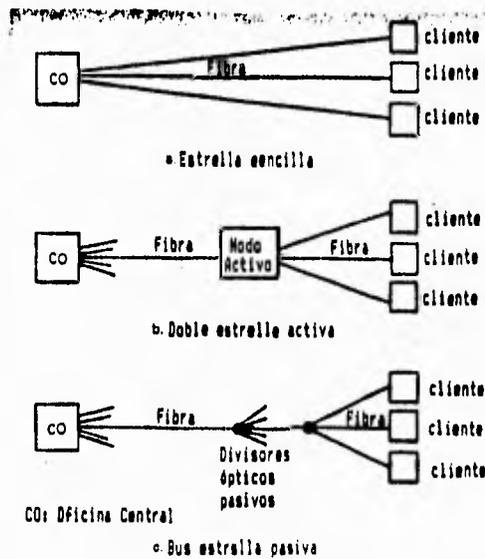


Figura # 4.16

5.1 Introducción

Como se ha demostrado, existen una serie de conceptos fundamentales que logran que la naturaleza de las fibras ópticas sea tan interesante como para efectuar enlaces de telecomunicación locales, nacionales y hasta mundiales.

También ha quedado demostrado a través del estudio de varios casos prácticos, cómo varios países han hecho uso extenso de los sistemas de fibra óptica. Específicamente, los casos presentados apuntan hacia una red óptica transparente que contemple las necesidades de comunicación del usuario así como un grado operativo seguro y competitivo en relación con los sistemas de comunicación convencionales de cobre.

Tales características son agrupadas en gran medida por el modelo de la red óptica pasiva (Passive Optical Network; PON). Este modelo implica enlaces sencillos entre los usuarios así como una condición operativa segura y eficiente. Un punto muy importante a favor de esta alternativa es que se puede implementar con las tecnologías actuales a un costo competitivo siempre y cuando se utilicen varias divisiones por fibra (sistema multiusuario) y no dedicar una sola fibra a cada abonado.

Afortunadamente los trabajos de investigación y desarrollo actuales apuntan hacia una reducción de los costos para el abonado final así como a mejoras tecnológicas que incrementarán el bienestar del mismo.

Por lo anterior la red óptica pasiva resulta ser una mejor alternativa para fines de telecomunicación ópticos hasta el abonado, que el resto de arquitecturas existentes.

La utilidad de los sistemas de transmisión vía fibra óptica ha demostrado su eficiencia en muchos países; además, el diseño y planeación racional de estos sistemas permiten al prestador de servicios obtener beneficios económicos muy atractivos.

La alternativa consiste en ofrecer un servicio de comunicación por medio de fibra óptica hasta el usuario en la Cd. de México; las ventajas de este planteamiento son:

- .- ofrecer un servicio de alta calidad
- .- reducir los costos de operación y mantenimiento de la red telefónica

.- ofrecer la posibilidad de servicios de banda ancha a través del mismo canal de distribución

.- al disminuir los costos de mantenimiento y operación del sistema, y lograr un mayor grado de eficiencia, la utilidad económica crecerá

Como a continuación se expondrá, el concesionario mexicano para servicio telefónico (TELMEX), ya cuenta con experiencia para enlaces del tipo descrito pero sólo activados para usuarios con grandes demandas de comunicación como son grupos corporativos y empresas financieras.

La finalidad de esta exposición pretende escalar el servicio telefónico hasta el abonado común por medio de fibras ópticas.

5.2 Situación actual del servicio telefónico en México

Esta exposición se basa en datos actuales, extraídos del Plan Trienal de TELMEX.

TELMEX, en su carácter de empresa que detenta el monopolio de los servicios de telefonía alámbrica en el país, ha llevado a cabo inversiones millonarias al respecto de modernizar y mejorar el servicio telefónico en el país.

Sin embargo, las necesidades del país rebasan por mucho a dichas inversiones. En un país que cuenta con una población superior a los 90 millones de habitantes y que para inicios del siglo 21 contará con 110 millones de habitantes, el marco definido por el servicio telefónico es anacrónico; es precisamente en la resolución de dichas necesidades donde el uso de fibra óptica tiene una importancia justificada: proveer de servicio telefónico a la población de manera efectiva y económica. Sin embargo, hay que reconocer que la utilidad de los sistemas ópticos de comunicación no tendrá una implementación inmediata dado que la tecnología existente no es económica. También ayudará la presión natural que existirá en cuanto se inicie la libre competencia para ofrecer el servicio telefónico ya que el mercado será relativamente virgen pero muy grande. Quien provea el mejor servicio al menor costo será quien detente la pauta de mercado.

En cuanto a implementación de fibra óptica se refiere, TELMEX ha llevado a cabo enlaces de larga distancia entre centrales. A continuación se muestra el esquema de la cobertura nacional al respecto, así como la tasa de incorporación de este tipo de servicio por medio de fibra óptica.

En definitiva, la implementación de la fibra óptica para larga distancia implica ventajas económicas importantes tanto para TELMEX como para el usuario, esto aunado a la cobertura de los satélites Solidaridad ofrece una cobertura mucho más amplia y efectiva del territorio nacional para fines de comunicación.

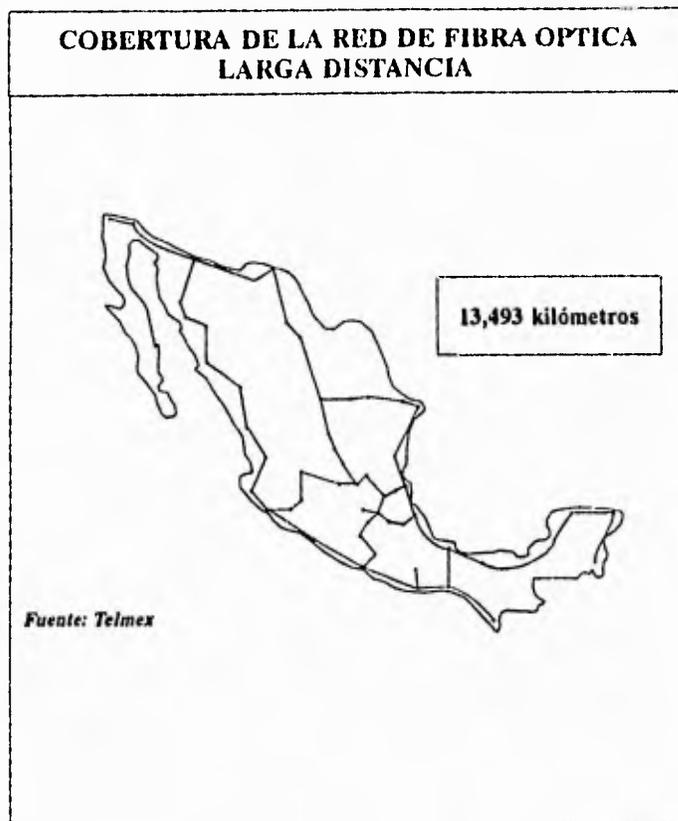


Figura # 5.1

Como es bien sabido, las telecomunicaciones de un país forman un elemento indispensable en el crecimiento de cualquier nación. De hecho, este renglón es tomado en cuenta como fundamental en el análisis mundial que de cualquier nación se haga.

Como se ha visto, todas las naciones industrializadas emplean gran cantidad de sus recursos a la investigación e implementación de sistemas ópticos de comunicación. Esto es cierto para las transmisiones de larga distancia nacionales e internacionales (sistemas transoceánicos), pero también es cierto que la inquietud es la transmisión de señales hasta el usuario, hasta las premisas de su hogar.

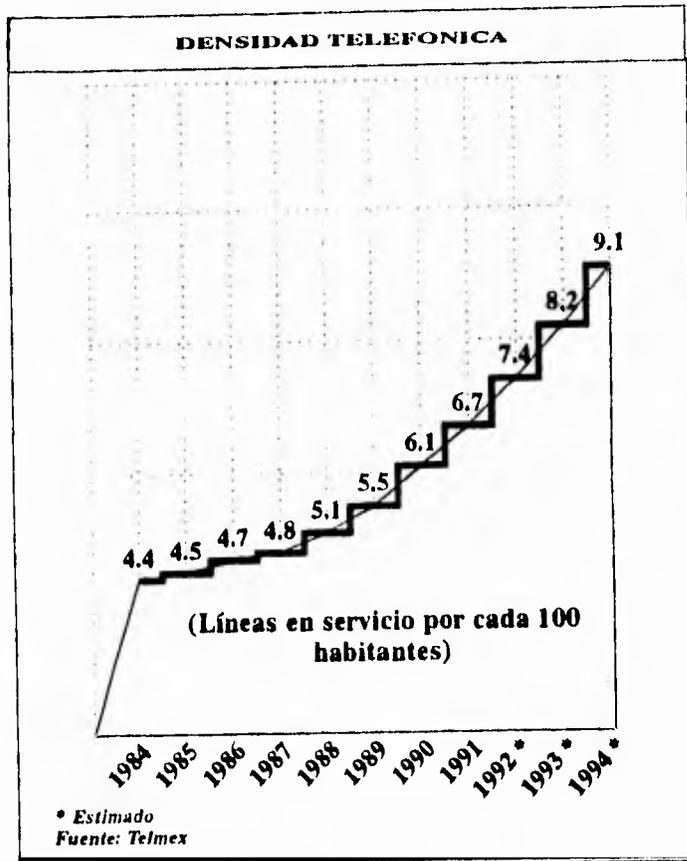


Figura # 5.2

Es por ello, que esta exposición tiene como fin presentar la posibilidad de implementar este tipo de sistemas en México.

Para ello es necesario reconocer que las necesidades expuestas en la gráfica anterior requieren de un estudio a fondo multifactorial para determinar si la alternativa tecnológica aquí expuesta resulta conveniente para dichos fines.

5.3 Experiencia de TELMEX en el uso de la fibra óptica

Como se expuso con anterioridad, Teléfonos de México ha llevado a cabo la implementación de líneas de fibra óptica para aquellos

enlaces de larga distancia nacional, primordialmente para servicio telefónico entre centrales. Asimismo, participa en proyectos de carácter internacional para enlaces submarinos internacionales por medio de fibras ópticas.

Sin embargo, para el fin de este trabajo, resulta de suma importancia analizar aquellos casos en los que TELMEX se ha involucrado como proveedor de servicios de banda ancha entre distancias menores enlazando clientes directamente entre sí.

Este punto es fundamental, ya que con base en estas experiencias se fundamentará la posibilidad de enlazar al abonado último con las centrales existentes.

5.4 Redes Ópticas Flexibles

Teléfonos de México ha implementado un servicio de alta capacidad de transmisión (mínimo 4 Mb/s) el cual sirve para enlazar fundamentalmente conjuntos de usuarios (ubicados en edificios) para brindarles una serie de servicios utilizando el espectro ofrecido por la fibra óptica. La siguiente figura ejemplifica lo anterior:

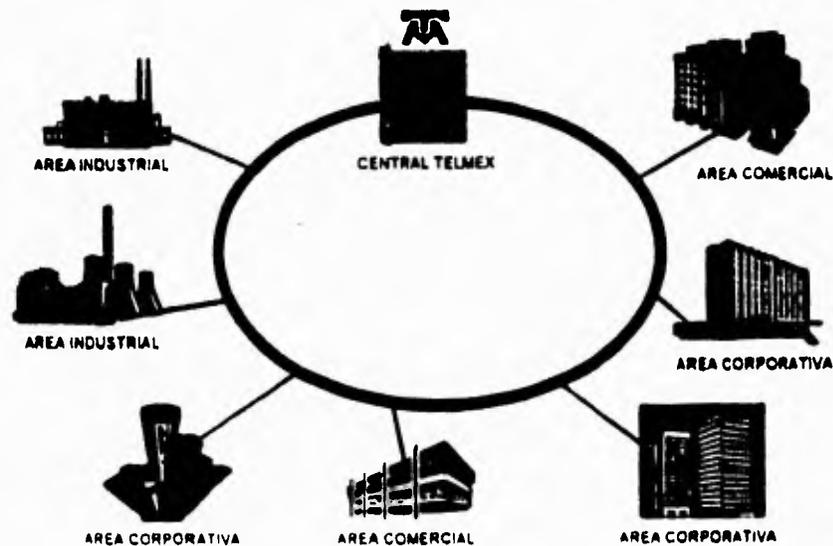


Figura # 5.3

La Red Óptica Flexible (ROF) es una red de conexión de usuarios a la Red Telefónica Conmutada que aprovecha los medios ópticos para el enlace y da ventajas significativas, como son:

- .- mayor calidad de enlace
- .- flexibilidad en el uso (variedad de interfases a diferentes velocidades)
- .- mantenimiento en menores tiempos
- .- uso de medios digitales y ópticos
- .- facilidades para ampliaciones futuras y digitalización de servicios
- .- seguridad del enlace de transmisión

Una característica fundamental de este enlace es que basa su funcionamiento en una red punto a punto. El hecho de que la red sea punto a punto obedece a la necesidad de la alta confiabilidad que requieren los usuarios para la transmisión de la información.

El sistema cuenta con un margen de protección óptimo al contar con 2 líneas dedicadas en la misma trayectoria, en caso de que una línea falle, la otra entrará automáticamente en operación.

Los elementos que conforman la estructura básica de una ROF son los siguientes:

- .- multiplexores flexibles
- .- sistema óptico de distribución
- .- sistema de gestión y supervisión

Los multiplexores flexibles permiten multiplexar las señales determinándose los siguientes tipos de servicios:

- .- telefonía básica
- .- telefonía pública (aparatos de alcancía)
- .- transporte de datos analógicos y digitales
- .- servicios de PBX
- .- líneas privadas

El criterio para el uso de los distintos tipos de multiplexores flexibles utilizados actualmente, se basa en el tipo y cantidad de servicios que se brindarán. De esta manera existen tecnologías de

multiplexaje que se adecúan para grandes flujos de información y aquellos multiplexores que se utilizan para menores cantidades de información.

El sistema óptico de distribución permite el multiplexaje/demultiplexaje de las señales eléctricas provenientes de los siguientes tipos de interfases:

- .- 2 Mb/s (proveniente de los multiplexores)
- .- enlaces de 2, 8 y 34 Mb/s

Asimismo, convierte las señales eléctricas en señales ópticas para aplicaciones de fibras ópticas monomodo y longitudes de onda de transmisión de 1300 nm.

Los subsistemas que componen al Sistema Optico de Distribución (SOD) son los siguientes:

- .- Sistema de Transmisión Optico de Central
- .- Sistema de Transmisión Optico Remoto

La línea óptica forma parte del SOD y se compone de los cables de fibras ópticas dedicadas al transporte de señales entre el usuario y la central así como por todos los puntos de empalme y distribución para dichos cables.

Los equipos SOD se conectan, por un lado, hacia los equipos multiplexores flexibles y hacia flujos de 2 Mb/s provenientes de otros equipos y, por otro lado, se conectan hacia el sistema óptico de línea.

Además, se utilizan los sistemas de gestión y supervisión, los cuales monitorean y controlan las funciones del resto de elementos que intervienen en los procesos de transmisión. De esta manera, pueden intervenir el sistema en caso de falla, o bien efectuar procedimientos de alarma para prevenir problemas irreversibles. El sistema actúa desde lugares remotos utilizando las trayectorias de las líneas ópticas.

Los equipos de Gestión y Supervisión para Redes Opticas Flexibles se pueden dividir en:

- .- Supervisión y Gestión propia de cada elemento de la ROF
- .- Supervisión genérica de las ROF's

De esta forma se puede llevar a cabo el control y monitoreo de la red de manera eficiente y expedita. Como se mencionó anteriormente

este sistema accesa un sistema de prueba y alarma por medio del cual se pueden probar los potenciales de la red sin necesidad de retirarla de servicio. Esto se logra mediante un computador central por medio del cual se logra un acceso a la red en cuestión para llevar a cabo las funciones correspondientes.

Una de las características de los elementos y de la arquitectura de las ROF's es la de poder interactuar con otros equipos diferentes. Esto representa una gran ventaja, ya que conforme se evolucione o se migre hacia la utilización de nuevos equipos, no implicará una gran dificultad para que las ROF's se puedan adaptar a dichos cambios.

De lo anterior, ha quedado demostrado que las denominadas Redes Ópticas Flexibles ya operan y son utilizadas por Teléfonos de México. Lo importante es hacer notar que este tipo de enlaces son utilizados únicamente por usuarios cuyas necesidades de comunicación son muy importantes en cuanto a volumen se refiere, como pueden ser corporaciones comerciales o industriales. De hecho, en la práctica, las ROF's existentes en la Cd. de México enlazan centrales de conmutación con espacios de oficinas y comerciales como son el edificio Parque Reforma y el centro comercial Pabellón Polanco.

Tampoco se debe perder de vista que las Redes Ópticas Flexibles basan su funcionamiento en sistemas punto - punto anulares.

5.5 Propuesta para la implementación de una red óptica pasiva hasta el abonado o sus premisas

Antes que nada es importante mencionar que resulta prematuro determinar un espacio de tiempo o fecha en la cual la estructura denominada Fiber to the Home (FTTH) o su equivalente en español, fibra hasta la casa, pueda ser implementada de manera eficaz en México.

Como causas de esta incertidumbre podemos determinar las siguientes:

.- primeramente, el costo de la tecnología actual de enlace por medio de cobre resulta más bajo que el ofrecido por la fibra óptica.

.- resulta aún prematuro definir el tipo de servicios más convenientes para llevar hasta casa del usuario. Existe una variedad de alternativas que pueden justificar esta definición como son: telefonía básica, televisión, consultas de bancos de datos por TV incluidos servicios de compra venta por este medio, transmisión digital y analógica de información.

Un factor importante a favor de estudiar a fondo la posibilidad de implementar la fibra óptica hasta la casa es el hecho de que en México las necesidades de comunicación son enormes. Según las estadísticas de TELMEX, la densidad telefónica en el país es

aproximadamente del 9%. Esto indica que las necesidades de enlace de la población pueden ser cubiertas por el desarrollo de la tecnología que mejor haga frente a estas necesidades. La fibra óptica es el medio más adecuado para lograr lo anterior de acuerdo a lo que a continuación se expone.

Para lograr la implementación física y práctica de sistemas de fibras ópticas hasta el abonado, existen 4 criterios básicos que deben cumplirse:

- .- lograr una paridad en el costo de los tradicionales lazos de cobre con los lazos de fibra óptica
- .- desarrollar arreglos de provisión de energía que operen los lazos accesibles y prácticos
- .- establecer criterios de operación, administración y mantenimiento que sean eficientes
- .- aumentar la confiabilidad en conjunto de los lazos de fibra óptica

Resulta difícil la prioridad con la que deban solucionarse dichos criterios tomando en cuenta que se encuentran correlacionados.

Sin embargo, resulta claro que la introducción de los sistemas de fibra óptica hasta el abonado, especialmente hasta aquellos clientes pequeños, es la llave que definirá las redes de comunicación de la siguiente generación.

5.6 Criterios de solución

Una disertación interesante consiste en el siguiente concepto:

Qué se debe desarrollar primero:

- a) La demanda de servicios
- b) la infraestructura

Tomando en cuenta las necesidades prioritarias que existen en nuestro país, así como el potencial de la fibra óptica, conviene optar por desarrollar en primera instancia la infraestructura. Esto permitirá al prestador de servicios llevar a cabo la instalación de la red de fibra óptica la cual puede proveer inmediatamente de los servicios. Posteriormente, la misma base de fibra podrá surtir la demanda de servicios que el cliente requiera: desde los servicios primarios como telefonía hasta los servicios que requieran mayores anchos de banda (CATV).

Actualmente, TELMEX ha implementado lazos ópticos hasta edificios de oficinas; sin embargo la gran mayoría de los usuarios

son, y serán, pequeños usuarios residenciales. Este proceso de "opticalización" debe ser promovido intensamente a precios competitivos.

Adicionalmente, el proceso de opticalización permitirá incrementar la eficiencia y sencillez de las redes ópticas.

En este aspecto, TELMEX ha realizado esfuerzos interesantes que han asentado las bases para la expansión futura de la red óptica hasta el usuario final.

La base actual de fibra óptica a estos grandes usuarios puede ser utilizada para proveer de servicios a los pequeños usuarios, simplemente extendiendo la fibra hasta las premisas de los pequeños usuarios e instalando los equipos operativos en los puntos de destino. Particularmente resulta interesante la evaluación del enlace de pequeños usuarios que residan en condominios o edificios. La razón de lo anterior es compartir los costos del equipo terminal dada la mayor densidad de usuarios concentrados en un mismo destino final de la trayectoria de la fibra.

Por otra parte, el equipo existente de las centrales ya está adecuado para las necesidades futuras tanto de pequeños como grandes usuarios.

En cuanto al potencial de transmisión de la fibra óptica en los grandes usuarios, actualmente éste se encuentra muy por debajo de su capacidad neta por lo que sin ningún problema se pueden efectuar enlaces de información que requieran mayores anchos de banda. De esta manera se pueden añadir cantidad de servicios de valor agregado para dichos abonados.

El proceso de implementación de la fibra hasta la casa, no necesariamente debe ser implantado inmediatamente como tal. Afortunadamente, se puede lograr esta meta final a partir de configuraciones iniciales que paulatinamente se vayan acercando hasta las premisas de los usuarios conforme la tecnología y la reducción de costos de la misma vayan evolucionando. De esta manera se puede comenzar con configuraciones como fibra hasta la banqueta o de manera genérica fibra hasta la zona común.

Como se puede apreciar, la esencia de esta propuesta consiste en sistemas punto multipunto los cuales ofrecen la ventaja de utilizar la misma línea de transmisión para varios usuarios, aprovechándose así de mejor manera el ancho de banda de la fibra óptica.

5.7 Implementación de las alternativas propuestas

Literalmente, llevar la fibra hasta la casa no puede justificarse como un sistema de transporte para servicios de

telefonía de banda estrecha. Es un hecho que esta alternativa es muy atractiva dada su simplicidad y máxima penetración sin embargo, el hecho de que se requieren instalar dispositivos optoelectrónicos activos en cada hogar, no puede justificar económicamente esta alternativa sobre la actual alternativa de cobre en base a costos.

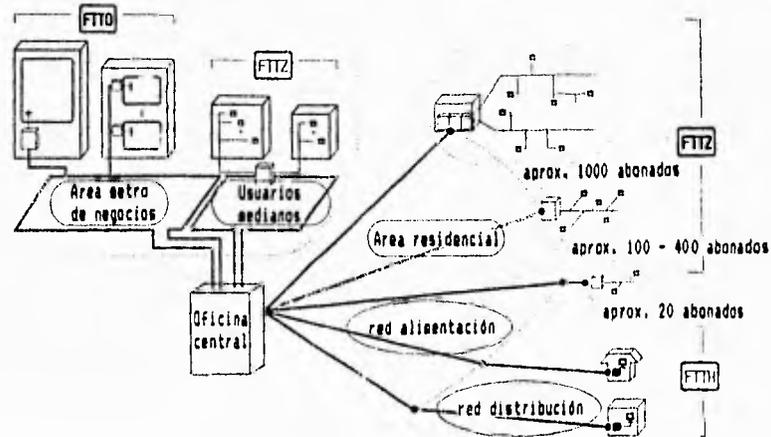


Figura # 5.4

- A: instalar fibras ópticas de acuerdo con el desarrollo de la demanda para servicios de banda ancha.
- B: instalar fibras ópticas de acuerdo a las estimaciones que existan para proveer de servicios de banda ancha y de alta velocidad de acuerdo a una demanda futura
- C: instalar fibras ópticas de manera inmediata en aquellas terminales remotas donde esta implementación pueda abaratar los servicios de telefonía existentes, para posteriormente extender la fibra desde estas terminales remotas hasta la casa (utilizando fibras adicionales) de acuerdo a la demanda local de servicios de banda ancha o de alta velocidad

La alternativa A resultaría demasiado costosa a largo plazo ya que implicaría grandes esfuerzos para primero reemplazar la base de líneas de cobre existente para posteriormente instalar nuevas líneas de fibra óptica. En el corto plazo esto implicaría una concentración de recursos mayoritaria en la segunda fase ya que de manera inmediata se debería alcanzar un desarrollo demandado por los servicios.

La alternativa B es sumamente arriesgada porque actualmente resulta imposible predecir la demanda futura de los servicios de banda ancha con un grado de certeza aproximado.

La alternativa C ofrece un buen enfoque para implementar los servicios de fibra hasta la casa. El hecho de instalar gradualmente sistemas de fibra óptica en aquellas áreas que económicamente puedan solventar la carga que esto implica, permitirá planear de manera simultánea la infraestructura así como responder a los requisitos presentes en cuanto a servicios se requieran.

En este aspecto el enfoque "fibra hasta la zona" juega un papel muy importante tomando en cuenta que se trata de un concepto originado por el enfoque "fibra hasta la banqueta". La aquí denominada zona abarca regiones con pocos abonados hasta aquellas zonas con hasta 2000 abonados que hasta la fecha han sido atendidos por pequeñas centrales.

El esquema de la figura # 5.4 ejemplifica el desarrollo de dicha propuesta.

Es importante insistir que una alternativa que puede justificar la primera etapa de este proyecto es implementar los sistemas ópticos de transmisión entre la central y el usuario y consiste en llevar a cabo este esquema en zonas que combinen una alta densidad de usuarios con un ingreso per cápita suficientemente alto como lo es la zona de Polanco de la Cd. de México. De esta manera, se podría lograr, con base en experiencias reales de campo una evaluación que determinaría el futuro del proyecto.

5.8 Tecnología para enlazar abonados por medio de fibra óptica

Si se toma como punto de partida el hecho de que la red óptica pasiva constituye la mejor alternativa para lograr enlaces por medio de fibras ópticas entre abonados, esto se puede implementar mediante el siguiente modelo tecnológico.

De manera general, el sistema propuesto permite enlazar a los abonados participantes por medio de centrales digitales que pueden interactuar con el sistema por medio de sistemas de control y alarma. El uso de la fibra óptica es compartido la mayor parte del tramo de tendido excepto en las premisas de cada usuario, el cual se enlaza al sistema por medio de fibras independientes que le permiten una comunicación dúplex con su entorno a través técnicas de multiplexaje por división de frecuencia. De esta manera, el usuario comparte los recursos y costos del sistema.

Una ventaja fundamental de este sistema es que permite al usuario el uso de la fibra óptica para varios servicios (incluidos servicios de banda ancha) con lo cual el valor añadido del sistema permite un plazo de amortización menor.

También es importante señalar los aspectos de operación y mantenimiento de la red. El sistema permite a la compañía operadora el acceso necesario para el mantenimiento del sistema. Las versiones

tecnológicas existentes permiten monitorear el comportamiento del sistema de manera rápida y eficiente tratando de no estorbar, en la medida de lo posible, el funcionamiento general del sistema. Esto se logra mediante un sistema de alarmas y operaciones de desconexión de las partes anómalas del sistema. El sistema de monitoreo permite además localizar y aislar la falla así como su corrección remota si esto es posible.

A continuación se describe técnicamente con mayor detalle la propuesta tecnológica para un sistema óptico pasivo hasta las premisas del abonado.

5.8.1 Características del sistema propuesto:

Es un sistema para la red de acceso, compuesto de equipos de central y equipos de abonado. De esta manera proporciona servicios estándar de telecomunicación y de distribución de video (CATV). La manera de integrar dichos servicios es a través de una red óptica pasiva en estrella doble cuya estructura permite integrar todos los servicios actuales en una sola red. El enfoque previsto está dirigido a telecomunicaciones clásicas y a redes coaxiales de CATV. El sistema propone dos alcances dependiendo del servicio que se pretenda:

- .- Banda Ancha
- .- Banda estrecha

A continuación se presenta un esquema funcional del sistema:

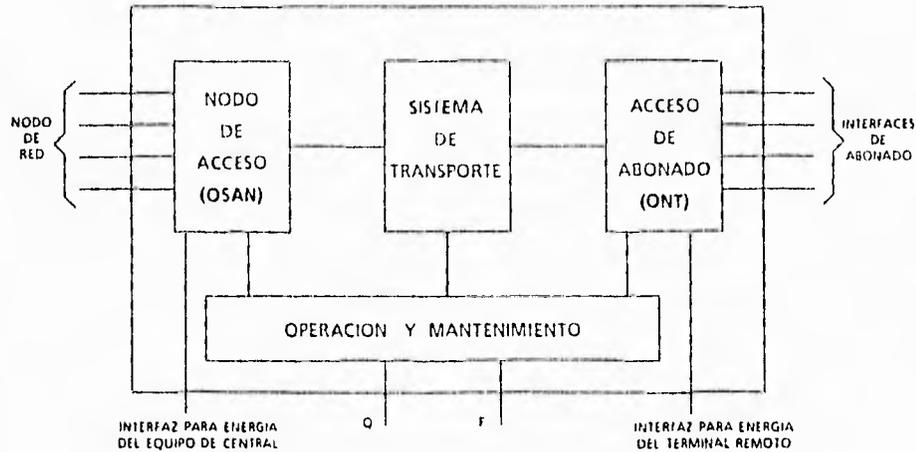


Figura # 5.5

Es necesario mencionar que existen una serie de arquitecturas alternativas dependiendo del lugar en donde se ubique la OSAN:

.- autónoma: está ubicada en las premisas de la central de conmutación, entre ésta y la ONT se encuentra un enlace de fibra. Existe en versiones FTTB y FTTC.

.- remota: se encuentra en una trayectoria intermedia entre la central y la ONT, por lo que hay trayectoria de fibra entre ésta y la central así como entre ésta y la ONT. Esta versión se provee también en versiones FTTB y FTTC. Esta versión resulta la menos apta para ser instalada dada su distancia de ambos puntos conectores del enlace.

.- integrada en la central de conmutación (en versiones FTTB, FTTC), esta versión constituye una opción muy atractiva a futuro ya que se encuentra situada dentro de la central de conmutación.

De estas tres arquitecturas, la autónoma es la que actualmente cuenta con mejor aceptación dada su cercanía de la central de conmutación; por ello la opción planteada por la integrada a la central de conmutación podrá reemplazar en un futuro a la autónoma; la opción remota constituye una alternativa poco práctica y atractiva.

A continuación se ejemplifica la manera en la que el sistema se puede integrar a la red de acceso:

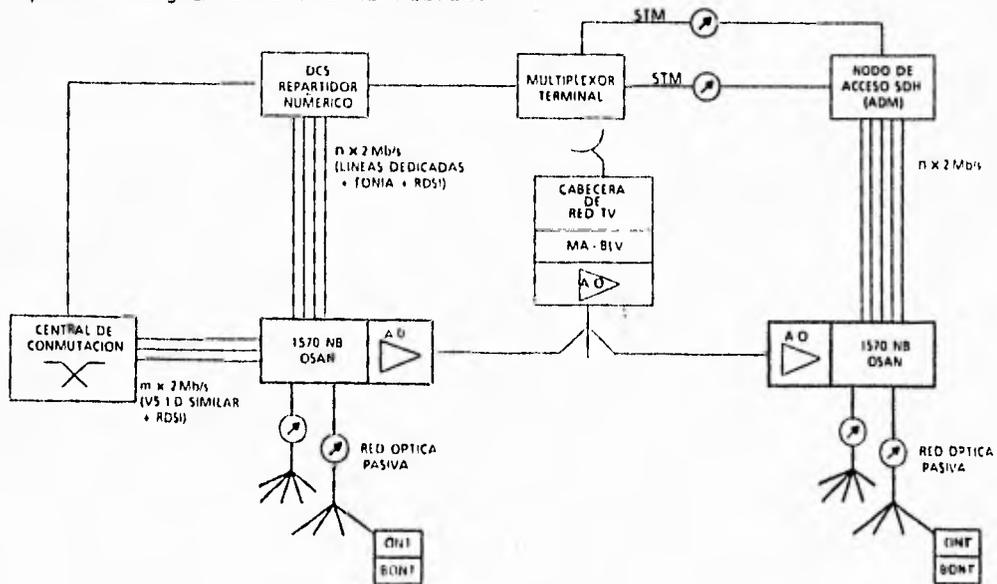


Figura # 5.6

5.8.2 Ventajas y Características técnicas

A continuación se mencionan las características principales del sistema en la red de abonado:

- .- servicios de telecomunicación en banda estrecha y distribución de video con infraestructura común
- .- costo competitivo para telefonía básica
- .- bajo consumo de potencia (menor a 1 W por abonado)
- .- equipo de abonado adaptable a las necesidades del operador
- .- integración de redes de acceso y posterior diferenciación
- .- flexibilidad

5.8.3 Topología

- .- doble estrella
- .- punto a multipunto doble estrella
- .- hasta 32 redes ópticas por red óptica pasiva
- .- margen para enlace óptico de 30 dB.

5.8.4 Areas de uso

- .- urbana: densidad media de abonados, para transmisión de voz y datos.
- .- residencial: nuevos tendidos para fibra hasta el edificio y en algunos casos sustitución de pares de cobre

5.8.5 Tipos de usuarios

- .- residenciales: voz y datos en configuración FTTB
- .- pequeños negocios: 2 a cuatro líneas por cliente con mezcla de servicios
- .- otros usuarios: necesidades mayores a 2 Mb/s

5.8.6 Características de funcionamiento

- .- interfaz de red a 2 Mb/s (RTFC, RDSI, red de datos)
- .- servicios de abonado: fonía (RTFC), BRA, FRA (RDSI) $n \times 64$ kb/s
- .- transmisión punto a multipunto con diversas técnicas:
 - 2 fibras TDM / TDMA
 - 1 fibra TDM / TDMA
 - 1 fibra TDD / TDMA
- .- hasta 32 redes ópticas pasivas por sistema
- .- velocidad de línea: 51.84 Mb/s
- .- margen de enlace óptico de 30 dB
- .- 2 tamaños de ONT: 8 abonados fonía (2 ranuras)
32 abonados fonía (8 ranuras)
- .- alimentación en ONT $220 V_{Ca}$
- .- distribución con granularidad de 64 kb/s en OSAN
- .- diferenciación de servicios en los enlaces 2 Mb/s y en la fibra

- .- sistema automático de medida de retardo para introducir nuevas ONT sin pérdida de servicios en otras ONT, con esto el sistema compensa posibles retardos que se generen debido a la inserción de nuevos abonados en el mismo bucle.

5.8.7 Características de Operación y mantenimiento

- .- supervisión en servicio
- .- lazos para supervisión local y remota
- .- diagnóstico automático
- .- reinicialización automática del sistema
- .- canales de servicio y de alarmas
- .- interfases estándar de O & M para gestión de red

5.8.8 Alarmas

- .- alarma por cada módulo ONT independiente
- .- alarmas clasificadas por categorías
- .- transmisión de alarmas al equipo de central

5.8.9 Capacidad y modularidad

- .- capacidad máxima por sistema: arquitectura OSAN
interfases 2Mb/s: 64
- .- capacidad por módulo óptico: sistema de transporte,
TDM/ TDMA 480 canales 64kb/s o equivalente
TDD/ TDMA 240 canales 64kb/s o equivalente
- .- número de módulos ópticos por OSAN:
hasta 16 (TDM/TDMA)
hasta 32 (TDD/TDMA)
- .- número de fibras por módulo óptico:
2 (TDM/TDMA)
1 (TDD/TDMA)
- .- tipos de ONT: pequeño 8 POTS, 8 BRA, 2 PRA
medio 32 POTS, 32 BRA, 4 PRA

5.8.10 OSAN: Equipo de control Número de redes pasivas por OSAN

El sistema permite escalar el número de redes pasivas por cada sistema OSAN de acuerdo a la demanda de servicio requerida. El nivel mínimo se sitúa en 8 fibras mientras que el máximo es de 32. Esta última configuración asegura una mayor confiabilidad en el servicio ya que en caso de falla en alguna fibra, el resto se encuentra disponible y operando.

5.8.11 Interfaces externas

- Interfaces de 2MB/s con la red:
- .- nacionales (a definir cliente por cliente)
- Interfaz de abonado
- .- Fonia RTPC

- .- líneas dedicadas de datos n x 64 kb/s (1 < n < 11), 6703
 - .- interfaces RDSI, ERA (U/ 4B3T, U/2B1Q, S)
 - .- servicios de datos digitales
- Interfaces de operación y mantenimiento
- .- Interfaz Q en el equipo de central (OSAN)
 - .- Interfaz F (craft) en equipo central (OSAN) y en equipo de abonado (ONT).
- Alimentación
- .- alimentación local de red en equipos remotos (ONT)
 - .- baterías de respaldo

5.8.12 ONT: Terminación de red óptica Arquitectura de la ONT

Una de las ventajas características del sistema es la modularidad con la que cuenta, ya que la estructura interna de cada ONT le permite crecer adicionando tarjetas LIM (Line Interface Module) de acuerdo a las perspectivas de crecimiento del sistema en cuanto a demanda se refiere. De esta manera, se adicionan tarjetas LIM de acuerdo al crecimiento previsto de la red sin necesidad de cambiar o aumentar la infraestructura de cableado en la red.

5.8.13 Operación y mantenimiento

- .- El sistema completo (OSAN, planta óptica y ONT) es un único elemento de red a efectos de operación y mantenimiento
- .- interfaces abiertas a un escenario TMN (Telecom Management Network), el cual supervisa el control de la red.
- .- el dispositivo es controlado localmente desde un craft y/o un dispositivo de mediación. Este dispositivo sirve de enlace tecnológico entre los equipos antiguos y los de nueva generación.

5.8.14 Subsistemas de Operación y Mantenimiento

- .- recolección y gestión de alarmas de los equipos de transmisión y alimentación
- .- pruebas de par metálico y tarjeta de línea
- .- control y medida de la planta óptica
- .- asignación de líneas: tipo de línea, punto de conexión, identificación de abonados, etc.

5.8.15 Interfaces de operación y mantenimiento

1) Control local

- OSAN: Interfaz F : control de la única OSAN por medio de PC portátil.
- Interfaz Q2: interfaz F: control desde un dispositivo de mediación de todos las OSAN y sus ONT's dependientes de una central
- ONT: Interfaz F : control local por parte de un operador en los procesos de instalación y reparación

2) Control centralizado

Interfaz Q3: normalizado con la TMN

5.8.16 Propuesta de arquitectura general de Operación + Mantenimiento

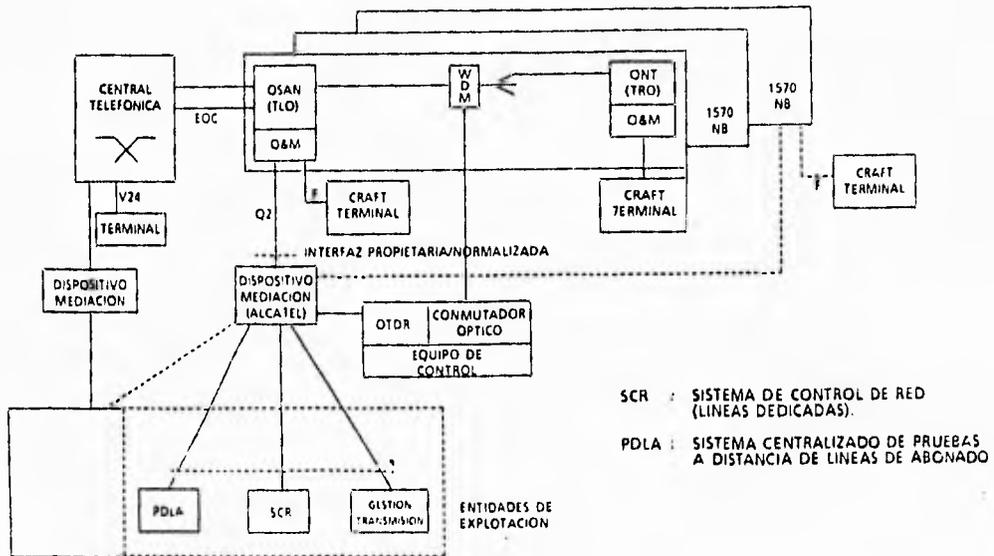


Figura # 5.7

5.8.17 Pruebas de par metálico y de tarjeta de línea

1) Abonados telefónicos:

- .- tarjeta de mediaciones incluida en el equipo remoto ONT
- .- abonado de fonía
 - + pérdidas eléctricas de aislamiento, capacidad y tensiones C.A. y C.D.
 - + pruebas de conversación con el abonado
 - + bucle en el circuito 64 kb/s a nivel de tarjeta de línea
 - + prueba de descolgado en la línea del abonado
- .- abonado RDSI
 - + medidas eléctricas de aislamiento, capacidad y tensiones C.A. y C.D.
 - + activación y desactivación del acceso básico
 - + bucles en terminación red y de línea
 - + prueba de alimentación

- 2) Abonados de datos punto a punto:
- .- funciones
 - + bucle en tarjeta de línea
 - + bucle en modem de usuario
 - + medida de la tasa de error
 - + liberación de bucle

5.8.18 Descripción del sistema de Banda Ancha

Evidentemente, este sistema reviste una trascendencia importante dado que actualmente las redes de alta capacidad son más rentables que las de banda estrecha. El estudio de este tipo de equipos es muy importante ya que además de ser ya utilizado a nivel comercial, es un modelo de cooperación válido para efectuar alianzas entre compañías telefónicas y servicios de telecomunicación alternos que puedan transmitirse por medio de fibras ópticas.

- .- es un sistema CATV (Community Antenna Television) para TV, FM estéreo y radio digital por satélite
- .- utiliza transmisión óptica
- .- es un sistema de fibra en el bucle de abonado (FITL) con equipos instalados en edificios o en la acera, que integra además la parte de transporte desde la cabecera de red y que utiliza amplificadores ópticos en las centrales de distribución
- .- tiene el mismo costo que las redes CATV coaxiales

5.8.19 Características Generales

- .- equipo de transmisión de señal de banda ancha CATV con amplificación óptica
- .- longitud de onda de 1550 nm
- .- número de canales de video: 40 (o su carga equivalente dependiendo del número de canales de audio)
- .- número de canales de audio: 30 canales analógicos estéreo o 16 canales digitales
- .- banda base: 47 - 862 MHz (VHF y UHF)
- .- transmisor óptico: láser analógico de realimentación distribuida (DFB)
- .- potencia óptica radiada: + 3 dBm
- .- índice de modulación: variable
- .- amplificadores ópticos: EDFA (Erbium Dopped Fiber Optical Amplifier)
- .- alcance: cabecera de red a centro de distribución: típico 6km, máximo 25 km. Centro de distribución a BONT: típico 2 km, máximo 10 km.
- .- relación de división: depende de la topología de red (desde 1:2 hasta 1:32).

5.8.20 Red de referencia

RED DE REFERENCIA

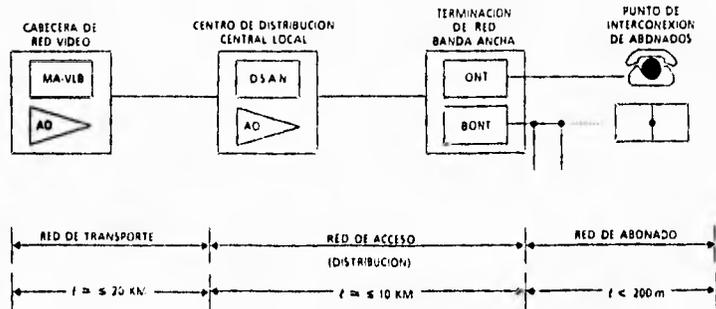


Figura # 5.8

5.8.21 Arquitectura General

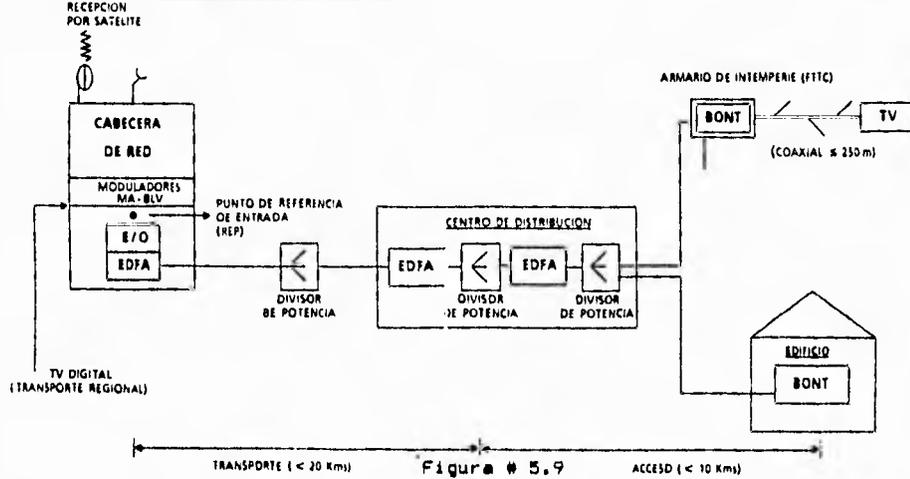


Figura # 5.9

5.8.22 Integración entre el sistema de banda estrecha y el de banda ancha

La tendencia del mercado de telecomunicaciones es proveer de servicios de banda ancha y de banda estrecha al usuario de acuerdo a sus necesidades. Por lo tanto el sistema propuesto debe ser capaz de

combinar ambas opciones compartiendo así los recursos de la misma red sin mermar las características de cada tipo de transmisión. De esta manera, de acuerdo al tipo de información, esta es dirigida y seleccionada por los elementos de red correspondientes a servicios de banda ancha y de banda estrecha.

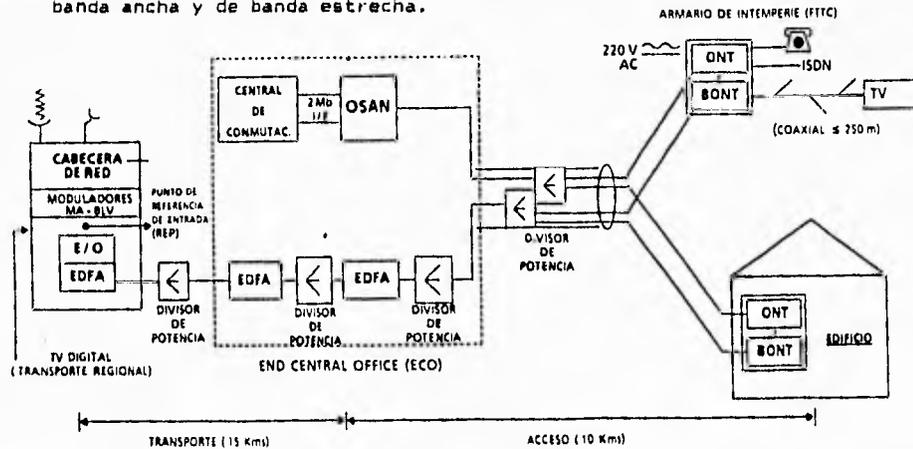


Figura # 5.10

5.8.23 Hechos y retos del sistema

- Distribución de TV o CATV: en la actualidad significa transmitir señales analógicas BLV-MDF (VSD-DM) en las bandas UHF y VHF de forma totalmente compatible con los receptores de video existentes.
- La transmisión MA BLV-MDF requiere :
 - + dispositivos lineales
 - + fuentes de señal óptica de alta potencia
 - + receptores capaces de detectar señales de potencia alta debido a los altos requisitos S/N.
- El sistema de banda ancha emplea modulación directa a 1550 nm con láseres de realimentación distribuida (DSB- Distributed Feedback) y amplificadores ópticos en cascada para aumentar la ganancia del sistema. Los amplificadores son del tipo EDFA (erbium Doped Fiber Amplifier con alta potencia de salida en saturación.
 - + láseres de transmisión optimizada para máxima linealidad
 - + amplificadores EDFA optimizados para transmisión de señales analógicas

- .- La utilización de amplificadores ópticos y la integración de la parte de transporte permiten reducir la complejidad de los equipos y compartir el transmisor laser entre todos los abonados de una red.
- .- Con 3 EDFA en cascada se obtiene un margen de enlace óptico mayor de 50 dB.
- .- En los EDFA se requieren láseres de bajo Chirping para compensar la intermodulación adicional (de 2o. y 3er. orden) producida por el amplificador saturado.
- .- La utilización de la 3a. ventana (1550 nm) en la que la fibra óptica es dispersiva, y el efecto Chirping originado por la modulación directa del láser, afectan negativamente el comportamiento del sistema para la transmisión de señales AM-BLV.
- > Por lo tanto se generan productos de intermodulación de 2o. orden adicionales relacionados directamente con la longitud de la fibra, además de los debidos al chirping. El peor comportamiento se obtiene en la banda UHF cuando se emplea un sólo láser con BB compuesta UHF + VHF.
- > La solución consiste en utilizar láseres de bajo chirping y circuitos eléctricos de compensación en el transmisor.
- > La fibra óptica de dispersión desplazada resuelve el problema pero no es la solución adecuada para aplicaciones de acceso en PTT's. Podría utilizarse en la parte de transporte de CATV para enlaces largos (25-30km). Los operadores de CATV deberían tener menos inconvenientes para utilizar esta fibra.
- .- el comportamiento del sistema (S/N, linealidad-CSD/CTB y el margen de enlace) imponen un límite en el número de canales de TV del orden de 40 a 50 por transmisor laser.
- .- es preferible dividir el rango de frecuencias utilizables en 2 subbandas de 47-606 MHz y 430-860 MHz frente a la banda completa que cubre 47 - 860 MHz para VHF y UHF.
- .- se ha constatado que la linealidad del laser empeora en la zona UHF.
- .- el efecto chirping sobre los productos de intermodulación de 2o. orden (CSD) empeora en la zona UHF.
- .- la transmisión de una BB VHF + UHF con un solo laser requiere que el efecto chirp se reduzca a la mitad o que se utilicen fibras de dispersión desplazada en la parte de transporte.
- .- el efecto chirp limita el alcance del sistema a 30 km obligando además a un preajuste del transmisor para compensar los efectos de una cierta longitud de fibra.
- .- la fibra de dispersión desplazada debe ser considerada por los operadores como una solución para la parte de transporte

5.8.24 Versiones y recomendaciones para utilizar el sistema

La primera versión del sistema consiste en BONT pequeñas (FTTB) y compactas (FTTC). La banda de funcionamiento es para VHF y UHF para transmitir 40 a 45 canales de TV (MA-BLV) en las subbandas de 47-606 MHz y 430-860 MHz.

En cuanto a la integración con el sistema, esta se lleva a cabo compartiendo la planta exterior de cable (y las fibras con ciertos requisitos y dispositivos adicionales) así como los armarios y contenedores.

La banda de 47-860 MHz se puede utilizar completamente con un plan de frecuencias de 40 - 45 canales en sistemas piloto con algunas limitaciones como son:

- .- distancias cortas (menores a 10km con fibra estándar) a menos que se utilice fibra de dispersión desplazada.
- .- en algunas aplicaciones, el plan de frecuencias requerirá de ciertas adaptaciones.

La segunda versión del sistema está también basada en sistemas independientes con BONT pequeñas (FTTB) y FTTC, medianas compactas y grandes. La banda utilizable es UHF + VHF a lo ancho de 47 - 860 MHz sin ninguna restricción.

- La integración en esta versión se basa en los siguientes puntos:
- .- compartiendo la planta exterior de cable (y las fibras con ciertos requisitos y componentes adicionales) así como los armarios y contenedores.
 - .- utilización del transporte NB para la señal de supervisión de la BONT cuando hay integración NB + BB.
 - .- operación y mantenimiento basada en la interfaz Q2 LTS y en el sistema de gestión TMN.

5.8.25 Aplicación de los elementos BONT

- .- BONT pequeña integrada para FTTB con supervisión indirecta (a través de la ONT) cuando se integran ambos equipos
- .- BONT compacta para FTTC en áreas de baja densidad de usuarios, integra el receptor óptico y el amplificador RF de distribución con supervisión indirecta (a través de la ONT cuando se integran ambos equipos).
- .- BONT grande para FTTC en áreas de gran densidad de usuarios; incorpora su propia supervisión.

5.8.26 Parámetros ópticos

- .- Fibra monomodo:
 - banda estrecha: 1300 nm (ancho de banda grande, Tx barata, sin disipadores, ambiente de exterior)
 - banda ancha: 1550 nm (para simplificar la multiplexación WDM)

- La amplificación de señal en 1300nm requiere de láseres YG potentes y modulación externa.
- la amplificación de señal en 1550nm puede hacerse en cascada sin acumulación de distorsión.
- Las intermodulaciones pueden corregirse con circuitos eléctricos predistorcionadores o con fibra de dispersión desplazada.

5.8.27 Margen del enlace óptico

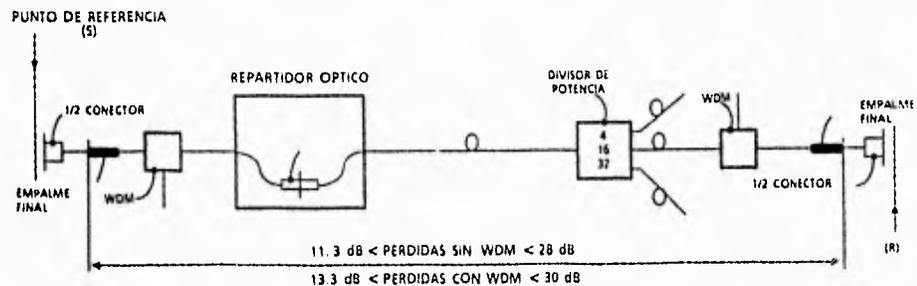


Figura # 5.11

5.9 Justificación económica

Por una parte está claro que el desarrollo del láser y de la fibra óptica con bajos índices de pérdidas han tenido un impacto inconfundible en el campo de las telecomunicaciones. Por otro lado, el uso de la tecnología óptica en las redes locales, constituye un reto importante ya que se requiere del desarrollo de equipos de bajo costo que inicialmente operarán a velocidades bajas (decenas de Mb/s) debido a que el servicio básico de telefonía no requiere más de 64 kb/s por cada abonado. En un momento dado, la transmisión de señales de TV ya sea analógica o digital, podrá eficientar el uso de los sistemas de fibra óptica y así generar utilidades económicas.

Visto desde el punto de vista de la industria telefónica, los servicios de telefonía básica constituyen el mayor ingreso y son ellos los que dictarán la justificación de implementar los sistemas ópticos en las redes locales. Además, cualquier sistema de fibra óptica que pueda ser considerado, debe ofrecer los servicios básicos de telefonía con mejores o iguales resultados que los sistemas actuales tomando en cuenta que los costos deben ser competitivos con las actuales líneas de cobre.

De acuerdo a las arquitecturas estudiadas (estrella, anillo y bus), existen una serie de consideraciones que deben ser tomadas en cuenta para el desarrollo de sistemas telefónicos de fibra óptica:

a) el servicio básico del sistema debe ser telefonía convencional (FOTS) con un nivel de eficiencia y rendimiento mayores que los utilizados actualmente y al mismo costo o menor. Esto debido a que los mayores ingresos serán por concepto de servicios de telefonía.

b) los sistemas de fibra óptica que se instalen deben ser compatibles con los sistemas existentes de telefonía. Las opciones de operación y mantenimiento constituyen parte integral de esta condición.

c) la arquitectura del sistema debe permitir la evolución de otras tecnologías y formatos de información.

Estos factores determinarán los sistemas de información del siglo 21.

Para poder desarrollar productos competitivos, es necesario partir de la base de utilizar aquellas tecnologías comercialmente existentes. Este tipo de tecnologías incluyen: emisores y detectores ópticos que operen en los rangos de 800 nm, 1300 nm y 1500 nm, multiplexores por división de longitud de onda, divisores pasivos así como componentes electrónicos de muy alto grado de integración. Los componentes actuales permiten la generación de 5 longitudes de onda que pueden ser combinadas en el punto de generación para posteriormente ser filtradas y seleccionadas en el extremo receptor. Estas señales pueden ser divididas o separadas de manera pasiva; la manera más común de lograr lo anterior es transmitir las señales a una central de distribución y de ahí a los puntos remotos de destino.

Los divisores pasivos permiten la distribución de señales a partir de una única fuente óptica hacia múltiples destinos. Desde una perspectiva económica, este enfoque es muy atractivo, ya que permite compartir los costos del equipo óptico entre varios usuarios que reciban la señal. Sin embargo, la desventaja de la división pasiva es el rango de pérdidas que implica, sin embargo la tecnología de división pasiva es el único medio para poder formar conexiones ópticas punto - multipunto.

Recientemente se han definido algunas tendencias respecto al uso de las distintas longitudes de onda. La región de 1500 nm, está reservada para los servicios de banda ancha incluyendo servicios de video mientras que la longitud de onda de 1300 nm está dedicándose a los servicios de telefonía básica. El interés en la región de los 800 nm ha disminuido debido a las altas pérdidas que sufre la señal y la velocidad de transmisión restringida. Aunado a esto, los divisores pasivos, ofrecen utilidad en la región de 1300 nm a 1500 nm, no así en la región de los 800 nm.

Actualmente los enfoques para suministrar el servicio de telefonía a usuarios domésticos o de mediana capacidad de necesidades

de telecomunicaciones son básicamente llevar la fibra hasta la casa o bien llevar la fibra hasta las premisas residenciales (FTTH y FTTC respectivamente).

Con base en un modelo propuesto por la compañía Telettra en España, resulta posible evaluar los costos comparativos entre un sistema y otro, dadas las similitudes culturales, demográficas y tecnológicas entre ambos países, se presenta esta opción como posible solución al problema establecido por los costos de cada sistema. Para ello se deben identificar los siguientes parámetros:

n = número total de usuarios

m = para el caso de FTTH se aplica al número de usuarios en un subgrupo que estén siendo servidos por una fibra o un par de fibras.

para el caso de FTTC se aplica el número de lazos servidos por una fibra o un par de fibras.

r = relación máxima de división de un divisor pasivo

l_p = distancia promedio del enlace primario

l_s = distancia promedio del enlace secundario

A continuación se presentan diversos modelos de arquitecturas que se pueden adaptar a modelos FTTH y FTTC:

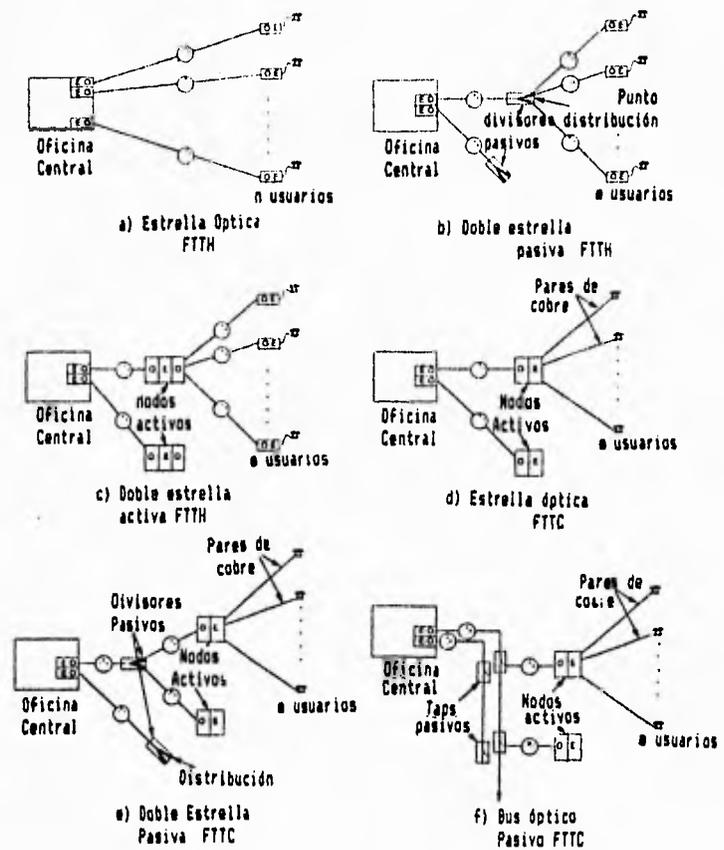


Figura # 5.12

En la siguiente tabla se identifican los modelos matemáticos que se han definido para cada tipo de arquitectura de acuerdo al tipo de enlace requerido. Los siguientes diagramas implican los requerimientos materiales de cada arquitectura:

Arquitectura	Pares de detectores por fuente óptica	Divisores pasivos/ Tap	Cable de fibra óptica
FTTH			
a) Estrella	$2n$	0	$n(l_p + l_s)$
b) Doble estrella pasiva	$n\left(1 + \frac{1}{m}\right)$	$\frac{n}{m}$	$\frac{n}{m}(l_p + n l_s)$
c) Doble estrella activa	$2n\left(1 + \frac{1}{m}\right)$	0	$\frac{n}{m}(l_p + n l_s)$
FTTC			
a) Estrella	$2\frac{n}{m}$	0	$\frac{n}{m}(l_p + l_s)$
b) Doble estrella pasiva	$\frac{n}{m}\left(1 + \frac{1}{r}\right)$	$\frac{n}{m \times r}$	$\frac{n}{m}\left(\frac{1}{r} l_p + l_s\right)$
c) Doble estrella activa	$\frac{n}{m}\left(1 + \frac{1}{r}\right)$	$\frac{n}{m}$	$\frac{n}{m}\left(\frac{1}{r} l_p + l_s\right)$

De acuerdo a los parámetros descritos con anterioridad y sustituyendo los siguientes parámetros, la tabla anterior tiene una implicación práctica quedando como:

$$\begin{aligned}
 n &= 512 & l_p &= 1.5 \text{ km} \\
 m &= 16 & l_s &= 0.5 \text{ km} \\
 r &= 8
 \end{aligned}$$

Arquitectura	Pares de detectores por fuente óptica	Divisores pasivos/ Tap	Cable de fibra óptica
FTTH			
a) Estrella	1024	0	1024
b) Doble estrella pasiva	544	32	304
c) Doble estrella activa	1088	0	304

Arquitectura	Pares de detectores por fuente óptica	Divisores pasivos/ Tap	Cable de fibra óptica
FTTC			
a) Estrella	64	0	64
b) Doble estrella pasiva	36	4	22
c) Doble estrella activa	36	32	22

Con base en los datos de la tabla anterior, se pueden identificar los costos normalizados de ambas opciones tecnológicas:

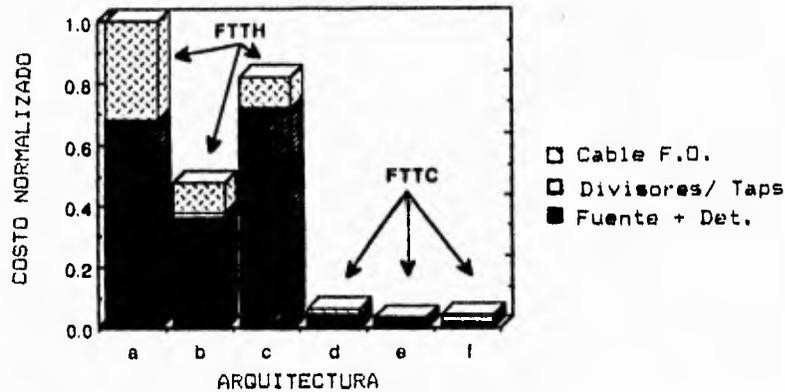


Figura # 5.13

En los resultados de los costos normalizados se puede apreciar que la opción FTTH representa una inversión en requerimientos materiales substancialmente mayor que la opción FTTC en proporciones situadas en el rango de 3 a 5 veces mayor. El mayor costo está representado por la tecnología de los detectores ópticos.

Es importante señalar que los costos del modelo FTTH en relación al FTTC, pueden ser reducidos en algunos casos debido a las necesidades de instalación y excavación que representa esta opción. Esto debido a que estos costos son sustanciales y la opción FTTH representa un hecho compartido entre varios usuarios.

Como conclusión se puede determinar que la arquitectura dada por la estrella doble pasiva es, por el momento, la mejor inversión tanto para el caso FTTH como para el caso FTTC.

5.10 Consideraciones demográficas

Indudablemente, la implementación de cualquier sistema de fibra óptica sea hasta las premisas del abonado o sea hasta el domicilio del mismo, requiere de un estudio de tipo demográfico. Esto es fundamental ya que la misión consiste en proveer un servicio telefónico a la población. Por lo tanto hay que reconocer los factores demográficos para llevar a cabo consideraciones de diseño en la red a implementar.

El enfoque de esta investigación detallará las implicaciones demográficas cuantitativamente, ya que las reconoce como necesarias e inherentes a un adecuado diseño de una red óptica que se acerque al abonado. Es decir, en el caso de que exista un proyecto formal de desarrollo de redes ópticas hasta el abonado, ya sea TELMEX o la empresa que en ese momento lleve a cabo el proyecto debe considerar por fuerza las implicaciones demográficas del perímetro a enlazar.

Se mencionarán a continuación una serie de consideraciones demográficas que deben tomarse en cuenta al momento de realizar un proyecto de estas proporciones:

- .- delimitar geográficamente el perímetro de enlace
- .- identificar demográficamente los grupos de población de acuerdo a grupos económicos: esto es muy importante ya que la prerrogativa del proyecto exige un desembolso importante por parte del abonado.
- .- identificar el número de domicilios que se deseen enlazar
- .- determinar el tipo de vivienda (casa sola, edificio de cuántos pisos) que aparece en el perímetro de enlace. Esta consideración es muy válida ya que si en la zona que se desea enlazar la densidad de población es muy alta dado que hay muchos edificios, puede ser interesante la posibilidad de comenzar el proyecto en estas zonas con una opción de fibra hasta el edificio (FTTB) en la cual la ONT se encuentra en las premisas de los edificios y el costo del equipo puede ser compartido entre varios usuarios.

Para la Cd. de México este enfoque puede ser muy útil en zonas como Polanco o Tecamachalco en donde hay una gran densidad de población ubicada en edificios. Se aprovecharía la conveniente circunstancia de que en dichas zonas el ingreso per cápita promedio es muy alto por lo que las consideraciones económicas pasarían a segundo término. De esta manera, un proyecto piloto podría ser implementado en dichas zonas para posteriormente extrapolarlo a otras zonas de la Ciudad de México o del país.

Existen una serie de parámetros, necesarios también, para la

implementación de una red de fibra óptica hasta el abonado como son el desarrollo urbanístico en la zona así como las canalizaciones telefónicas existentes en ella.

Sin embargo, con ayuda de información demográfica, es posible determinar el efecto que tiene la capacidad de las terminales remotas en el costo por canal del sistema. Tomando nuevamente, el caso español (que en este caso es idéntico que el caso mexicano ya que sólo intervienen variables tecnológicas y número de domicilios por edificio), se puede determinar el costo de las terminales remotas. Se estudiaron tres casos: 8 y 16 canales así como un caso capaz de manejar entre 8 y 32 canales en incrementos de 4 en 4 adicionando tarjetas de aumento de capacidad.

El cálculo efectuado se realiza multiplicando los costos de la terminal en un edificio con un número de abonados x , por el número de edificios de ese tamaño variando x entre 1 y 32. El total de costos es entonces sumado y dividido por el número de abonados. Los resultados normalizados para el caso de la Ciudad de Madrid mostraron un ahorro del 42% al utilizar una terminal de capacidad variable en vez de utilizar aquellas de capacidad fija. Mientras se cuente con mayor información, este análisis puede resultar más ventajoso.

De los resultados obtenidos a partir de los estudios demográficos, se ha planteado la posibilidad de crear una estructura óptica local.

5.11 Aplicación del modelo formal

Para lograr la aplicación de lo hasta ahora comentado, se partirá de una delimitación geográfica existente en la Cd. de México; se trata de una zona de la Delegación Miguel Hidalgo delimitada por las siguientes calles y avenidas:

- .- al Sur por la Av. Campos Eliseos continuando por Rubén Darío hasta Mariano Escobedo.
- .- al Este por el Circuito Interior
- .- al Norte por la Av. Ejército Nacional
- .- al Oeste por el límite impuesto por el Estado de México

El área total de la superficie delimitada es de 9.6 km².

es válido para este número de habitantes relativamente pequeño, se consolidará la posibilidad de escalar el proyecto al máximo con un mayor número de habitantes.

De acuerdo a datos proporcionados por TELMEX, el promedio de líneas por cada abonado en esta zona es de 2.5.

A continuación se procedió al cálculo relativo entre las 3 opciones de enlace posibles:

- .- estrella óptica pasiva
- .- estrella doble pasiva
- .- doble estrella activa

Para culminar este cálculo se utilizó un algoritmo de la compañía española Telettra que ha sido descrito en la sección anterior. Es necesario enfatizar que dicho algoritmo es perfectamente compatible con el caso mexicano ya que sólo incluye variables demográficas y tecnológicas comunes.

Se tiene entonces que:

$n = 5000$ (número de abonados)

$m = 16$ (número de usuarios en un subgrupo servidos por una fibra)

$l_p = 3.35$ km (distancia primaria promedio)

$l_s = 0.9$ km (distancia secundaria promedio)

Aplicando estos datos al algoritmo referido:

Arquitectura	Pares de detectores por fuente óptica	Divisores pasivos/ Tap	Cable de fibra óptica
FTTC			
a) Estrella	10000	0	20750
b) Doble estrella pasiva	5312.5	312.5	5515.6
c) Doble estrella activa	10625	0	5515.6

Resulta útil presentar dichos datos en una tabla común basada en costos unitarios relativos:

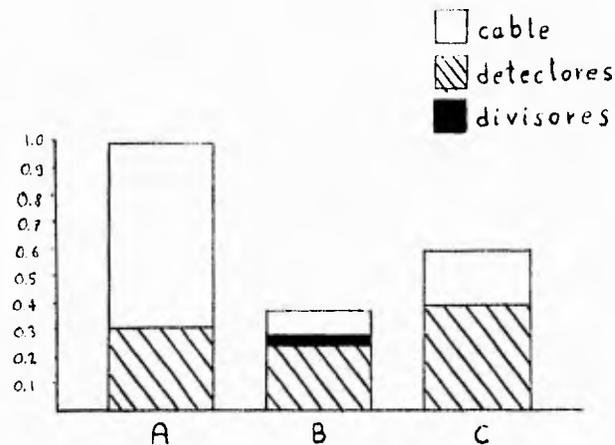


Figura # 5.15

Resulta claro que la opción representada por la estrella doble pasiva es la más económica de todas las presentadas. El enfoque del proyecto implica el uso de esta topología.

La meta consiste ahora en determinar por una parte el costo real del proyecto a ser implementado y por otra el diseño de la red que se pretende.

Para determinar el costo del proyecto es necesario comenzar por el diseño de la red: es decir cuántos kilómetros de cable se utilizarán y en qué disposición.

El método utilizado para solucionar el problema consistió en las siguientes etapas:

- .- identificar puntualmente las características de la tecnología a utilizar
- .- dividir la zona de estudio en varias áreas de acuerdo a la densidad de población de cada una de ellas
- .- determinar el tipo de configuración de red que se pretende utilizar de acuerdo a la densidad de población de cada zona
- .- calcular el número de terminales ópticas (que implica el número de abonados) de cada zona que pueden ser servidos por el tipo de red escogida
- .- calcular el número total de redes ópticas pasivas que se requerirán (que implica el número de terminales ópticas) en todo el sistema

- .- proponer una red de fibra óptica pasiva para el sistema global
- .- calcular el número de kilómetros de fibra óptica que se requieren en el proyecto
- .- calcular el precio total del proyecto

De ahora en adelante se procederá a identificar, en el orden citado, cada una de las variables descritas.

Se han reconocido a varios posibles proveedores de sistemas para llevar a cabo este proyecto. Del proveedor del que se cuenta con mayor información confiable y que ha demostrado capacidad para llevar el proyecto a la práctica es ALCATEL. La versión tecnológica propuesta por este proveedor corresponde al sistema 1570 en sus versiones de banda angosta y banda estrecha dependiendo del tipo de servicios que se requieran.

Es necesario mencionar que el sistema 1570 de Alcatel se identifica con las necesidades del proyecto, pero esto no implica que no se pueden considerar opciones tecnológicas de otros proveedores para culminar el proyecto.

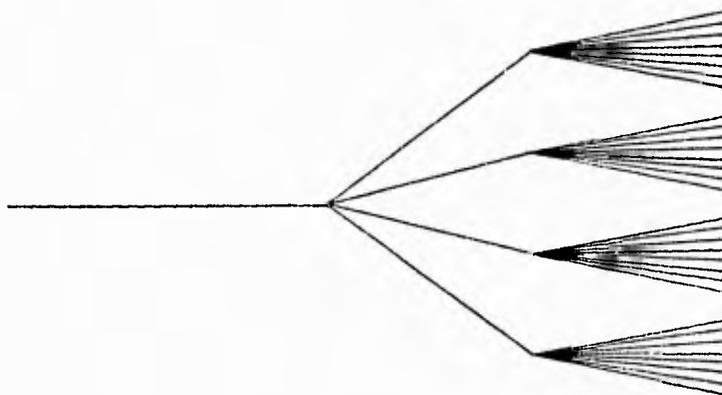
Este sistema de Alcatel cuenta con las siguientes características:

- .- la OSAN (Optical Subscriber Access Node) es la parte de la red que efectúa el enlace con la central existente de TELMEX.
- .- La ONT (Optical Network Termination) es la parte que antecede a la conexión entre el usuario y la red; típicamente para finalidades de telefonía cada ONT puede servir a varios usuarios
- .- LIM's son aquellos componentes en forma de tarjetas que se conectan a ranuras existentes en cada ONT y administran el número de canales para cada usuario de acuerdo a sus necesidades de comunicación (banda angosta o banda ancha). Cada LIM tiene capacidad de manejo de hasta 2 líneas telefónicas.
- .- en el acceso principal (desde la OSAN hasta la primera división pasiva) se cuenta con dos fibras (1 par de fibras) con una capacidad de 480 canales.
- .- cada ONT (Terminación óptica de red) está compuesta por 16 ranuras para conectar LIM's por lo que la capacidad máxima de cada ONT es de 32 líneas telefónicas
- .- cada sistema 1570 puede manejar 32 redes ópticas pasivas (ROP's) por lo que el total de canales por sistema es de 15360 canales (32 x 480)

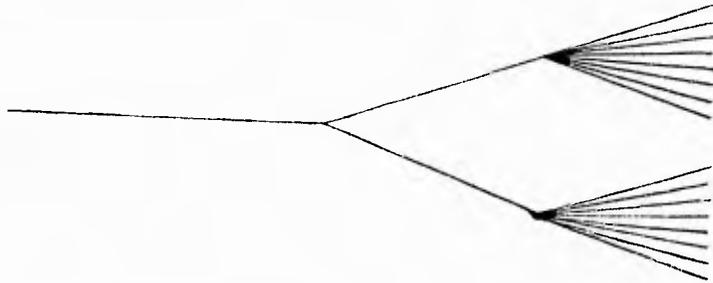
Si cada red óptica pasiva tiene una capacidad de 480 canales y se considera un promedio de 2.5 líneas por cada abonado, esto implica que cada red óptica pasiva puede soportar una carga de 192 usuarios.

La topología a utilizar será la configuración doble estrella pasiva (punto - multipunto); sin embargo, para demostrar la versatilidad de la fibra óptica a continuación se reconocerán distintas configuraciones que posteriormente serán utilizadas de acuerdo a la densidad de población por zona. Se identifican 3 casos de acuerdo a la saturación de cada ONT:

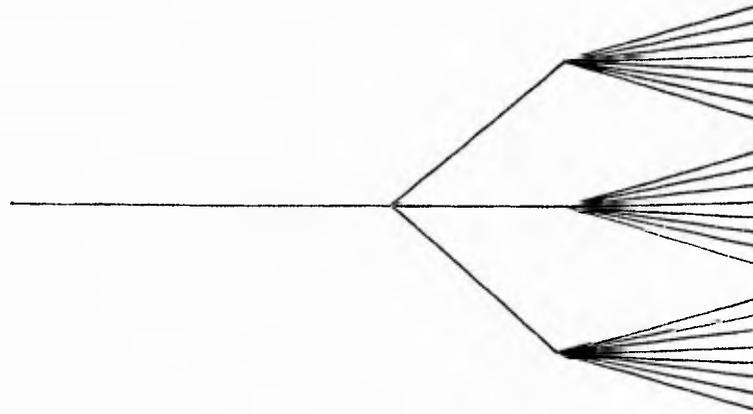
a) Peor de los casos: Este caso es adecuado en aquellas zonas donde la densidad de abonados es baja y consiste en utilizar 32 ONT por ROP lo que implica un nivel de uso de 6 usuarios por ONT lo que representa 15 líneas por ONT. La configuración es del tipo 1:4:32 y el diagrama equivalente es el siguiente:



b) Caso óptimo: Para aquellos casos en los que la densidad de abonados es alta. Si cada ONT tiene una capacidad máxima de 32 canales, entonces para hacer uso al 100% de esta característica se deberán conectar 12 abonados a cada ONT ($32/2.5 = 12$). Esto implica que cada ROP contará, en este caso, con una carga de 16 ONT. La configuración es del tipo 1:2:16 y el diagrama es del tipo:



c) Caso intermedio: Adecuado sobre todo a casos donde la densidad de abonados es media. En este caso, se pretende dar un uso medio a la ONT con un total de 8 usuarios por ONT (20 líneas por ONT) y la carga de cada ROP será de 24 ONT. La configuración es del tipo 1:3:24 y el diagrama equivalente es del tipo:



El siguiente punto consistió en analizar demográficamente la zona de aplicación para determinar los distintos tipos de concentración de abonados. Así pues, se determinaron 4 zonas:

	Densidad de abonados	% del número total de abonados	# de abonados	# de líneas
Zona A:	alta	45%	2250	5625
Zona B:	media alta	30%	1500	3750
Zona C:	media	15%	750	1875
Zona D:	baja	10%	500	1250
	TOTALES	100%	5000	12500

A continuación se determinará el número de ROP's de acuerdo a la zona. Recordando que cada ROP es capaz de servir a 480 líneas:

Zona A: 5625 líneas/ 480 canales = 12 redes para Zona A

Zona B: 3750 líneas/ 480 canales = 8 redes para Zona B

Zona C: 1875 líneas/ 480 canales = 4 redes para Zona C

Zona D: 1250 líneas/ 480 canales = 3 redes para Zona D

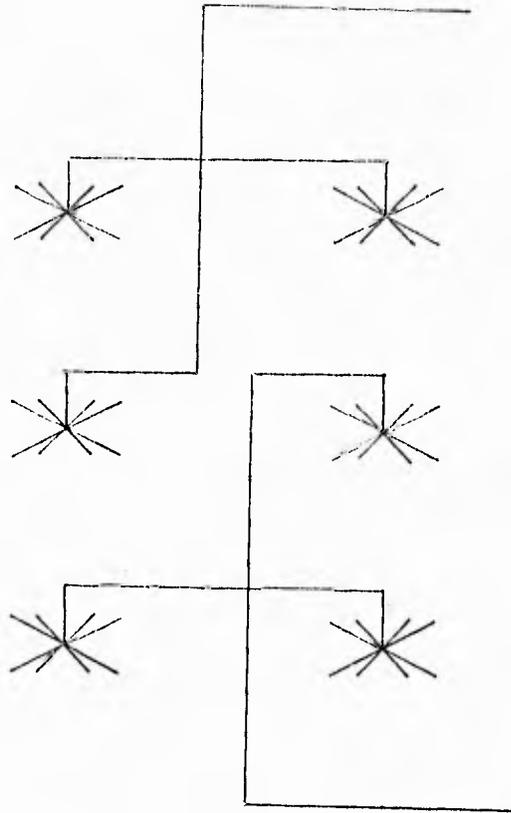
Total de redes para el proyecto = 27

Es importante señalar que la capacidad total de un sistema 1570 de Alcatel es de 15360 canales que se pueden distribuir en 32 ROP's. El cálculo demuestra que la aplicación del sistema coincide perfectamente con la necesidad del proyecto tomando un margen de seguridad del 22%.

También es claro que mientras menor es el número de habitantes por unidad de área, cada ROP aumenta su extensión proporcionalmente. Por ello la densidad de ROP's es mayor en las zonas con mayor número de abonados que en aquellas con menor número de abonados.

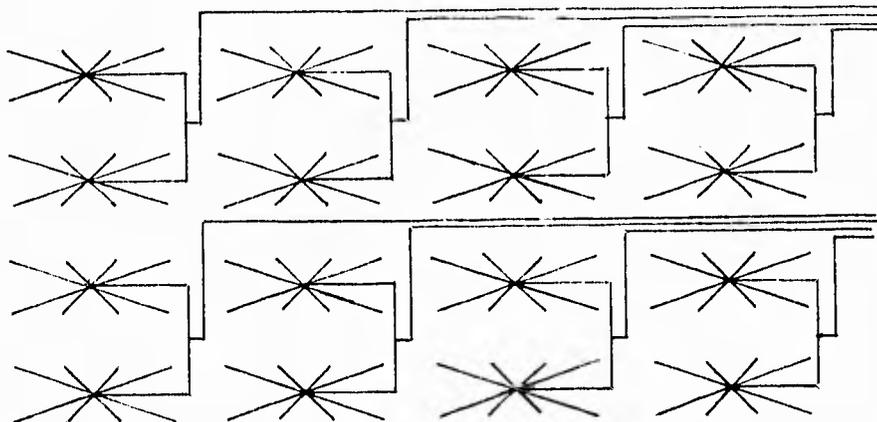
Densidad Media:

- .- # de zonas de aplicación: 2
- .- 2 redes
- .- 48 ONT
- .- 24 ONT/ red
- .- 384 usuarios



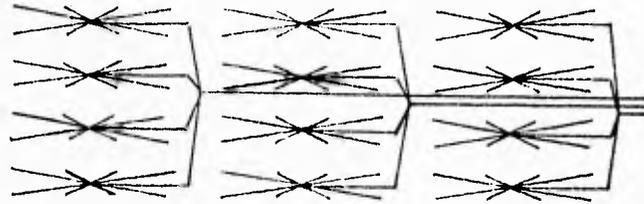
Densidad media alta:

- .- # de zonas de aplicación: 1
- .- 8 redes
- .- 128 ONT
- .- 16 ONT/ red
- .- 1500 usuarios



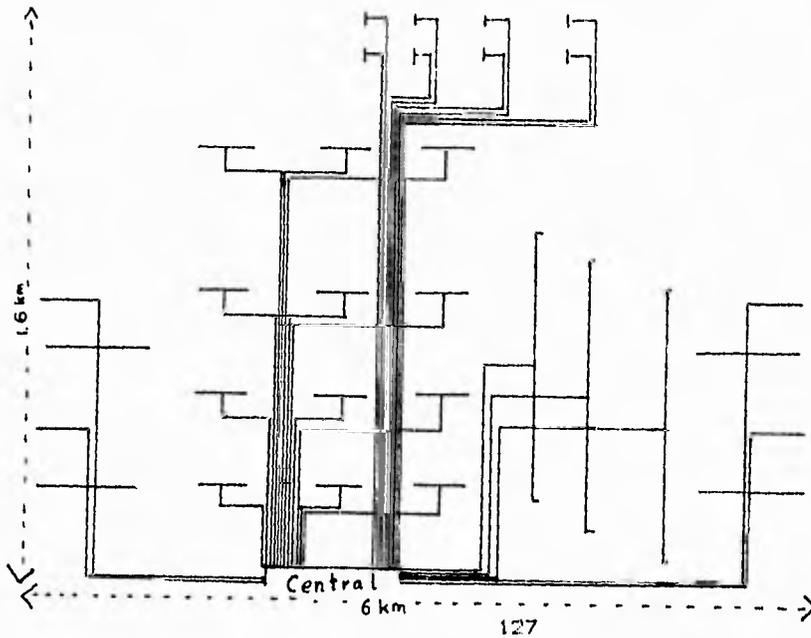
Densidad baja:

- .- # de zonas de aplicación: 1
- .- 3 redes
- .- 96 ONT
- .- 32 ONT/ red
- .- 576 usuarios



La ubicación de la OSAN será en la central de TELMEX que sirve esta zona ubicada sobre el Periférico casi enfrente del Hospital Militar.

A continuación se determinará el número total de kilómetros que se requieren para el enlace. Para ello, se presentará el diagrama de distancias equivalente para llevar a cabo el enlace de la zona en cuestión:



Para lograr el cálculo total del número de kilómetros de fibra que se requieren, se procedió a dividir los enlaces de acuerdo a su distancia de la OSAN; de esta manera se tienen dos tipos de tramos de fibra:

.- fibras de acceso principal: son aquellas que cubren la distancia desde la OSAN hasta el primer divisor pasivo

.- fibras de acceso intermedio: aquellas que se encuentran entre el primer divisor pasivo y cada una de las ONT's

Dicho lo anterior, se presenta a continuación la tabla de kilometrajes de acuerdo al tipo de fibra. Se consideran 5 zonas de aplicación:

Metraje de fibras de enlace intermedio

Región	# de fibras de enlace intermedio	Longitud total en metros
I	4	5,320 m
II	24	16,134 m
III	16	26,040 m
IV	6	9,850 m
V	4	13,320 m
TOTAL:		70,664 m

Metraje de fibras de acceso principal

Región	# de fibras de acceso principal	Longitud total en metros
I	12	6,720 m
II	48	4,320 m
III	32	1,280 m
IV	12	3,960 m
V	12	6,240 m
TOTAL:		22,520 m

El total de metros de fibra óptica monomodo requerido para el proyecto es equivalente a 93,184 metros. Aplicando un factor de seguridad del 15% y convirtiendo esa cantidad a kilómetros se tiene un total de 108 km.

Para determinar el precio de la adquisición de la fibra, se procedió a consultar a uno de los fabricantes de fibra óptica en el mercado nacional; Conducel S.A. Estos precios vigentes durante el mes de agosto de 1995:

# de fibras por cable	precio por km en nuevos pesos
18	68,750

Los datos totales de longitud, antes expuestos se refieren a configuraciones de metros lineales de fibra óptica monomodo, de fibras individuales, no de configuración cableada. Por lo tanto, es necesario determinar el costo representativo por kilómetro de una fibra. Una manera de efectuarlo, es efectuar la media de precios correspondiendo a la media de # de fibras. De esta manera se obtiene un valor promedio de 3,819 nuevos pesos por cada kilómetro de fibra óptica monomodo.

El precio total de la adquisición del parque de fibra óptica requerido es de: 412,452 nuevos pesos.

Es importante señalar que en este trabajo no se consideró el diseño de la red de acuerdo a la optimización del parque de fibra óptica por utilizar cable de fibra óptica en sus distintas configuraciones; esta consideración bajaría el precio de dicha adquisición sustancialmente.

Para determinar el costo total del proyecto, se procedió con el auxilio del algoritmo para determinar el costo unitario relativo entre las distintas topologías. Si bien esta es una manera indirecta de lograr el cálculo, se considera como válida ya que es aceptada internacionalmente y toma en cuenta datos reales de la zona en cuestión.

De esta manera se obtienen los siguientes datos:

.- costo de la fibra óptica:	N\$ 412,452.00
.- costo de los divisores pasivos:	N\$ 23,331.00
.- costo de los equipos terminales:	N\$ 397,453.00
.- costo de la OSAN	N\$ 437,500.00

TOTAL: N\$ 1,270,736.00

Si se considera que esta inversión debe ser compartida por 5,000 personas, entonces el costo para enlazar a cada persona a este sistema es de N\$ 254.00.

Este costo no incluye utilidad de venta para el prestador de servicios ni tampoco el costo de los servicios; incluye únicamente los gastos de la implementación del sistema propuesto.

El valor añadido del sistema consiste en la premisa de que inicialmente se justificaría su implementación para fines de telefonía (FOTS), sin embargo, conforme se desarrollen alianzas y nuevos mercados con proveedores de servicios a través de sistemas de fibra óptica, la utilidad del sistema tomaría proporciones mucho más atractivas ya que hay que recordar que este proyecto es capaz de escalar la variedad de servicios gracias al amplio ancho de banda que puede ser transmitido a través de las fibras ópticas.

De manera alternativa, el enfoque del proyecto puede ser invertido para ofrecerlo a los proveedores de televisión por cable, para que ellos a su vez estudien la posibilidad de implementar a través de él servicios de telefonía básica y servicios alternativos.

Por último resulta conveniente analizar el costo del proyecto antes citado. Por una parte, el precio anterior puede justificar rápidamente el arranque de un proyecto similar a pequeña escala a través de una prueba piloto.

En segundo lugar, en el caso de que esta propuesta obtenga una aprobación de inmediato, si el enfoque comercial es el correcto, al posible comprador, no le resultará difícil tomar una decisión debido al costo tan reducido en primer lugar y en segundo término debido a que la población total de la zona sobrepasa los 50,000 habitantes siendo que el proyecto sólo considera el enlace de 5000 abonados en toda la zona.

Por las razones hasta aquí expuestas, los 3 tópicos primordiales de esta propuesta han sido solucionados y conciliados:

.- punto de vista técnico: se presentó una tecnología apropiada para llevar a cabo el proyecto. Asimismo se demostró la utilidad técnica de esta propuesta.

.- punto de vista económico: con base en números reales se ha podido determinar que el proyecto puede ser susceptible de implementarse sin mayores problemas, para lo cual es recomendable comenzar por medio de una prueba de campo en la zona recomendada.

.- punto de vista de mercado: el proyecto pretende enlazar, al mismo tiempo usuarios de grandes negocios así como abonados domésticos, esta característica "híbrida" demuestra que el proyecto no está limitado a tipos de usuario definidos por la cantidad de información que demandan. El enfoque del proyecto es versátil en este sentido.

CAPITULO VI: Conclusiones

6.1 Generalidades

En esta parte del presente trabajo se concluirán las observaciones de lo hasta ahora expuesto y también se presentarán algunas tendencias del mercado de las telecomunicaciones por medio de fibras ópticas.

En general, la arquitectura típica de la red de telecomunicaciones se mantuvo idéntica a aquella de los años 50's. La mayoría de los abonados se encontraban conectados a la red por medio de pares de cobre, en general, cada abonado tenía dedicada una línea de cobre hacia la central. De manera análoga, las centrales estaban conectadas entre sí, por lo que cualquier llamada debía enrutarse a través de las centrales inevitablemente. En muchos casos, la llamada debía tocar varios puntos o centrales antes de llegar a su destino.

En los años 80's, la fibra óptica se empezó a instalar sobre todo en sistemas de transmisión de larga distancia. Aún a principios de los años 90's, la fibra óptica no es muy común en las redes locales. En esos años, muchas de las técnicas actualmente utilizadas (WDM, solitones) se encontraban apenas en proceso de investigación. A nivel residencial, las señales de TV y telefonía llegaban al usuario por separado.

La estructura de las telecomunicaciones fue definida en gran parte por esquemas rígidos de nacionalización en muchos países en los cuales una hegemonía monopólica controlaba y regulaba estos servicios. Por ello, la competencia y apertura hacia cambios tecnológicos fundamentales estaba restringida.

En general, los servicios de telecomunicación de los que se disponía hace 20 años, actualmente parecen rudimentarios en muchos casos. La llamada Red Digital de Servicios Integrados actualmente en uso, hace años era inimaginable. Una ventaja importante de los desarrollos hasta ahora en operación es la reducción de costos, la cual se fundamenta básicamente en la competencia: ofrecer los mismos servicios con mayor calidad a menor costo.

Bajo esta premisa, los sistemas de comunicación han ido evolucionado para hacer un uso más eficiente de los anchos de banda así como de la tecnología disponible para los enlaces telefónicos.

Sin embargo, la característica más atractiva de la fibra óptica es que por un mismo medio se pueden transmitir varias longitudes de onda sin interferirse unas con otras y lo que es más importante, al mismo tiempo, mediante multiplexaje por división de longitud de onda.

Este valor es el motor que está impulsando las investigaciones más ambiciosas al respecto en varios países del mundo.

Por otro lado, la inversión en fibra óptica es el único tipo de inversión que es seguro en el futuro; para demostrarlo sólo hay que mencionar que la red de acceso de cualquier país puede representar hasta el 50% del costo total de la infraestructura total de comunicaciones. El tiempo de vida útil de este tipo de redes es típicamente 20 a 30 años. Por lo tanto, cualquier elección errónea de la tecnología a ser utilizada puede llevar a un fracaso económico importante si esta elección no enfoca las condiciones futuras de la red. Al mismo tiempo que la red se utilice, la demanda de servicios crecerá; y lo mismo sucederá con el tipo de servicios. Para soportar esta tendencia, la única solución viable está constituida por los sistemas de fibra óptica debido a su casi ilimitado ancho de banda comparado con los sistemas convencionales de cobre. Por lo tanto, resulta crítica la transición pronta a los sistemas de fibra óptica. De esta manera, la infraestructura de comunicaciones del país estará preparada para enfrentar competitivamente estas consecuencias irremediables.

6.2 Ventajas de la propuesta

Conforme pasa el tiempo, se justifica el uso de una red de fibra para proveer servicios de banda ancha al usuario. Existen seis factores que favorecen la introducción temprana de la fibra óptica para estos fines.

6.2.1 Sistema de transporte

.- Arquitectura compartida que permite una reducción importante del costo del proyecto. La razón de división puede ser de hasta 1:32 y cada una de las 32 terminaciones pueden tener canales telefónicos

.- Se utiliza una sola fibra para la ventana de 1300 nm, de esta manera se favorece la versatilidad con respecto a la futura relocalización de servicios en otras longitudes de onda.

.- Se cuenta con una franca posibilidad de comunicación dúplex para cualquier usuario conectado a una ROP y mediante la técnica TDM/TDMA.

.- El diseño de la planta de cable puede ser tan flexible como se requiera, por lo que no existen restricciones en la posición física de los divisores pasivos.

6.2.2 Terminación óptica de la red (ONT)

En el caso de la ONT, el énfasis se efectúa en la optimización de los siguientes puntos: bajo costo, bajo consumo de potencia y alta confiabilidad. La conjunción de estos tres factores da como resultado una unidad con el menor grado de complejidad posible, además de ofrecer un producto económico y de tiempo de vida útil considerable.

6.2.3 Costo

.- En la medida de lo posible, el equipo que constituye cada ONT es de una fabricación sencilla que permite una producción de altos volúmenes independientemente del lugar de fabricación.

.- La flexibilidad en el servicio se garantiza utilizando equipos que pueden intercambiar sus LIM's (módulos de intercambio de línea) utilizando tarjetas de 1 o 2 líneas.

.- La ONT no requiere ejecutar funciones de procesamiento o manejo de datos; cada unidad se concentra a efectuar funciones indicadas por el sistema, al no ser un equipo maestro su nivel de sencillez es máximo.

6.2.4 Potencia

.- Existen circuitos de supervisión continua de todos aquellos circuitos que administren energía (AC/DC).

.- La alimentación al abonado es de 24 V_{DC}, la cual depende de la energía comercial aunque se puede recurrir a fuentes ininterrumpibles.

.- La potencia consumida por el sistema es competitivamente muy baja.

6.2.5 Confiabilidad

.- La integración entre los sistemas de transporte, tarjetas de acceso de línea y controles de potencia permite un grado de confiabilidad de acuerdo a las necesidades actuales de comunicación.

.- Los sistemas de mantenimiento son remotos lo que reduce los costos de mantenimiento.

.- Fácil instalación.

6.2.6 Sistema de banda ancha

El hecho de implementar en la primera fase un sistema de ROP's para fines de telefonía básica, para luego escalarlo a un sistema de banda ancha, logra que el enfoque del proyecto sea sumamente atractivo. Al respecto, es necesario indicar que la mayor limitante para la implementación de este enfoque radica en la concertación de mercado que lleven a cabo las compañías telefónicas (en este caso TELMEX) con las proveedoras de servicios susceptibles de utilizar las ROP's para fines comunes o viceversa.

6.3 Evolución de los sistemas de fibra en lazos

La fibra óptica logra conciliar las necesidades actuales de comunicación con aquellas que surgirán en el futuro. Actualmente, muchos países industrializados cuentan con dos redes distintas para proveer servicios de telecomunicación lo que implica un aumento redundante en los costos globales de operación. La fibra óptica resuelve este problema al contar con aplicaciones versátiles en este aspecto.

En la cuestión de costos, los sistemas de fibra óptica serán más competitivos conforme se desarrollen nuevas técnicas de fabricación y aplicación. Sin embargo, los factores que pueden dificultar esta reducción de costos son los siguientes:

- .- Volumen de información mayor que el que la demanda actual exige.
- .- Distancias muy cortas para el enlace, las que implican una incidencia muy alta en el costo del sistema global como son los equipos terminales y componentes optoelectrónicos.

Para solucionar estos criterios, muchos fabricantes de estas tecnologías invierten sumas millonarias para alcanzar el compromiso entre la relación costo - beneficio de los sistemas ópticos de comunicación.

6.4 Consideraciones a efectuar en la introducción de sistemas de fibra óptica en las redes de acceso

Al introducir sistemas de comunicación por medio de fibra óptica en las redes de acceso, es recomendable efectuar las siguientes consideraciones:

Para fines de diseño, es importante señalar que los sistemas CAD constituyen una herramienta fundamental de trabajo; a través de ellos se puede optimizar el diseño de la red pero también se logran reducciones importantísimas en el diseño del cableado de la red. Es, por lo tanto, altamente recomendable diseñar la red que se pretenda a través de sistemas CAD.

Un segmento de mercado pequeño pero sumamente importante está representado por los abonados de grandes negocios. Este tipo de clientes son pocos pero concentrados en áreas de negocios. Actualmente, este tipo de consumidores ya requieren de servicios de comunicación que soporten grandes cantidades de información y por lo tanto son los mejores candidatos para implementar una red óptica de servicios de banda ancha. Para soportar este enfoque ninguna solución a través de redes de cobre resulta aceptable. Por lo tanto, como se ha determinado en el alcance del proyecto, el enfoque para dar

servicios a este tipo de usuarios es el correcto. Evidentemente, por la densidad de abonados, este caso resulta más fácil de justificar que el caso de los abonados domésticos.

De manera opuesta al mercado mencionado, existe un mercado de abonados domésticos que está disperso en áreas más extensas que puede ser tratado de la siguiente manera. De manera inicial proveer servicios de banda angosta (FOTS) para que progresivamente se incluyan en la red de acceso servicios como CATV, HDTV, así como servicios de banda ancha conforme las necesidades sociales de estos usuarios se desarrollen. Sin embargo, el hecho de iniciar un proyecto de telefonía hasta el abonado consiste la premisa para lograr una provisión de todos estos servicios a largo plazo.

Un factor importante que hay que mencionar consiste en el tiempo en el que el sistema propuesto logre una plena aceptación en el mercado mexicano. Aquí se presenta un conflicto mayúsculo ya que de ninguna manera se puede pretender opticalizar las redes de acceso nacionales a partir de estándares extranjeros (en Japón por ejemplo, se pretende opticalizar la red de acceso antes del año 2015).

La realidad es que la mayoría de países industrializados en el mundo han empezado desde aproximadamente hace 8 años a estudiar distintas maneras de opticalizar sus correspondientes redes de acceso y, por lo tanto, serán los primeros en implementar sistemas de comunicación formales en las redes de acceso. Esto implica que estos países serán los pioneros en implantar estas tecnologías. Como consecuencia lógica países como México se verán obligados a implementar esa misma tecnología pero no como consecuencia de una necesidad interna propia sino más bien como consecuencia de la competencia internacional a la que nos veremos sometidos.

Por lo tanto, valdría la pena considerar seriamente empezar de manera inmediata proyectos para opticalizar las redes de acceso en todo México de acuerdo a necesidades propias de nuestra situación socio - económica. El riesgo de esperar a instalar modelos extranjeros es que por una parte sean obsoletos cuando se implanten en México y por la otra que dichos modelos no concuerden necesariamente con las necesidades de comunicación del país y por lo tanto no se aprovechen al 100%. La consecuencia lógica es que el costo económico de implementar estos modelos será desventajoso para el usuario.

A manera de propuesta formal, se puede considerar el siguiente esquema para la implementación de este proyecto.

.- comenzar a partir de una implementación a nivel piloto de un sistema como el propuesto en las ciudades de México, Monterrey, Guadalajara y Mérida. La evaluación de estos proyectos no debe llevar más de un año.

.- De acuerdo a los resultados de esta prueba, diseñar redes de acceso formales para cada uno de los casos citados y extrapolar el proyecto a otras partes del país de acuerdo a las experiencias adquiridas, sin embargo, la infraestructura ya estaría fincada y al menos se ganaría tiempo para implementar la tecnología extranjera de acuerdo a las pautas nacionales de telecomunicación.

.- el resultado de esta propuesta permitiría fincar una infraestructura de inmediato que sería capaz de escalarse de acuerdo a las necesidades de comunicación de cada localidad ya que es evidente que la implementación del proyecto depende del tipo de localidad del que se trate: rural o urbana.

6.5 Comunicación satelital y sistemas ópticos de comunicación

Hablar de comunicación vía satélite puede resultar fuera de contexto; sin embargo existen factores que hay que reconocer como válidos en esta relación para así tomar ventaja de estas características en sistemas futuros de comunicación.

A pesar de que los sistemas satelitales de comunicación se utilizan sobre todo para servicios de larga distancia, es importante ponderar su uso en relación a los sistemas ópticos de comunicación.

Es importante señalar que no se pretende demostrar o determinar que los sistemas de fibra óptica son mejores que la comunicación vía satélite, muy al contrario se desea concluir que más allá de una burda competencia comercial, los sistemas de comunicación globales se pueden ver beneficiados por la relación existente entre las comunicaciones ópticas y las comunicaciones satelitales.

La mayor competencia a la que se verá sometida la comunicación por medio de fibras ópticas es la comunicación vía satélite; sobre todo para aquellos casos en los que intervienen las comunicaciones a larga distancia.

El uso de sistemas de comunicación por cable es mucho más antiguo que el de los sistemas de comunicación satelitales. La realidad es que actualmente, después de más de 25 años de que las comunicaciones satelitales han incidido en el mercado de las comunicaciones por cable, la demanda de las comunicaciones por cable sigue creciendo aún en aquellos casos de comunicaciones a larga distancia.

Las razones que apuntan a un crecimiento en la demanda de los sistemas ópticos de comunicación con respecto a los satelitales son, entre otros, los siguientes:

a) El rápido desarrollo de la fibra óptica como tal que ofrece un amplio ancho de banda, costo razonable, facilidad de manejo, terminales transmisoras y receptoras pequeñas y una inmunidad con respecto a las interferencias eléctricas.

b) La regularización internacional a la que los sistemas satelitales se han visto sujetos para obligarlos a que todos los países pudieran utilizar ciertos sistemas específicos. La fibra óptica nunca se ha visto sujeta a este tipo de regularización global.

Sin duda alguna, el futuro de las comunicaciones punto a punto será regidas por la fibra óptica. Actualmente existe una serie de proyectos, ya operando, para comunicaciones transoceánicas vía fibra óptica. Además, el grado de obsolescencia de los satélites (que actualmente es de 10 años), está muy superado por el de los sistemas de fibra óptica que pueden alcanzar una vida útil de hasta 25 años. Esto aunado al factor de mantenimiento de un sistema y otro, en este rubro, el costo de dar mantenimiento a un satélite es muy alto.

6.6 Sistemas de comunicación por medio de solitones

El término solitón fue concebido en 1965 para describir las propiedades de las envolventes de los pulsos de ciertas partículas en medios no lineales; en ciertas condiciones, dicha envolvente no sólo se propaga sin distorsión, sino que además sobrevive a las colisiones a las que las partículas se ven sometidas.

La existencia de los solitones en fibras ópticas fue sugerida en las fibras ópticas por primera vez en 1973 y no fue sino hasta 1980 cuando se confirmó experimentalmente. Una serie de estudios y desarrollos al respecto, han hecho que el tema de los solitones haya pasado de ser una simple curiosidad matemática a una utilidad práctica en el ámbito de las telecomunicaciones.

Los sistemas de comunicación a partir de solitones han demostrado su uso para sistemas de transmisión a ultra larga distancia. Este tipo de sistemas encuentra aplicaciones prácticas en sistemas ópticos de comunicación submarina. La mayor limitante a la que se ven expuestos estos sistemas son las pérdidas motivo de las dispersiones en la fibra. Actualmente se llevan a cabo desarrollos para crear fibras dopadas que puedan solucionar esta dificultad. Los solitones tienen la facultad de ser aplicados en sistemas de muy alta velocidad de transmisión (rangos mayores a 10 Gb/s).

Las transmisiones a partir de solitones son muy útiles en casos en los que se requiere una gran velocidad de transmisión para aplicaciones en distancias cortas.

Sin embargo, los sistemas de transmisión a partir de solitones se encuentran todavía en la etapa de estudio y desarrollo y se requiere de más tiempo para llegar a la etapa de aplicación comercial.

BIBLIOGRAFIA

Capítulo I:

Technical Symposium: Integration Interoperation and Interconnection: The Way to Global Services Part 2, Vol.II. International Telecommunication Union, pp 87 - 91. Geneva 10 - 15 October, 1991.

Technical Symposium: Integration Interoperation and Interconnection: The Way to Global Services Part 2, Vol.I. International Telecommunication Union, pp. 4 - 7. Geneva 10 - 15 October, 1991.

Daly, James C.: Fiber Optics p. 22,24, 25 1987 CRC Press, Inc. Florida USA

SIEMENS: Conductores de fibras opticas, pp. 78 - 80, Boixareu Editores, 1987 Barcelona, España

idem, p. 87

Agrawal, F. Govind: Fiber Optic Communication Systems, pp 24 - 30, John Wiley & Sons, 1992 USA

idem, p. 43 - 60

SIEMENS: Conductores de fibras opticas, pp. 20 - 30, Boixareu Editores, 1987 Barcelona, España

idem, p. 133

Wilson, Scott: Communication Systems, pp. 535 - 599, Wiley Interscience, 1978 PA, USA

SIEMENS AG: Telecomunicación Digital, Equipo de línea para sistemas de transmisión ópticas, Parte 3. Transparencias. 1988 Boixareu editores, Barcelona, España.

Capítulo II:

Agrawal, P. Govind: Fiber Optic Communication Systems, pp. 170 -180 . John Wiley & Sons, 1992 USA

Cross, Christopher: Modern Information Techniques, pp. 347 - 387, Mc Graw Hill, 1985 LA, USA

Capítulo III:

Agrawal, F. Govind: Fiber Optic Communication Systems, pp. 90 - 190,
John Wiley & Sons, 1992 USA

SIEMENS: Comunicaciones Ópticas, Telcom Report p. 43 SIEMENS, 1983
München, Rep. Federal de Alemania.

Capítulo IV:

Technical Symposium: Integration Interoperation and Interconnection:
The Way to Global Services Part 2, Vol.I. International
Telecommunication Union, pp. 105 - 109. Geneva 10 - 15
October, 1991.

ibid, pp. 117 - 120

Technical Symposium: Integration Interoperation and Interconnection:
The Way to Global Services Part 2, Vol.II. International
Telecommunication Union, pp. 9 - 13. Geneva 10 - 15
October, 1991.

ibid, pp. 25 - 29

ibid, pp. 51 - 55

ibid, pp. 57 - 61

ibid, pp. 63 - 67

Shumate, Paul W.: Evolution of Fiber in the Residential Loop Plant,
IEEE Communications Magazine, pp. 68 - 73, March 1991.

Young, Paul: Desarrollo de Redes Locales en el reino Unido, IEEE
Communications Magazine, pp. 50 - 58, abril 1991

ALCATEL: ALCATEL 1570, Sistema de abonados por medio de Fedes Ópticas
Pasivas, Reporte tecnológico de la compañía, 1992

Capítulo V:

TELMEX: Programa Trienal 1991 - 1993, Teléfonos de México, 1993

TELMEX: Avances del Plan Trienal 1991 - 1992, Teléfonos de México,
1992

Capitulo VI:

Ackroyd, Bryan: World Satellite Communications and Earth Station Design, pp. 316 - 318 BSP Professional Books, North Yorkshire, England 1990.

Technical Symposium: Integration Interoperation and Interconnection: The Way to Global Services Part 2, Vol.1. International Telecommunication Union, pp. 93 - 97. Geneva 10 - 15 October, 1991.