

29

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO



FACULTAD DE INGENIERIA

LAS REDES OPTICAS COMO UNA OPCION VIABLE
PARA SATISFACER LAS ACTUALES Y FUTURAS
DEMANDAS DE LAS TELECOMUNICACIONES

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO ELECTRICO ELECTRONICO
AREA TELECOMUNICACIONES

P R E S E N T A N :

JOSE LUIS DURAN MARTINEZ

MAURICIO JUAREZ ORTA

SERGIO PERALTA CRUZ



DIRECTOR DE LA TESIS. ING JUAN FERNANDO SOLORSANO PALOMARES

CIUDAD UNIVERSITARIA,

2001



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

TESIS PROFESIONAL

LAS REDES ÓPTICAS COMO UNA OPCIÓN VIABLE
PARA SATISFACER LAS ACTUALES Y FUTURAS
DEMANDAS DE LAS TELECOMUNICACIONES

*JUÁREZ ORTA MAURICIO
PERALTA CRUZ SERGIO
DURAN MARTINEZ JOSE LUIS*

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	V
------------------------	---

CAPÍTULO I Telecomunicaciones y fibras ópticas.1

◦ Evolución de las telecomunicaciones.	1
◦ Medios de transmisión.	4
◦ Principios y fundamentos del comportamiento de las fibras ópticas como medio de transmisión.	7
◦ Descripción física de la fibra óptica.	14
◦ El rayo LASER	17
◦ Ventajas y desventajas de la fibra óptica con respecto a otros medios de transmisión.	18
◦ Características de transmisión y tipos de fibras ópticas.	20
- Atenuación	
- Dispersión	
- Fibra multimodo	
- Fibra monomodo	

CAPÍTULO II Códigos de línea 40

◦ Introducción a los códigos de línea.	40
◦ Código HDB3	43
◦ Códigos de línea ópticos mB / nB.	45

CAPÍTULO III	Tecnologías de transporte diseñadas para operar con fibra óptica y la multiplexación por división de longitud de onda.	50
◦	Técnicas de conmutación	50
◦	Tecnología X.25	54
◦	Frame Relay	59
◦	ATM	65
◦	PDH	70
◦	SDH	77
◦	WDM	84
CAPÍTULO IV	Elementos necesarios para la conexión de una red óptica.	89
◦	Cables ópticos	89
◦	Conectores ópticos	105
◦	Empalmes	105
CAPÍTULO V	Elementos de un terminal óptico.	109
◦	Transmisores ópticos	109
◦	Detectores y receptores ópticos	115
◦	Regeneradores intermedios	119
CAPÍTULO VI	Mediciones y pruebas en una red óptica empleando un equipo OTDR	120
◦	Descripción del OTDR	120
◦	Identificación de eventos en una red óptica	124
◦	Identificación del fin de la fibra	125

CAPÍTULO VII	Interconexión de la red fija con la red móvil . . .	126
◦	Telefonía celular.	126
◦	Satélites.	128
◦	Sistemas de comunicaciones personales (PCS)	130
◦	Convergencia fijo / móvil.	131

CAPÍTULO VIII	¿Por qué son las redes ópticas una opción viable para satisfacer las actuales y futuras demandas de las telecomunicaciones?	133
◦	El gran ancho de banda de la fibra óptica.	133
◦	La atenuación en las redes de fibra óptica.	135
◦	Dimensiones e inmunidad a interferencias electromagnéticas de las redes ópticas.	139
◦	Costo de las redes ópticas.	140
◦	El futuro de las redes ópticas	143

CONCLUSIONES.	VI
------------------------------	-----------

GLOSARIO.	VIII
--------------------------	-------------

BIBLIOGRAFÍA.	XVI
------------------------------	------------

Introducción

Hoy en día se hace necesario crear redes de telecomunicaciones capaces de soportar los crecientes servicios que demanda el proceso de globalización de las relaciones humanas.

Dadas las características cada vez más exigentes que deben cumplir las redes de telecomunicaciones; tales como, alta velocidad de transmisión, reducida tasa de errores, ancho de banda prácticamente ilimitado, máxima seguridad en la transmisión de información, bajo costo de operación, etc. Se debe pensar en la implementación de redes ópticas como una opción viable para satisfacer dichas necesidades. Dadas las características de las fibras y demás elementos que componen una red óptica, además de los avances tecnológicos que día a día se obtienen tanto en eficiencia como en disminución de costos, se hace evidente que las redes ópticas ofrecen grandes ventajas con respecto a sus contrapartes metálica (coaxial y par trenzado) e inalámbrica, (microondas y satélites) por su puesto sin poder sustituir los servicios móviles que estas ofrecen.

Tradicionalmente las redes de telecomunicaciones convierten la información en señales eléctricas (electrones) que a su vez son transportadas por líneas de cobre, o bien en ondas electromagnéticas para que viajen por el aire. En cambio, las redes ópticas convierten la información en señales luminosas (fotones) que son transmitidos a través de fibras ópticas, debido a que los fotones son más ligeros que los electrones, la información viaja a mayor velocidad y a mayores distancias, ya que los fotones encuentran muy poca resistencia en la fibra óptica.

Aunado a lo anterior las tecnologías de transporte diseñadas para operar a muy altas velocidades de transmisión y los modernos sistemas ópticos de multiplexación hacen que las redes de fibra óptica sean la opción que actualmente eligen todos los proveedores de comunicaciones de larga distancia

De esta forma, la falta de una eficiente red de comunicaciones para obtener, procesar y distribuir la información representará en un futuro próximo el fracaso de muchas empresas, ya que se encontraran en desventaja para competir con aquellas empresas que cuenten con redes de comunicaciones eficientes que les permitan optimizar sus procesos en la toma de decisiones en

tiempos cortos, lo cual les permitirá anteponerse a sus competidores colocándose como líderes en su mercado.

Dadas las tendencias actuales, las cuales señalan que en un futuro no muy lejano la mayoría de las comunicaciones fijas se realizarán a través de fibras ópticas, resulta evidente que el desarrollo de redes ópticas (LAN o WAN) será de gran relevancia en el crecimiento de cualquier nación

La presente tesis proporciona una descripción general de los diferentes bloques lógicos y funcionales de las redes ópticas, así como una breve semblanza de lo que las redes de telecomunicaciones serán en un futuro no muy lejano.

CAPITULO I

TELECOMUNICACIONES Y FIBRAS ÓPTICAS

Evolución de las telecomunicaciones

El termino telecomunicaciones comprende los medios para transmitir, emitir o recibir, signos, señales, textos, imágenes, video, sonidos o datos de cualquier naturaleza, entre dos o más puntos geográficos a cualquier distancia a través de cables, ondas electromagnéticas, medios ópticos o cualquier otro sistema de transmisión.

La evolución de las redes de telecomunicaciones ha dependido del desarrollo de cables y materiales semiconductores, así como del diseño y construcción de artefactos para emitir y recibir energía electromagnética, con el consecuente uso y explotación del espectro radioeléctrico. Por ello, las telecomunicaciones son fruto de los avances de la física. Los aportes científicos y tecnológicos de la electrónica, microelectrónica, ciencia de materiales y el espacio, **óptica**, cibernética, entre otros, incidieron directamente en el perfeccionamiento de las primeras redes y la diversificación de servicios

En 1753, el estadista norteamericano Benjamín Franklin hizo descender una descarga eléctrica en una tormenta, e ideó la manera de conservar la carga eléctrica. El francés Charles Coulomb, encontró en 1785 la forma de medir la electricidad y el magnetismo. Y en 1795 el fisico italiano Alessandro Volta consiguió producir y almacenar electricidad

El descubrimiento de la electricidad abrió múltiples caminos para obtener inventos más avanzados como el telégrafo. Entre los experimentos más importantes que condujeron a la invención del telégrafo, se encuentra el del fisico danés Oersted, quien descubrió la relación entre la electricidad y el magnetismo.

A lo largo de la historia el hombre ha utilizado banderolas, columnas de humo, reflejos ópticos y otros medios para comunicación marítima y terrestre. Antes de que se usara la electricidad llegaron a construirse extensas redes no eléctricas. Una de ellas fue la que unía a París y Lille en Francia, con casi 5 mil kilómetros de recorrido con 534 estaciones. Era una red telegráfica basada en principios de la óptica, consistente en una serie de mástiles elevados, provistos en su extremo superior de brazos de madera movibles, y cuyas posiciones, visibles desde los mástiles vecinos, podían combinarse formando ángulos variados entre sí para representar todas las letras del alfabeto.

En 1754 Georges L. Lesage puso a prueba en ginebra un sistema de 24 hilos aislados, donde cada hilo representaba una letra del alfabeto y terminaba en la estación receptora, logrando enviar mensajes, aunque con muchas dificultades. En 1795 el médico barcelonés Francisco Salvá ideó un telégrafo eléctrico con hilos conductores, y logró transmitir mensajes mediante descargas de un condensador.

Se reconoce a los alemanes Carl Gauss y Wilhelm Weber como los creadores en 1833, del primer sistema telegráfico electromagnético viable. En Inglaterra William F. Cooke y Charles Wheatstone desarrollaron un sistema telegráfico que estaba compuesto por un tablero con cinco llaves, una para cada una de las cinco agujas del telégrafo. Cada llave podía atraer corriente a un circuito y de ese modo provocar que la aguja correspondiente girara y pusiera una letra del alfabeto. En 1837 Cooke y Wheatstone recibieron una patente para su telégrafo. En el mismo año de 1837 el físico y artista norteamericano Samuel Morse inventó un telégrafo eléctrico y un código de signos o alfabeto convencional en el que las letras están representadas por combinaciones de rayas y puntos. Las redes telegráficas experimentaron un rápido crecimiento. En México la primera línea telegráfica entró en funcionamiento el 5 de noviembre de 1851, y comunicaba a la ciudad de México con el poblado de Nopalucan, Puebla

Más adelante entre 1924 y 1928, con la introducción del teletipo, la telegrafía manual empezó a reemplazarse por la impresa (que operaba 500 palabras por minuto). El teletipo hacía que las combinaciones de impulsos eléctricos se tradujeran automáticamente en letras. El teletipo ha sido suplantado por el fax, que funciona a través de líneas telefónicas, a su vez, el fax poco a poco está siendo reemplazado por enlaces de computadoras como el correo electrónico.

Los norteamericanos Alexander G. Bell y Elisha Gray se dieron a la tarea de lograr transmitir la voz humana a través de hilos de cobre, lo cual lograron con gran éxito. Bell y Gray llevaron a cabo entre 1827 y 1876, intensos experimentos para lograr las comunicaciones de voz. El primero se acercó a la solución del problema a través de la acústica y, el segundo, por medio de la electricidad. Así mismo construyeron aparatos similares sólo que el de Gray no tenía transmisor y el de Bell sí.

Para 1887, a sólo una década de su introducción comercial ya había 235 mil kilómetros de cables tendidos con 444 centrales y conectando 150 mil suscriptores. El principal problema al que se enfrentó en sus inicios la telefonía fue la pérdida de intensidad de la señal a medida que la distancia de transmisión aumentaba. La invención del tubo de vacío en 1906 por Lee DeForest resolvió ese problema mediante la amplificación de la señal. El tubo de vacío llevaría de lleno a la era de las telecomunicaciones. En México, el servicio telefónico público fue proporcionado por la Compañía Telegráfica Mexicana (CTM), quien inició labores en el año 1888. Posteriormente se otorgó una concesión a la compañía Ericsson para prestar el servicio telefónico. Sin embargo en 1947 intervino el gobierno para fusionar ambas compañías, y a dicha fusión se le dio el nombre de Teléfonos de México, quien mantuvo el monopolio hasta 1990.

Por su parte las comunicaciones inalámbricas iniciaron su desarrollo a partir de que el físico británico James Maxwell formuló la teoría electromagnética de la luz señalando su carácter ondulatorio, es decir, su transmisión a través de ondas invisibles para el ojo humano. Estableció que los campos eléctrico y magnético, actuando juntos, producen un nuevo tipo de energía llamada radiación

Posteriormente el alemán Heinrich R. Hertz, entre 1885 y 1889, comprobó por la vía experimental la existencia de las ondas electromagnéticas. Con el descubrimiento de

estas ondas que viajan en el espacio. Guillermo Marconi consiguió el 2 de junio de 1891 una patente para la telegrafía sin hilos. En junio de 1869 transmitió el primer mensaje radiotelegráfico hallándose el receptor a 250 metros del emisor y separados por muros.

El primer paso para lograr que la radiotelegrafía se convirtiera en radiotelefonía fue el invento del bulbo y el micrófono. El micrófono modula las ondas radiotelefónicas enviadas, mientras que el tubo rectifica y aumenta la débil corriente radiotelefónica recibida. Con estos adelantos, para 1908 fue posible sostener una conversación radiotelefónica a una distancia de 500 Km, aproximadamente.

Los científicos que contribuyeron a hacer realidad este medio de telecomunicación, quizá nunca pensaron que sus descubrimientos serían la base para el despegue y desarrollo posterior de grandes industrias lucrativas como la telefonía sin hilos y la comunicación por satélite.

Para 1947, con la invención del transistor en los laboratorios Bell, se inició una asombrosa carrera por la miniaturización de los equipos de recepción y transmisión, sus características de no-emisión de calor y bajos requerimientos de energía, permitieron abrir el camino a sistemas telefónicos compactos y eficientes. Más aún, hoy en día los circuitos integrados son capaces de integrar millones de transistores en un solo circuito, lo cual ha propiciado la creación de sistemas capaces de procesar información a velocidades que apenas hace unas décadas eran inimaginables.

A principios de la década de los sesenta las comunicaciones y la computación eran todavía actividades separadas, sin embargo se vio la necesidad de crear redes de computo a través de líneas telefónicas. La convergencia de la computación y las comunicaciones fue posible gracias a la conversión digital de los sistemas de telecomunicaciones y los adelantos de la microelectrónica. De esta forma la computadora ha evolucionado hasta convertirse hoy en día, no solo en un dispositivo de almacenamiento y procesamiento de información, sino en un medio propiamente de comunicación. El caso de Internet es tal vez el ejemplo más ilustrativo de la capacidad de interacción que se ha obtenido con la integración del computo y las redes de telecomunicaciones.

A medida que la cobertura de la telefonía iba en aumento, se presentó el problema de reducir el número de cables para realizar la comunicación. Esto se logró modulando las corrientes de las frecuencias (bajas) de la voz, sobre oscilaciones de frecuencias elevadas. Este procedimiento fue adoptado por la telefonía múltiple, donde se elige para cada comunicación una frecuencia portadora distinta. Así varias comunicaciones pueden viajar juntas por el mismo canal. cuando llega la comunicación al extremo de una línea, se deja pasar solamente una banda de frecuencias por un filtro para posteriormente demodular cada una de las señales y mandarlas al receptor.

Obviamente, estas transmisiones no se podían hacer por los cables sencillos que se venían utilizando, por lo cual se crea el cable coaxial, formado por un conductor centrado y aislado dentro de otro cilíndrico que protege al primero y evita la pérdida de potencia por radiación. A partir de entonces no han cesado las investigaciones con el fin de crear

conductores con características superiores, y hasta la fecha el medio de comunicación que presenta más ventajas es la **fibra óptica**

En la actualidad la telefonía es un sistema que se utiliza para la transmisión de voz, sonidos, imágenes y video, a través de medios guiados y no guiados. La red telefónica mundial es enorme, abarca aproximadamente 700 millones de kilómetros y permite la comunicación prácticamente a cualquier lugar de la tierra por medio de cables de cobre, microondas, enlaces satelitales y **fibras ópticas**.

Medios de transmisión

En la búsqueda por encontrar materiales conductores capaces de soportar transmisiones de altas frecuencias, resistentes a temperaturas y condiciones ambientales variables, los ingenieros desde mediados del siglo empezaron a desarrollar nuevas tecnologías de transmisión.

Los cables de hierro que llevaban mensajes telegráficos no pueden soportar las frecuencias necesarias para acarrear a largas distancias las llamadas telefónicas sin presentar severas distorsiones. Por ello las compañías telefónicas comenzaron a emplear los pares de cobre. Aunque éstos cables trabajaron bien en algunas redes, para los años 50, las centrales telefónicas ya estaban muy saturadas, por lo que necesitaban mayor ancho de banda que el de los pares de cobre convencionales. Por ello se comenzaron a emplear los cables coaxiales. En los años sesenta el consumo del ancho de banda se incremento considerablemente, en gran parte debido a la industria de la televisión por cable y a la cada vez mayor demanda de capacidad de conducción de las empresas telefónicas, dicha demanda fue satisfecha mediante el uso de cable coaxial, microondas y la tecnología digital. Sin embargo, se empezaron a buscar otros conductores que usaran alguna forma de **comunicación óptica**, esto es, usar luz en vez de ondas eléctricas

Los primeros estudios para realizar transmisiones de información a través de fibras ópticas, se llevaron a cabo a mediados de los sesenta en los laboratorios de la Standard Telecommunications de ITT en Inglaterra, donde C.K Kao y G.A Hockham postularon que las ondas de luz podían guiarse por el vidrio, o sea la fibra óptica. En 1970 los científicos de Corning Glass Works en Nueva York hicieron realidad la fibra óptica. Los ensayos de campo iniciaron en 1975 y para 1978 se contaba con 1000 kilómetros de fibra óptica instalada por todo el mundo

Las fibras ópticas son guías de luz que tienen el grosor de un cabello humano y poseen la capacidad de transmitir a grandes distancias con muy poca atenuación. Transportan la información por medio de ondas luminosas y no mediante electricidad, además su capacidad de transmisión multiplica a la del cobre, ya que para transmitir una llamada telefónica se necesita un par de cobre, y un par de fibras ópticas es capaz de soportar casi 2000 llamadas simultaneas.

La transmisión de señales entre dos puntos siempre se realiza a través de un medio de transmisión, dicho medio puede ser.

Guiado: el cual emplea medios físicos, como son; par trenzado, coaxial, guías de onda, fibras ópticas, etc. En otras palabras un medio guiado es aquel que se encuentra físicamente instalado.

No guiado: el cual ocupa medios no instalados físicamente, como son; ondas de radio, microondas y enlaces satelitales.

Los modos de transmisión pueden ser los siguientes:

*Simplex: la transmisión se realiza en un solo sentido

*Half Duplex: La transmisión es bidireccional, se realiza por un mismo medio pero a diferentes intervalos de tiempo, es decir, en un intervalo de tiempo se transmite y en otro se recibe.

*Full Duplex: la transmisión y recepción se realiza al mismo tiempo sin importar el número de canales que se empleen.

Par trenzado

El medio de transmisión más común es el par trenzado (Twisted Pair). Un par trenzado consiste de dos alambres de cobre aislados y trenzados helicoidalmente con el propósito de reducir la interferencia de conductores cercanos. Estos pares generalmente se agrupan en cables denominados multipar. Las variantes del cable par trenzado son:

UTP (Unshielded Twisted Pair) Par trenzado no blindado

STP (Shielded Twisted Pair) Par trenzado blindado

FTP (Foiled Twisted Pair) Par trenzado forrado

Estos cables se subdividen en categorías de acuerdo a su capacidad de transmisión e inmunidad a interferencias externas. La EIA (Electronic Industries Standard) publica su estándar EIA 568, que en su portada A define las categorías de los diferentes tipos de cable par trenzado.

CATEGORÍA DEL CABLE	APLICACIÓN	FRECUENCIA DE OPERACIÓN
UTP		
1	Especialmente diseñado para teléfonos	
2	Transmisión de voz y datos	4 MHz
3	Transmisión de voz y datos	16 MHz
4	Transmisión de voz y datos	20 MHz
5	Transmisión de voz y datos	100 MHz

Cable coaxial

Este tipo de cables esta constituido por un alambre de cobre rígido como núcleo, rodeado por un material dieléctrico el cual a su vez esta rodeado por un conductor cilíndrico, que con frecuencia es una malla metálica. El conductor es finalmente cubierto por un material plástico que sirve de protección. El material dieléctrico define en gran medida la velocidad de transmisión que un coaxial alcanza.

La siguiente tabla muestra las características de velocidad de algunos dieléctricos en comparación con la velocidad de la luz.

Material Dieléctrico	% Velocidad	Velocidad (Km/s)
Polietileno Sólido	65.9 %	197,700
Teflón sólido	69.4 %	208,200
Polietileno espumoso	80 %	240,000
Teflón espumoso	85 %	255,000

Las clases de cable coaxial que se emplea más frecuentemente son dos:

*Cable coaxial banda base: Se emplea para transmisiones digitales, tiene una impedancia de 50 ohms/Km, puede alcanzar en una distancia de 1 Km velocidades de transmisión de hasta 2 Gbps. Se denominan RG-58 O RG-62.

*Cable coaxial banda ancha: Se emplea para transmisiones analógicas, es ampliamente usado en sistemas de T.V por cable. Tiene una impedancia de 75 ohms/Km y tiene un ancho de banda de 300 – 400 MHz en distancias de hasta 100 Km.

Fibra óptica

La fibra óptica es un filamento de plástico o cristal de alta pureza constituido por dos cilindros concéntricos con índices de refracción distintos. Gracias A fenómenos ópticos la fibra óptica es capaz de transportar información empleando señales luminosas. Por lo general las transmisiones se realizan con rayos infrarrojos.

La construcción de la fibra óptica es sencilla, consta de un núcleo rodeado por un material llamado revestimiento. El índice de refracción del núcleo es mayor que el del revestimiento lo cual permite que exista reflexión total interna

El presente texto expondrá en forma detallada las características y ventajas de emplear fibra óptica como medio de transmisión para satisfacer las crecientes demandas de capacidad que requieren y requerirán las actuales y futuras redes de comunicaciones

Principios y fundamentos del comportamiento de las fibras ópticas como medios de transmisión.

Propagación de la luz

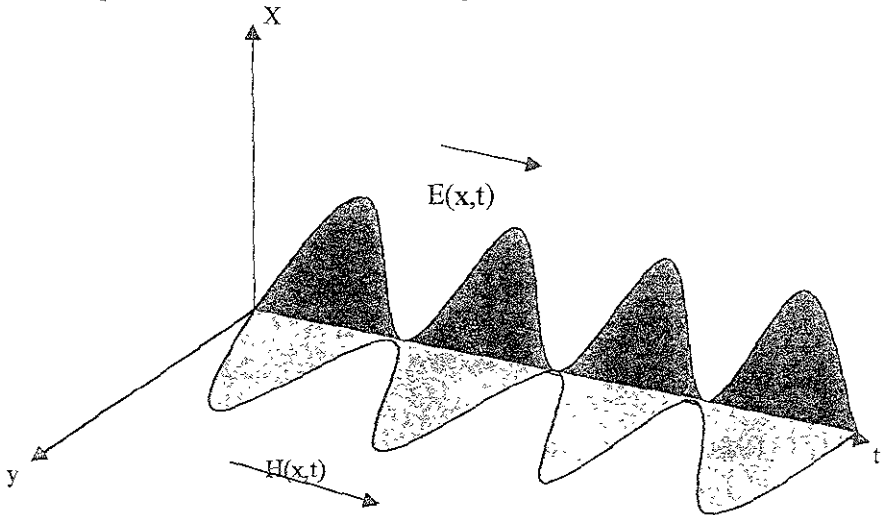
La energía luminosa puede considerarse inicialmente como una onda electromagnética que viaja transversalmente. Para sustentar la afirmación anterior se hace necesaria una breve recopilación de los fenómenos electromagnéticos.

Ondas electromagnéticas transversales

Si una carga q (eléctrica) se encuentra inmersa en un campo eléctrico E , dicha carga experimenta una fuerza $F_e = qE$. Si además la carga q se mueve dentro de un campo magnético H , entonces la carga también experimentará una fuerza $F_B = qv \times H$, donde v es la velocidad de la carga. Por lo tanto si existen ambos campos, la carga q experimentará la suma de ambas fuerzas, dando una fuerza resultante total $F = qE + (qv \times H)$, dicha fuerza es conocida como la fuerza de Lorentz. Si la carga q es positiva la fuerza F y el campo eléctrico E tienen el mismo sentido, y si la carga q es negativa entonces la fuerza F y el campo E tienen sentidos contrarios.

Ondas transversales

Una onda electromagnética transversal es aquella en la cual las cargas q vibran sobre una línea perpendicular a la dirección de propagación. A lo largo de cualquier línea de avance, todas las partículas están vibrando en un solo plano.

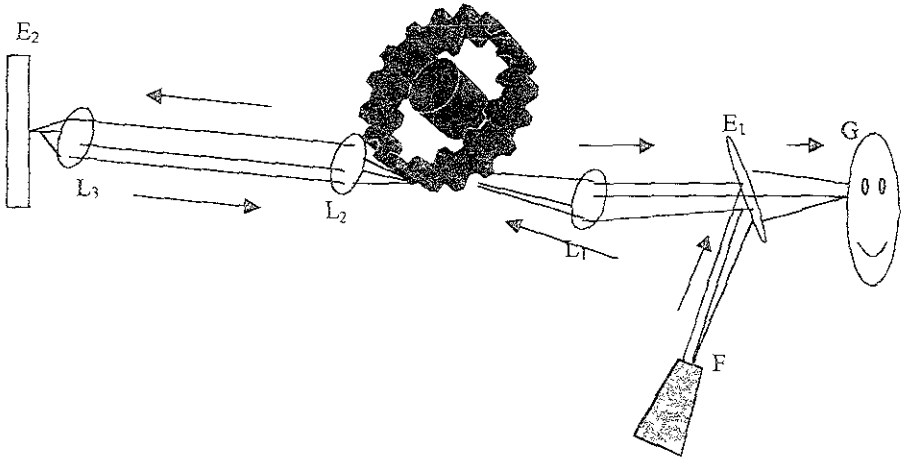


Velocidad de la luz.

El conocer a que velocidad se desplazan las ondas luminosas es algo que el hombre trato de investigar desde hace mucho tiempo. Galileo trato de medir la velocidad de la luz por el año 1600. Su experimento consistió en subir a una colina con una lámpara y una lámina para cubrirla, mientras que en otra colina se colocó un ayudante con otra lámpara. Galileo intento medir el tiempo que tardaba en descubrir su lámpara y recibir la contestación de su ayudante que al ver el haz luminoso descubría su lámpara. Como resultaba demasiada lenta la reacción corporal de cubrir y descubrir la lámpara Galileo supuso que la velocidad de la luz era infinita.

Más adelante en 1849 el fisico francés Armand Fizeau ideó un ingenioso dispositivo el cual constaba de una fuente luminosa F que era reflejada por un espejo semitransparente E1 y luego se llevaba a un foco en el punto O, por medio de una lente L1. Después de convertirse en un haz de rayos paralelos por una lente L2 la luz recorría una distancia razonable hasta donde un espejo E2 y una lente L3 reflejaba la luz en sentido contrario, algo de luz pasaba a través del espejo E1 y era detectada por un observador en G.

El objeto de la rueda dentada es eclipsar el haz de luz hasta que su velocidad sea tal que el haz de luz que pasa por un hueco regrese y pase por el hueco siguiente proyectando un haz de intensidad máxima en G. Para su experimento Fizeau empleo una rueda con 720 dientes, una separación entre los espejos de 8.67 Km y detectó una intensidad del haz cuando la rueda giraba a 25rpm.



Tomando en cuenta los datos anteriores se obtiene que la velocidad de la luz es de

Nº de espacios en la rueda 1440 (720 dientes y 720 huecos)

Grados que ocupa un espacio 0.25°

Velocidad de la rueda en grados por segundo 25gps ($360^\circ/1s = 9000^\circ/s$).

Mediante una simple regla de tres se obtiene que el tiempo que tarda un haz de luz en recorrer la distancia entre los espejos de ida y vuelta es de 55.55555×10^{-6} s. Por lo tanto:

$$C = 17.34 / 55.55555 \times 10^{-6}$$
$$C = 312.120 \text{ Km/s}$$

Años después varios investigadores modificaron el dispositivo de Fizeau para perfeccionar las mediciones, entre ellos Albert A. Michelson, quien logró obtener un valor de $C = 299.769 \text{ Km/s}$ en el año 1926. Experimentos más recientes han brindado un valor experimental para la velocidad de la luz de $C = 299\,729.5 \text{ Km/s}$.

Otra forma de calcular C es mediante el empleo de las ecuaciones de Maxwell y algunas identidades vectoriales, los cálculos arrojan la ecuación:

$$C = 1 / \sqrt{\mu \epsilon}$$

Para el vacío

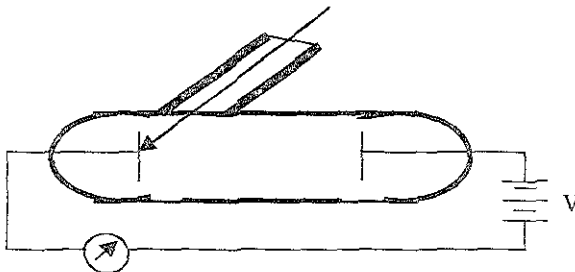
$$\mu_0 = 1.26 \times 10^{-6} \text{ Henry/m}$$
$$\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ farad/m}$$

por lo tanto

$$C_0 = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

Efecto fotoeléctrico Hertz 1887

A pesar del innegable carácter ondulatorio de la luz, existen fenómenos que demuestran que la luz se comporta como un haz de partículas puntuales, dichas características se observan a la perfección en el efecto fotoeléctrico el cual se puede reproducir colocando un par de placas de metal pulidas y aisladas dentro de un tubo al vacío, las placas se conectan a través de un galvanómetro a una fuente de tensión variable, y a continuación se hace incidir sobre una de las placas un rayo de luz, mientras que a la otra placa se le aplican variaciones de potencial para observar el resultado.



Al realizar el experimento se observan los resultados siguientes.

- 1) Al hacer incidir una determinada radiación sobre la placa esta libera electrones
- 2) La energía de los electrones liberados depende de la longitud de onda de la radiación incidente
- 3) La cantidad de electrones liberados es proporcional a la potencia de la fuente

La teoría clásica esperaría que al absorber la radiación incidente, los electrones libres del metal se acelerarían, proceso por el cual no debería intervenir la frecuencia de la fuente. Así mismo, la energía de una onda electromagnética es proporcional a la intensidad de la fuente sin existir una dependencia con la frecuencia.

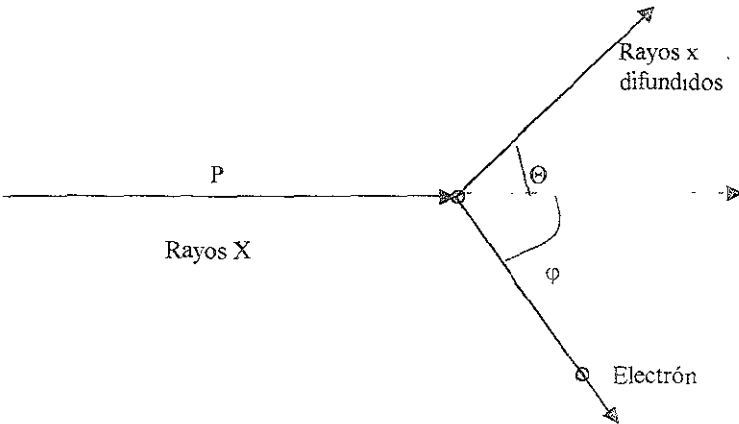
La explicación del efecto fotoeléctrico fue sugerida por primera vez en 1905 por Einstein, quien postuló que dicho fenómeno es comprensible si suponemos que la luz de una frecuencia γ esta formada por un flujo de partículas discretas, y que cada partícula lleva una energía

$$E = h\gamma \quad ; \quad h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s} \quad (\text{Constante de Planck})$$

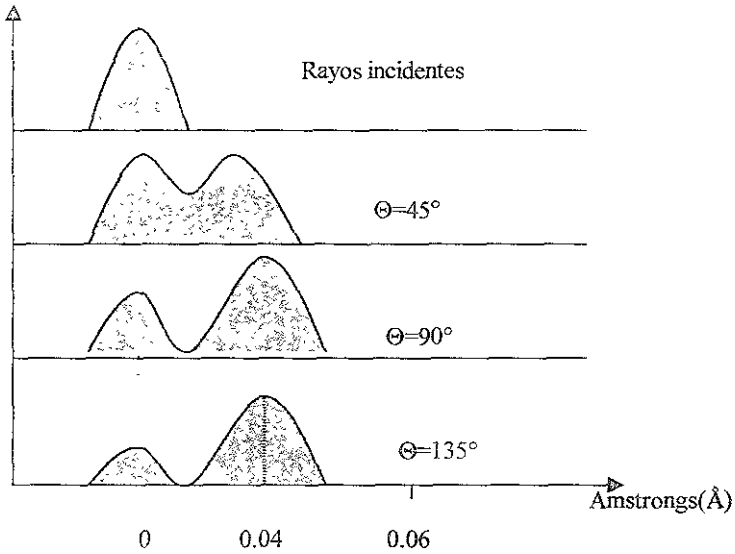
Dichas partículas son conocidas como cuantos de luz o fotones.

Efecto Compton

Mas adelante en 1923 A.H.Compton descubrió que al hacer incidir un haz de rayos X o γ , la radiación dispersada resultante consta de dos componentes, una cuya longitud de onda es igual a la radiación incidente, y otra cuya longitud de onda es diferente en una cantidad que depende del ángulo de incidencia



Este fenómeno establece que un fotón de energía $h\gamma$ puede chocar con un electrón en reposo, al chocar el electrón adquiere una cierta cantidad de energía y momento, mientras que el fotón sale con una energía reducida $h\gamma'$ en una dirección diferente a la del fotón incidente.



De todo lo anteriormente expuesto, podemos afirmar que por las particularidades de su comportamiento la luz se propaga a través del espacio como una onda y en algunos otros fenómenos, tales como el efecto fotoeléctrico la luz se comporta como un haz de partículas puntuales. En 1924 el físico francés De Broglie llegó a la ecuación que predecía que todas las partículas atómicas poseen ondas asociadas de longitud de onda determinada. Expuesto de otro modo, un haz de electrones se puede comportar ya sea como un tren de ondas luminosas o como un haz de fotones. La longitud de onda de estas variaciones dependerá según De Broglie, de la masa y velocidad de las partículas, de acuerdo con la ecuación

$$\lambda = h/mv$$

Ecuación de onda de De Broglie

Ondas luminosas en una interfase

Para los efectos de este escrito entenderemos por interfase al el punto en el cual una onda luminosa pasa de un medio a otro, por ejemplo del aire al vidrio.

Como se vio anteriormente, la velocidad de propagación de la luz en el vacío es aproximadamente 3×10^8 m/s, sin embargo la velocidad de la luz disminuye al pasar por otros medios por ejemplo el aire o el agua.

Índice de refracción

A la relación entre la velocidad de la luz en el vacío y la velocidad de la luz en otro medio, se define como índice de refracción del medio. Dicho índice de refracción es una propiedad característica de cada medio.

$$n = c/v$$

n ; Índice de refracción

v ; Velocidad de la luz en el vacío

c ; Velocidad de la luz en el medio

A manera de ejemplo calcularemos el índice de refracción del agua, considerando que la velocidad de la luz en el agua es aproximadamente de 225000 Km/s.

$$n_{H_2O} = (3 \cdot 10^8 \text{ m/s}) / (2.25 \cdot 10^8 \text{ m/s}) = 1.33$$

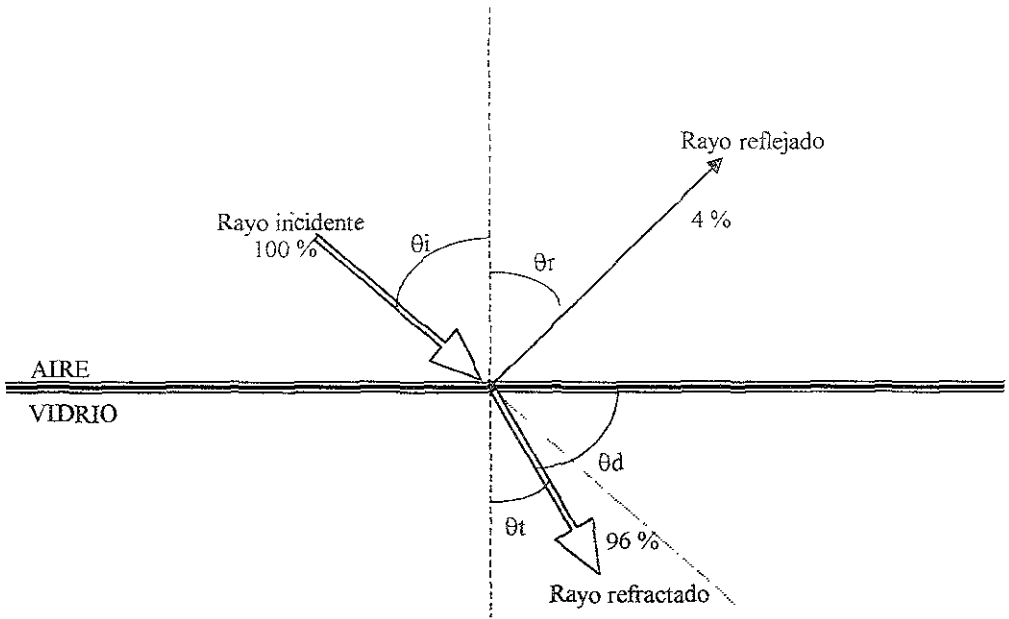
La siguiente tabla muestra los índices de refracción de algunas sustancias.

Aire	1.00029	Diamante	2.419
Agua	1.333	Helio	1.00003
Ambar	1.55	Hidrógeno	1.00013
Arseniuro de galio	3.6	Silicio	3.4
Cuarzo fundido	1.46	Vidrio	1.52

Reflexión y refracción

Cuando la luz que se propaga a través de un medio cualquiera con índice de refracción n_1 incide sobre la superficie lisa de separación con otro medio de índice de refracción distinto n_2 , parte de la luz se refleja formando un ángulo θ_r con respecto a la normal de la superficie, exactamente igual al ángulo de incidencia de la luz θ_i con respecto a la misma normal. Mientras que el resto de la luz se refracta y entra en el medio con índice de refracción n_2 . El cambio en la dirección que experimenta esta luz se debe a la variación en la velocidad de la luz sufrida al atravesar la interfase. El ángulo de refracción θ_r depende del ángulo de incidencia y los índices de refracción de ambos medios. Dicha relación esta definida por la ley de Snell

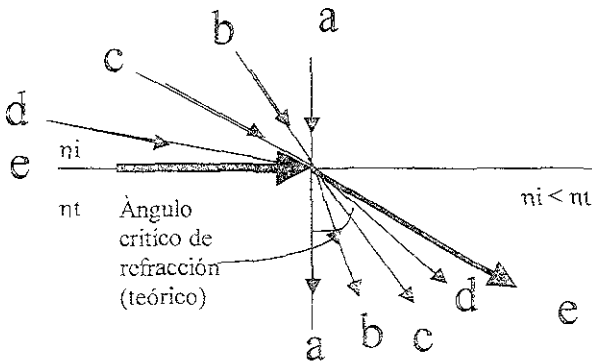
$$n_1 \cdot \sin \theta_i = n_2 \cdot \sin \theta_r$$



Los ángulos $\theta_i, \theta_r, \theta_t$ y θ_d se llaman; ángulos de incidencia, refractado, reflejado, y de desviación respectivamente. Los ángulos de los rayos reflejado e incidente son iguales $\theta_i = \theta_r$, mientras que los ángulos de los rayos reflejado y refractado son complementarios.

Angulo crítico de refracción

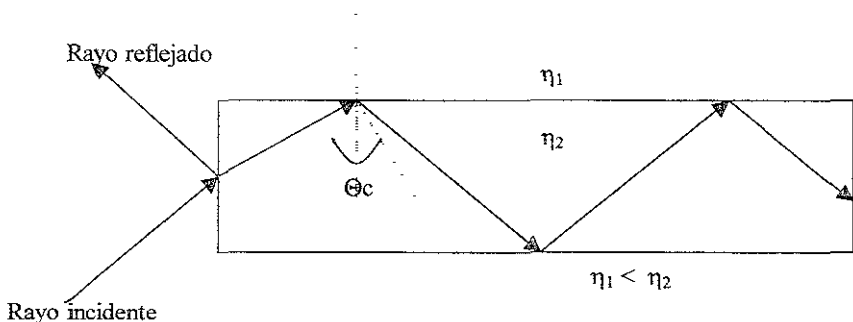
Cuando la luz pasa de un medio menos denso a otro más denso el ángulo de refracción es siempre menor que el ángulo de incidencia. Como resultado de esta disminución del ángulo, existen ciertos ángulos para los cuales no es posible la refracción de la luz.



Si sustituimos en la ecuación de Snell el máximo ángulo de incidencia posible (con respecto a la normal) $\theta_i = 90^\circ$, entonces $\theta_t = \theta_c = \text{ángulo crítico}$

$$\text{Sen } \theta_c = \eta_1 / \eta_2 \quad ; \quad \eta_1 < \eta_2$$

Cuando un haz luminoso dentro de un medio como agua o vidrio se aproxima a la superficie a un ángulo mayor que el ángulo crítico, toda la luz se refleja hacia atrás, dentro del medio. Este fenómeno se llama reflexión total interna. Si se logra insertar un haz luminoso dentro de una sustancia, por ejemplo una varilla de vidrio, y se hace que dicho haz incida en la superficie de la varilla con un ángulo mayor al ángulo crítico, entonces no existirán rayos refractados y todo el haz de luz será reflejado hacia dentro, si se logra que dicho rayo incida nuevamente sobre la superficie de la sustancia con un ángulo mayor que θ_c entonces dicho haz luminoso viajará dentro de la varilla hasta el infinito.



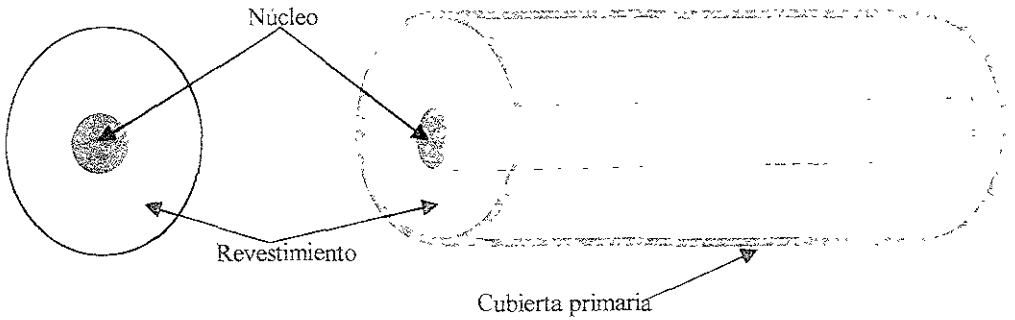
De lo expuesto anteriormente podemos deducir que si se incrementa el ángulo de incidencia de un rayo de luz que viaja desde un material más denso hacia uno menos denso, pronto se estará por encima del ángulo crítico de refracción y obtendremos una reflexión total interna.

Gracias a este fenómeno la luz puede ser propagada y guiada a través de las fibras ópticas.

Descripción física de la fibra óptica

Las fibras ópticas son filamentos de vidrio o cuarzo de alta pureza, están constituidas por dos cilindros concéntricos de diferentes índices de refracción. Los filamentos son largos y flexibles de pequeña sección transversal, de dimensiones comparables a las del cabello humano. Constan de un núcleo de vidrio transparente rodeado por un material también dieléctrico transparente llamado revestimiento, ambos tienen índices de refracción distintos con el fin de lograr una reflexión total interna de la luz dentro del núcleo.

El vidrio del núcleo no puede estar en contacto con el aire, porque se opaca, así que se coloca el vidrio del revestimiento, y encima de este una capa de acrílico coloreada a manera de protección conocida como cubierta primaria.



Núcleo. Es la sección central y principal, en él viaja la información óptica. De acuerdo a la colocación de los materiales en el núcleo se tienen dos perfiles de índice de refracción principales: el índice escalonado y el gradual.

Revestimiento. es la capa que rodea al núcleo y su objeto es el de actuar como una pantalla reflejante que atrapa los rayos de luz en el núcleo. Para lograr este objetivo, el índice de refracción del revestimiento es ligeramente menor que el del núcleo.

Cubierta primaria. El vidrio del núcleo y revestimiento no pueden estar en contacto con el aire, porque se opaca por lo tanto se coloca una capa de acrílico coloreada a manera de protección.

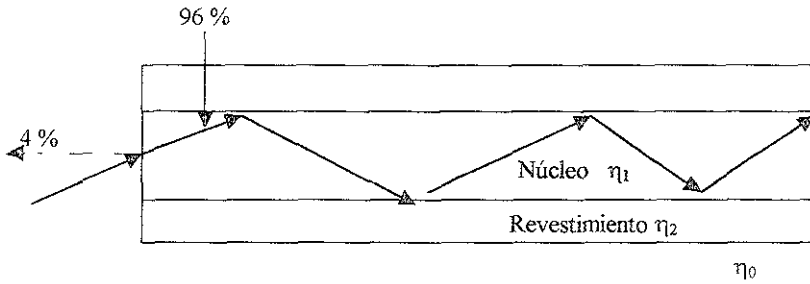
El fenómeno de reflexión total interna se repite si el índice de refracción es el mismo en todo el núcleo. De este modo el rayo llegará al final de la fibra con el mismo ángulo con que incidió en ella.

Reflejancia

Por otra parte si existe un ángulo grande de incidencia se reflejará una gran cantidad de energía del rayo de luz, a este fenómeno se le conoce como reflejancia y esta dado por

$$R = (\eta_1 - \eta_0)^2 / (\eta_1 + \eta_0)^2$$

Para que una fuente luminosa sea aprovechada eficientemente para realizar una transmisión por fibra óptica, la reflejancia debe tener un valor máximo del 4% para que a su vez la transmitancia tenga un valor mínimo del 96% (fig. pag. 13)



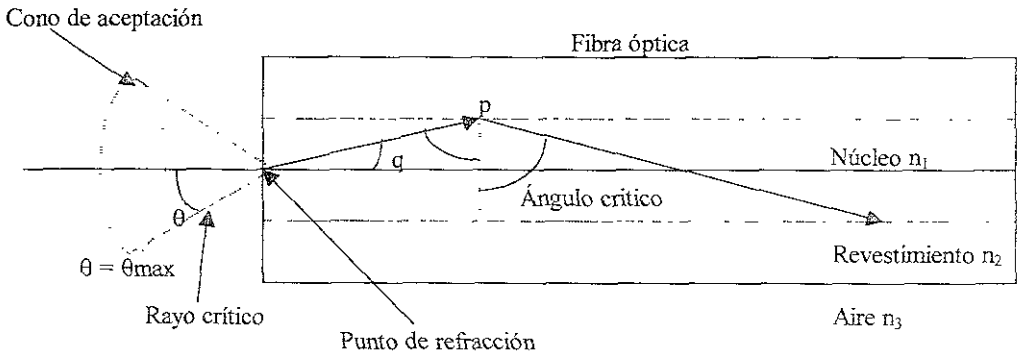
Apertura numérica

Para que un rayo que incide desde el exterior sobre la superficie transversal de la fibra óptica sea transmitido a través de ella mediante el fenómeno de la reflexión total interna, el ángulo de incidencia debe de estar dentro de los límites establecidos por la apertura numérica. La apertura numérica es un parámetro que establece el ángulo de aceptación máximo para que un haz luminoso sea transmitido por la fibra óptica. Si se hace girar el ángulo máximo de aceptación alrededor del núcleo se formará un cono imaginario conocido como cono de aceptación. Si el ángulo de incidencia esta dentro del cono de aceptación podemos garantizar que la luz viajará dentro de la fibra por medio de reflexiones hasta llegar al final. La apertura numérica (AN) se define como el seno del ángulo máximo de aceptación.

$$AN = \eta \sin \theta_{\max} \quad AN = \eta_0 \sqrt{\eta_1^2 - \eta_2^2} = \sqrt{\eta_1^2 - \eta_2^2}$$

η es generalmente el índice de refracción del aire.

Las fibras empleadas en México normalmente tienen una apertura numérica menor a 0.3.



La reflexión total se obtiene en P si: $q < \theta_{\max}$
 Donde θ es el ángulo de admisión

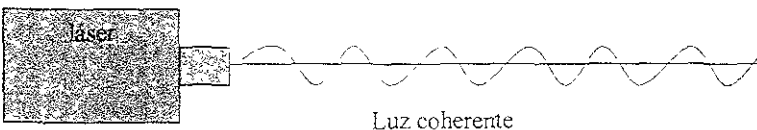
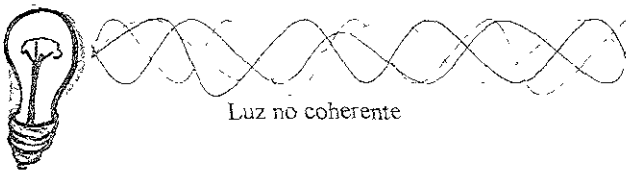
El láser

Como vimos al iniciar el capítulo la luz es una corriente de partículas (fotones) desplazándose en el espacio describiendo una onda como un movimiento vibratorio. De esta forma cuando hay una carga desplazándose en el espacio, forma un campo electromagnético a través del cual viaja una onda electromagnética (luz). La luz puede clasificarse como coherente y no coherente.

La luz blanca es no coherente, contiene radiaciones electromagnéticas de diferentes longitudes de onda y a su vez las ondas están defasadas entre sí lo cual genera dispersión. La dispersión es la causante de que la luz blanca no pueda iluminar largas distancias.

Con la aparición del LASER (Light Amplification by Stimulate Emission of Radiation) es posible generar un haz de luz concentrada de gran energía y coherente, es decir, la variación de la longitud de onda de la luz que emite es mínima, en consecuencia puede iluminar largas distancias prácticamente sin dispersión.

Una definición comúnmente aceptada para el láser es: “Dispositivo que produce radiación óptica basada en una inversión de polarización para proporcionar luz amplificada por emisión de radiación estimulada”. Normalmente, se utiliza una cavidad óptica resonante para conseguir la realimentación positiva. La radiación láser puede ser altamente coherente, ya sea temporalmente, espacialmente o bien ambas. Es también muy importante el concepto del “umbral del láser”, que es el nivel de emisión que tiene lugar debido a emisión estimulada y no a emisión espontánea. Podemos llegar a la conclusión de que si somos capaces de “excitar” de alguna manera los átomos en diversos tipos de sustancias químicas, lograremos que los átomos cambien de tal forma que no permanezcan en su estado o condición normal. Cuando eliminamos la excitación y los átomos regresan a su estado normal emiten ciertos rayos de luz que llamaremos rayos de luz láser. Estos rayos son energéticamente más poderosos y también más coherentes (en fase y normalmente monofrecuencia) que los rayos de luz clásicos.



Ventajas y desventajas de la fibra óptica respecto a otros medios de transmisión

Ventajas

*Gran ancho de banda: las fibras ópticas pueden transmitir grandes cantidades de información a velocidades elevadas. Puede manejar anchos de banda de hasta varias decenas de GHz dependiendo del tipo de fibra empleada, en teoría se podrían llegar a transmitir velocidades del orden de 50 THz.

En algunos sistemas de comunicación actuales se emplean velocidades de 145Mbps, 155Mbps, 565Mbps, 622Mbps y 2.5Gbps.

*Tamaño reducido: Un cable de 2400 pares con diámetro externo de 80mm puede ser sustituido por un cable de fibra óptica con diámetro de 15mm.

*Ligera: Un cable multipar de 3.5 km de longitud pesa aproximadamente 20,650 Kg, y requiere de 800 horas hombre para su instalación, en cambio un cable de fibra óptica de la misma longitud pesa 350 Kg, y necesita de 88 horas hombre para su instalación.

*Flexible: Gracias a sus dimensiones y constitución, el radio de curvatura mínimo de la fibra óptica es del orden de los 3mm.

*Baja atenuación: A medida que se desarrollan las técnicas para la fabricación de la fibra óptica se obtienen atenuaciones cada vez menores, actualmente la fibra óptica alcanza atenuaciones del orden de 0.15 db/Km, mientras que la atenuación del cable coaxial es del orden de 19 db/km.

*Libre de corrosión: Son pocos los agentes que afectan al cristal de silicio el cual es químicamente muy estable, por lo cual se considera totalmente libre de corrosión al encontrarse dentro de las capas de protección.

*Inmune a interferencias electromagnéticas: Las fibras ópticas están hechas de material dieléctrico por lo cual no existe inducción debida a interferencias externas o descargas eléctricas. Esa característica la hace muy adecuada para instalaciones donde se opere con productos inflamables.

*Grandes distancias entre repetidores: En los enlaces con fibra óptica los repetidores se pueden encontrar separados por distancias que van de 10 a 100km.

*Bajo costo: Mientras el costo de los cables de cobre se incrementa, el costo de los cables de fibra óptica disminuye, debido al perfeccionamiento de las técnicas de producción. Si se necesita transmitir gran cantidad de información y además se requiere garantizar la calidad del enlace, siempre resultará más barata la fibra óptica que cualquier otro tipo de cable.

*Exenta de diafonía, la fibra óptica no acepta ni radia energía del o hacia el exterior, y proporciona enlaces de muy alta calidad.

MEDIO DE TRANSMISIÓN	VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN	ANCHO DE BANDA	SEPARACIÓN DE REPETIDORES
Par trenzado	4Mbps	3MHz	2 a 10 Km
Coaxial	500Mbps	350MHz	1 a 10 Km
Fibra óptica	2Gbps	2GHz	10 a 100Km

Comparación de algunas característica de la fibra óptica, par trenzado y coaxial.

Desventajas de la fibra óptica.

*Elevado costo del tendido: Una de sus desventajas es sin duda el alto costo para instalar la fibra óptica sea por vía terrestre, aérea o submarina.

*Demanda personal especializado para realizar empalmes de precisión, además de que los equipos que realizan dichos empalmes son muy costosos.

*Equipo de transmisión y recepción costoso: Sigue siendo muy alto el costo del equipo de transmisión y recepción, además algunas fuentes luminosas tienen un reducido tiempo de vida.

*Se requiere redundancia: Debido a la gran densidad de información que transporta una sola fibra, se tiene un riesgo muy grande si por alguna razón se corta el servicio y no existe redundancia.

Características de transmisión y tipos de fibras ópticas:

Las características de transmisión a las que nos referiremos serán:

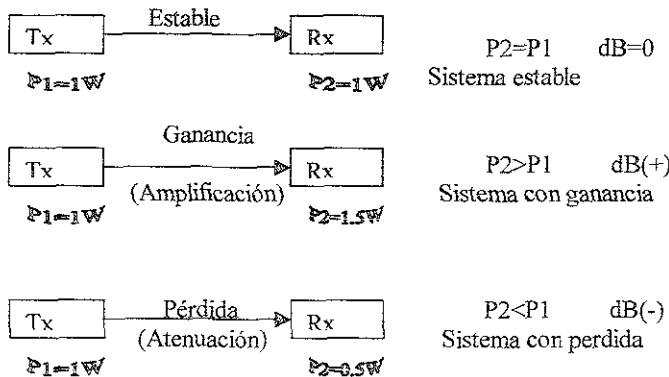
- *Atenuación
- *Absorción
- *Dispersión
- *Ancho de banda

Atenuación:

La atenuación es el decremento de la potencia de una señal cuando viaja en algún medio de transmisión, la luz que se propaga en un conductor de fibra óptica experimenta una atenuación. Para cubrir grandes distancias es necesario mantener estas pérdidas en el mínimo posible. La atenuación de un conductor de fibra óptica es un parámetro importante para la planificación de redes de cables para telecomunicaciones ópticas.

Las pérdidas o la atenuación en el interior de una fibra óptica se define como la relación entre las potencias luminosas a la salida y a la entrada de la fibra, se expresa en decibeles y se calcula para una determinada longitud de onda.

Existen tres posibilidades en cuanto a la potencia en un sistema:



En ocasiones el símbolo de decibeles aparece con un subíndice, como, dBm, el subíndice (m) significa que la medición de los decibeles esta referido a una potencia, en este caso a 1mW, es decir:

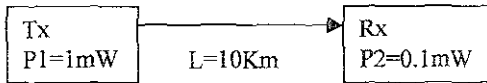
$$\text{dBm} = 10 \log (p2/1\text{mW})$$

Donde 1mW es la potencia de referencia

Para calcular la atenuación se emplea un parámetro conocido como coeficiente de atenuación $\alpha(\lambda)$, dicho coeficiente es dependiente de la longitud de onda de la luz que se emplea para la transmisión, para efectuar el cálculo de dicho coeficiente también debe considerarse la distancia que recorre la luz:

$$\alpha(\lambda) = (1/L)(10 \text{ LOG } (P2/P1)) \quad (\text{dB/Km})$$

A manera de ejemplo calcularemos el coeficiente de atenuación para el siguiente sistema.



Aplicando la formula

$$\alpha(\lambda) = \log(0.1) = -1 \text{ dB}$$

El signo negativo indica atenuación

La atenuación es producida básicamente por dos fenómenos físicos, los cuales son; absorción y dispersión. La magnitud de estas pérdidas luminosas depende entre otros factores de la longitud de onda de la luz acoplada. Por eso, para determinar las gamas de longitudes adecuadas para la transmisión óptica con baja atenuación, resulta en general útil medir la atenuación de un conductor de fibra óptica en función de la longitud de onda.

Las pérdidas de potencia óptica, o atenuación, que presentan las fibras ópticas se deben a la absorción del material, la dispersión y las reflexiones al final de la fibra. La atenuación se expresa en decibeles por kilómetro (dB/Km).

La atenuación en una fibra óptica puede ser causada por fenómenos intrínsecos o extrínsecos a la fibra óptica. El fenómeno de pérdidas por absorción intrínseca se debe a la interacción entre los fotones y las partículas subatómicas del material, es decir, ocurre cuando un haz luminoso entra en contacto con un material dieléctrico distinto al vacío, este encuentro provoca que parte de la energía de la luz se disipe en forma de calor. En otras palabras, este fenómeno se debe a la composición y naturaleza del material con el cual se fabrica la fibra óptica.

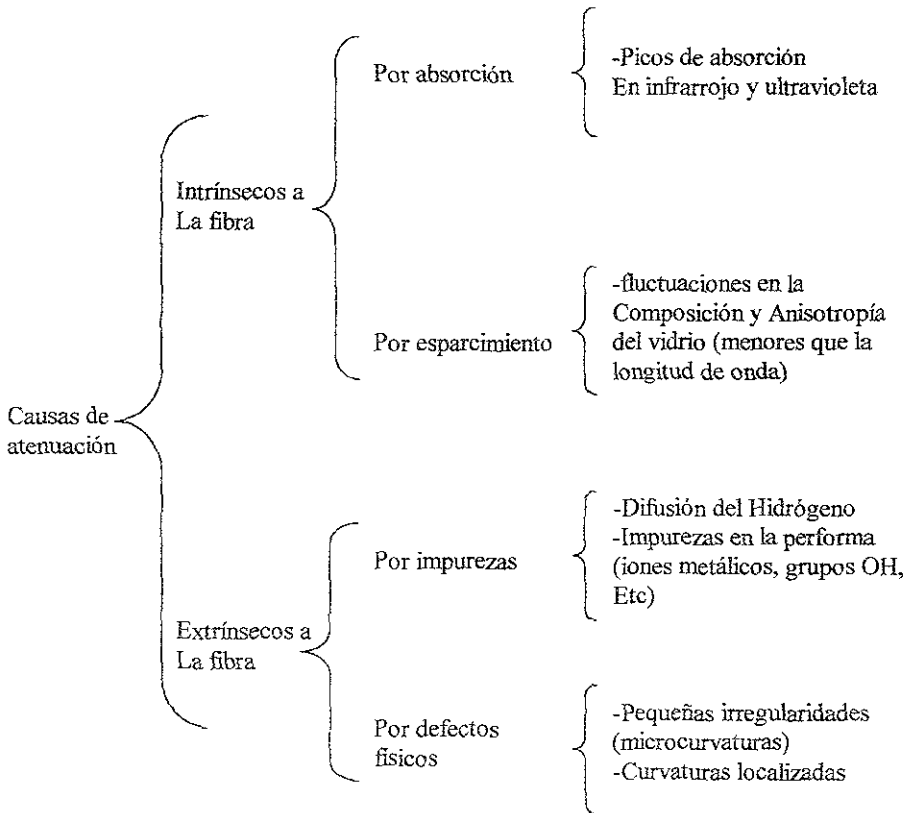
Por su parte los fenómenos de pérdidas por absorción, extrínsecos a la fibra son originados por varias causas, tales como:

*Impurezas en el material: como iones metálicos de hierro (Fe), cobalto (Co) y cromo (Cr), incluso el agua es considerada como impureza en su forma de iones de hidróxido(OH) pues dichos iones contribuyen con picos de absorción a 730,950,1250 y 1380 nm.

*Pérdidas por el curvado de la fibra: cuando se dobla la fibra se produce una fuga de modos. Esa atenuación varía exponencialmente con respecto al radio de curvatura. Existe un radio crítico proporcionado por el fabricante. Generalmente se toma un radio igual a 10 veces el radio de la fibra con su cubierta plástica, es decir que si una fibra tiene un radio de 1mm, el radio de curvatura crítico se encuentra en un valor cercano a 10mm.

*Pérdidas por irregularidades geométricas periódicas: Son irregularidades en el núcleo, microcurvaturas en la fabricación, etc.,

De tal forma que podemos establecer una distribución de pérdidas en transmisión por fibra óptica de la siguiente forma:



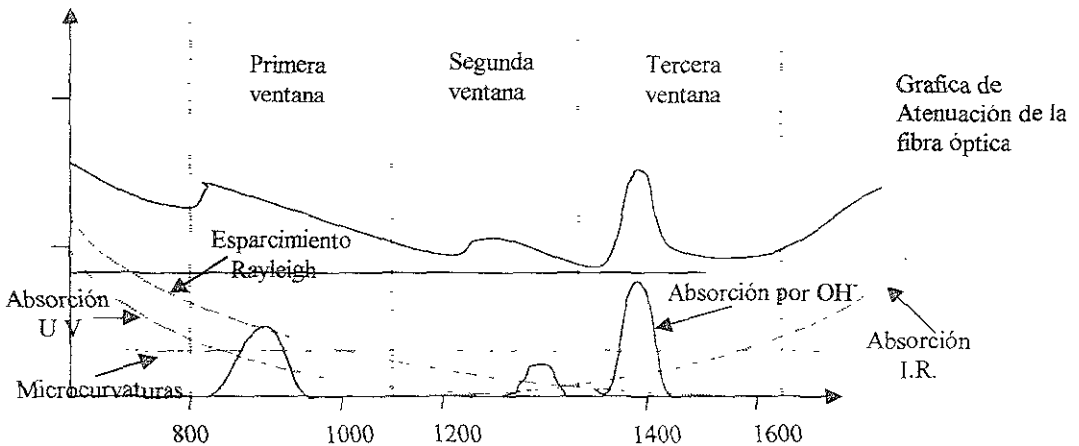
A continuación se describen algunos de los factores que provocan dichas atenuaciones:

*Absorción ultravioleta, infrarroja y de impurezas: La absorción de este tipo se produce cuando existe resonancia (o vibración) molecular debida a la Igualdad de frecuencias, la natural de resonancia del material (de las moléculas) y la de la señal óptica. Las bandas de absorción del sílice son evidentes en las proximidades de 825nm, 950nm, 1225nm, 1380nm y el fundamental a 2730nm. Estas bandas se deben a la absorción de iones residuales de OH⁻. Las concentraciones de OH⁻ de una parte por mil millones atenúan 1dB/Km a 1370nm. La deshidratación del material durante el proceso de fabricación es una forma de mantener al mínimo los iones de OH⁻. Otras absorciones por impurezas, (o modificadores del índice de refracción) son las causadas por iones metálicos, los cuales también provocan picos de absorción.

*Pérdidas por dobles: Cada vez que una fibra se desvía de una posición recta, se producen pérdidas por radiación. Este efecto puede ser significativo en los cables ópticos mal instalados. Las pérdidas de este tipo se pueden clasificar en dos.

1.- Macrodobles: Con un radio de curvatura constante, en forma practica se puede considerar un radio de curvatura mínimo igual a 20 veces el diámetro del cable.

2.- Microdobles: Se producen por pequeñas desviaciones aleatorias al rededor de una posición nominal de una línea recta.



*Dependencia de la temperatura: Las temperaturas extremas tienen efectos adversos en la atenuación de la fibra. Los diseños de revestido de plástico y de tubo hermético pueden emplearse a temperaturas de hasta -10°C. Por debajo de esta temperatura, la diferencia de expansión térmica entre el vidrio y los recubrimientos de polímeros provoca tensiones que conducen a pérdidas por microdobles. Los diseños que utilizan revestimiento de vidrio y los de tubo holgado se utilizan por debajo de -50°C.

La magnitud de la contracción del cable con la temperatura, cuando se trata de un cable trenzado, se determina principalmente por el elemento central al rededor del cual se

trenzan las fibras este elemento central actúa como un componente rígido y tiene un coeficiente de expansión térmico similar a la fibra de sílice.

La atenuación, como dijimos anteriormente, se expresa en dB/Km. Los valores de atenuación de la fibra óptica oscilan entre 0.154 dB/Km a 1550 nm para las fibras monomodo, y 10 dB/Km para las fibras plásticas. Sin embargo la tecnología de fabricación de la fibra óptica se desarrolla día con día y se han llegado a obtener atenuaciones absolutas de 0.1 dB/Km a 1550 nm, con pérdidas intrínsecas de absorción prácticamente despreciables. Para calcular las pérdidas por irregularidades geométricas periódicas (pérdidas geométricas) se puede emplear la siguiente fórmula:

$$P_f(L) = P_c 10^{(-\alpha(L/10))}$$

Donde:

- P_c = Potencia acoplada a la fibra
- α = Atenuación causada por la fibra
- L = Longitud medida desde el punto de acoplamiento, hasta el punto de medición

Expresando la ecuación anterior en dBm obtenemos:

$$P_f(\text{dBm}) = P_c(\text{dBm}) - \alpha L$$

Esta ecuación corresponde a una línea recta con intersección en P_c y pendiente -α. Cualquier otro tipo de pérdida debe agregarse al resultado de esta ecuación.

La siguiente tabla muestra las atenuaciones que presentan algunos de los medios físicos más empleados por TELMEX.

Par convencional	Digital ≤ 10 dB Análogo ≤ 8 dB	Frecuencia 0.1 MHz
Fibra monomodo de dispersión normal	λ = 1300 nm Atenuación ≤ 0.40 dB/Km λ = 1550 nm Atenuación ≤ 0.30 dB/Km	Frecuencia 70 MHz
Fibra monomodo de dispersión corrida	λ = 1550 nm Atenuación ≤ 0.25 dB/Km	Frecuencia <3000 MHz

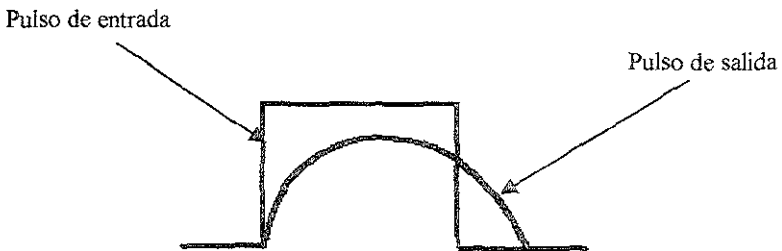
Dispersión

La dispersión es una característica que limita el ancho de banda de una fibra óptica, provoca distorsión de retardo de grupo y limita la capacidad de transmisión de información por unidad de tiempo en una fibra óptica.

El fenómeno de dispersión causa problemas en la transmisión de las señales ópticas, principalmente porque provoca un ensanchamiento de los pulsos luminosos que se propagan por la fibra óptica, dicho ensanchamiento se incrementa proporcionalmente respecto a la longitud de la fibra óptica (distancia de propagación)

El ensanchamiento del pulso luminoso (incremento en la longitud del pulso), se debe a que la luz está compuesta por fotones, y además las fuentes luminosas no son perfectamente monocromáticas y la velocidad de las longitudes de onda no es la misma para todos los fotones. Este efecto se reduce empleando fuentes de diodo láser.

DISPERSIÓN



El pulso de salida está deformado (ensanchado y achaparrado), debido a la diferencia de tiempo con la que llegan los modos. A este fenómeno se le denomina dispersión de modo o modal.

La dispersión es causada por las características intrínsecas de la fibra óptica y por la anchura espectral de la fuente luminosa.

Existen tres tipos básicos de dispersión en las fibras ópticas

*Dispersión modal (de modo o intermodal)

*Dispersión cromática {
 Dispersión del material
 Dispersión de guía de onda

Dispersión modal:

Se origina porque cada uno de los modos que se propagan por la fibra óptica pueden seguir una trayectoria distinta en el interior del núcleo, lo cual provoca que los pulsos luminosos arriben al extremo opuesto de la fibra en diferentes tiempos. Además del retardo ocasionado por las diversas trayectorias, el índice de refracción del núcleo origina variaciones en la velocidad de la luz, ya que esta depende de del índice de refracción del material. De lo antes expuesto se hace obvio que este tipo de dispersión es la más importante en las fibras multimodo, y no se presenta en las fibras ópticas monomodo.

Dispersión cromática:

Este tipo de dispersión se origina principalmente en las fibras ópticas hechas de cuarzo de alta pureza, ya que este tipo de material cambia su índice de refracción en función de la longitud de onda de la fuente. Es por esto que este tipo de dispersión se conoce como “dispersión del material”.

Además, la dispersión cromática es causada por la variación de la longitud de onda de la fuente de luz, ya que como sabemos un rayo de luz esta compuesto por una infinidad de longitudes de onda, dependiendo del ancho espectral de la fuente. Al propagarse todas las líneas espectrales correspondientes, estas viajan a diferentes velocidades de propagación en el interior del núcleo de la fibra óptica debido a que el índice de refracción depende ligeramente de la longitud de onda, y la velocidad depende del índice de refracción.

$$n_x = C/V \quad (\text{índice de refracción absoluto})$$

; C = velocidad de la luz
V = velocidad en el medio

Sí se introduce un pulso de luz en una fibra óptica dicho pulso disminuye su potencia y se ensancha conforme avanza en el interior de la fibra y hasta llegar al extremo (pulso de difusión). Esto quiere decir que esta dispersión limita el ancho de banda de la fibra óptica y sus efectos son más notorios entre más larga es la fibra. Más adelante se verá con detalle la dispersión en cada tipo de fibra.

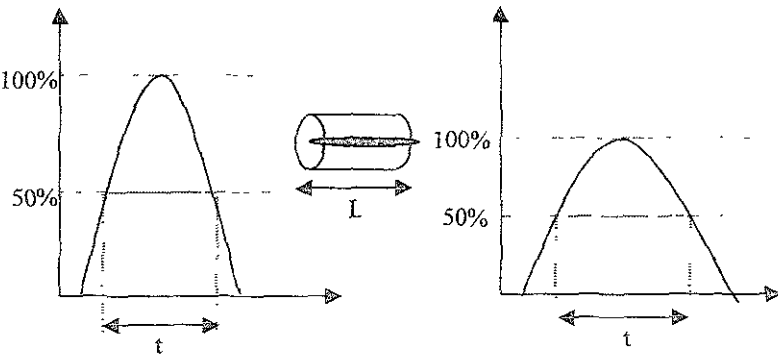
La dispersión cromática puede disminuirse utilizando fuentes de luz con un mismo ancho espectral; el ancho espectral de un LED es aproximadamente de 35 nm, mientras que el de un diodo láser es de 2 ó 3 nm, por lo cual se puede decir que el diodo láser es casi monocromático por lo cual su uso garantiza una mínima variación de la velocidad de propagación de la luz dentro de la fibra, disminuyendo así el ensanchamiento de los pulsos luminosos.

Esta dispersión se presenta en todos los tipos de fibras, tanto en las monomodo como en las multimodo.

Dispersión de guía de onda:

Cuando un rayo de luz se transmite en una fibra óptica con diferentes índices de refracción en su núcleo, las longitudes de onda de dicho rayo experimentan un cambio de velocidad según el índice de refracción por el cual viajen. Esto provoca un retardo de grupo, es decir, que los pulsos lleguen al otro extremo de la fibra distorsionados(atenuados y ensanchados)debido a que los componentes del rayo llegan a diferentes tiempos.

Dispersión de guía de onda



Esta dispersión se presenta en fibras multimodo y monomodo, en general sus características son similares a la dispersión cromática, solo que en sentido contrario, por esto es posible compensar una con otra. Esto se consigue dopando la fibra, alternando la estructura interna de la fibra permite cambiar substancialmente la dispersión de guía de onda, de esta manera se cambia la dispersión total especificada de la fibra, lo cual es uno de los diseños avanzados de las fibras monomodo.

Todo tipo de dispersión es medido en picosegundos por nanómetro por kilómetro (ps/nm*Km).

las fibras multimodo mantienen la siguiente relación de dispersión:

$$\text{Dispersión modal} > \text{Dispersión cromática} > \text{Dispersión de guía de onda}$$

En fibras monomodo la relación es la siguiente:

$$\text{Dispersión cromática} > \text{Dispersión de guía de onda}$$

La dispersión total en un sistema es la suma cuadrática de dos efectos:

$$TD^2 = MD^2 + CD^2$$

\uparrow \uparrow \uparrow
 Dispersión Total Dispersión Modal Dispersión Cromática

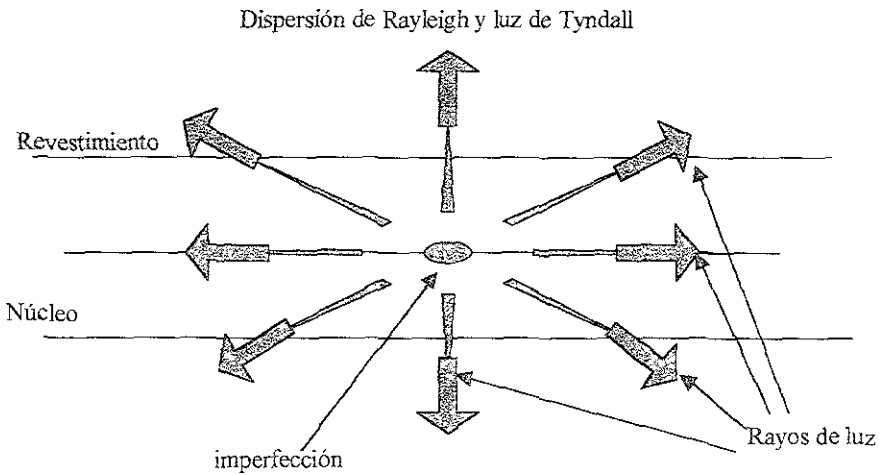
Existe otro tipo de dispersión llamada **dispersión de Rayleigh**. Cuando un haz de luz se propaga a través de un material que no es totalmente homogéneo, la luz se puede desviar en direcciones distintas a la dirección de propagación, este fenómeno es conocido como dispersión de Rayleigh, y se debe a la existencia de pequeñas partículas y zonas no homogéneas dentro de la fibra, las cuales al ser iluminadas emiten luz en todas direcciones, a la luz emitida se le conoce como luz de Tyndall.

Este fenómeno desaparece rápidamente al aumentarse la longitud de onda, debido al desprendimiento de calor por la absorción del vidrio de los rayos infrarrojos. Este tipo de dispersión representa los límites más bajos teóricos de la atenuación y son los siguientes:

2.5 dB	a	820 nm
0.24 dB	a	1300 nm
0.012 dB	a	1550 nm

Las causas que contribuyen a la dispersión de Rayleigh son:

- *Fallas de homogeneidad, imperfecciones
- *Irregularidades en el diámetro del núcleo y curvaturas abruptas



Para los fines de aplicación de la fibra óptica, el espectro que se utiliza para las comunicaciones ópticas no corresponde exactamente al espectro de luz visible, sino al infrarrojo. Así, con las radiaciones infrarrojas de frecuencias próximas al límite inferior visible, (7700 (Å) (angstrom) hasta 17000 (Å), o de 770 nm a 1700 nm) se obtienen ventajas considerables, ya que hay menos atenuación de los rayos al viajar por la fibra óptica.

Sin embargo las fibras ópticas pueden trabajar también con irradiaciones del espectro de luz visible, haciendo dispositivos ópticos que reciban y emitan este tipo, de radiaciones. Inicialmente los dispositivos fueron fabricados de arseniuro de galio (Ga As), con emisión en el rango de longitud de onda entre 800 y 900 nm. Actualmente este rango se ha extendido hasta la región de 1100 a 1600 nm con el uso de otros tipos de semiconductores. Sin embargo se han definido tres ventanas en las cuales se opera con menor dispersión cromática:

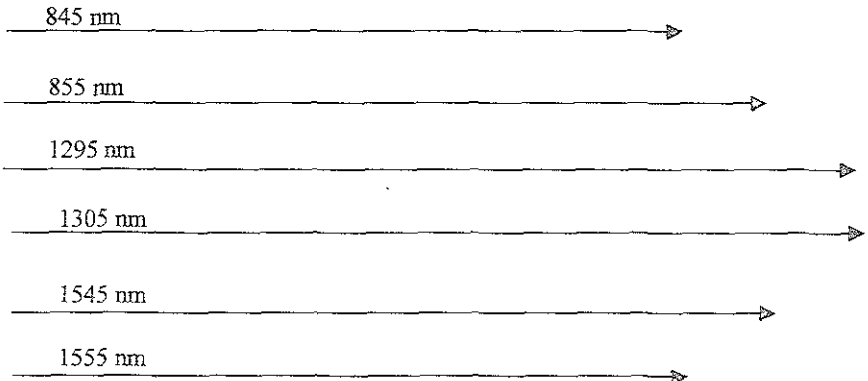
Ventanas con menor dispersión cromática

ventana	λ inferior	λ superior	λ nominal
1	800 nm	900 nm	850 nm
2	1250 nm	1350 nm	1310 nm
3	1500 nm	1600 nm	1550 nm

En la longitud de onda de operación central de una fuente alrededor de 850 nm, las longitudes de onda mayores ("rojizas") viajan más rápido que las otras más pequeñas ("azuladas"). Una onda de 860 nm viaja a través del vidrio más rápido que una onda de 840 nm. A 1550 nm la situación se invierte, las longitudes de onda menores viajan más rápido que las mayores, a 1560 nm la onda viaja más lenta que una onda a 1540 nm.

En algún punto debe ocurrir que las ondas "azuladas" y "rojizas" viajen a la misma velocidad, este punto se presenta alrededor de los 1300 nm, este punto es conocido como longitud de onda de "dispersión cero"

Dispersión cero a 1300 nm



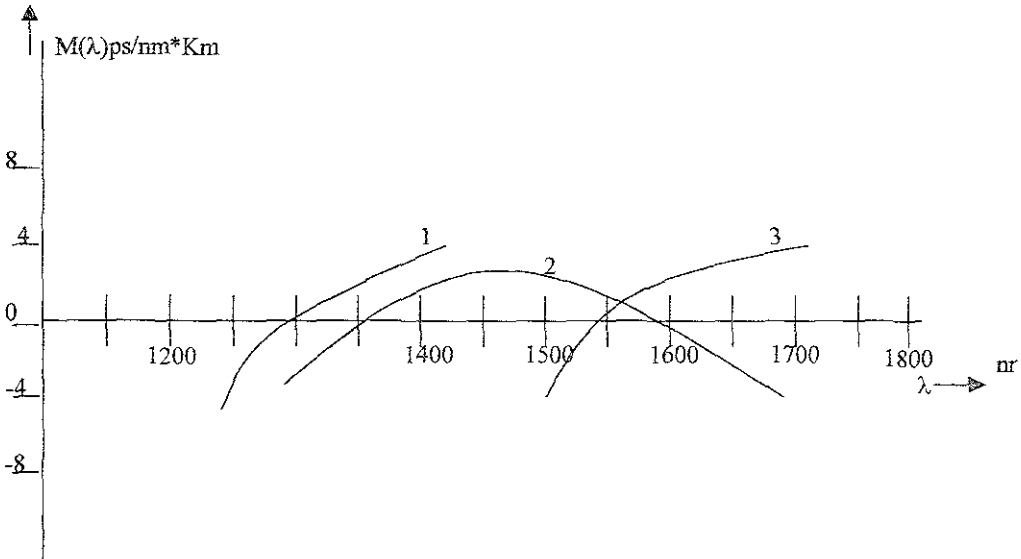
En la figura anterior la longitud de las flechas representa la velocidad de la longitud de onda, de tal manera que la flecha más larga indica un viaje más rápido.

Todo lo expuesto anteriormente sugiere la posibilidad de optimizar la transmisión uniendo en una misma longitud de onda la mínima atenuación y la mínima dispersión. Esto se puede conseguir de dos formas:

1.- Desplazando el punto de mínima dispersión hacia el de mínima atenuación (técnica de dispersión corrida). Cuyos puntos de trabajo se sitúan en la tercera ventana (≈ 1500 nm). Ello se consigue modificando el perfil de índice del núcleo y las condiciones de dopado del mismo.

2.-Diseñando la fibra de modo que su curva de dispersión sea lo más plana posible y prácticamente casi nula en la región de mínima atenuación (técnica de dispersión plana). Actualmente esta técnica es de un costo elevado. En la siguiente figura observamos a la dispersión como una función de la longitud de onda.

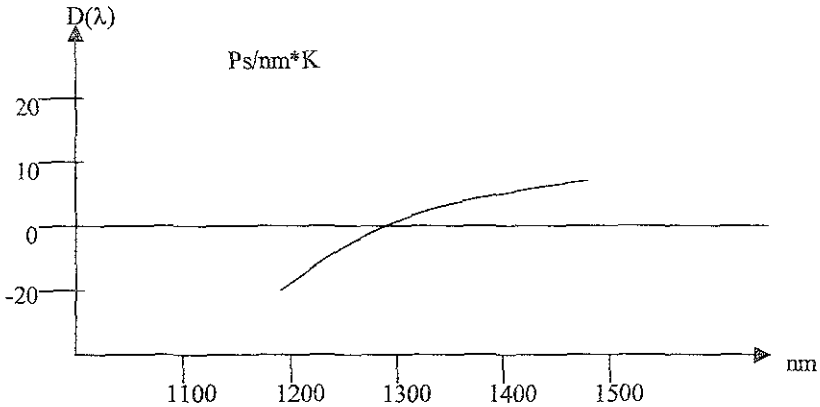
Gráfica de la dispersión



- 1) Dispersión normal (perfil de índice escalonado)
- 2) Técnica de dispersión corrida
- 3) Técnica de dispersión plana ó aplanada

Los valores de dispersión máximos para una fibra de dispersión normal son de 3.5 ps/nm*Km a 1310 nm aproximadamente, y de 19 ps/nm*Km a 1550 nm. Se puede observar en la grafica anterior que la fibra de dispersión corrida presenta a 1550 nm una mínima atenuación en el punto de mínima dispersión.

Gráfica del comportamiento de la dispersión



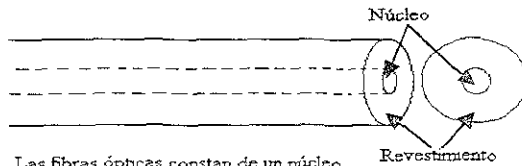
En la anterior gráfica se observa el comportamiento de la dispersión en función de la longitud de onda

Tipos de fibras ópticas

Las fibras ópticas se clasifican en base a tres de sus principales características:

a) Por el material de fabricación

- Fibras de vidrio: núcleo de vidrio y revestimiento de vidrio
- Fibras plásticas: núcleo de plástico y revestimiento de plástico
- Fibras PCS: núcleo de vidrio y revestimiento de plástico



Las fibras ópticas constan de un núcleo rodeado por un material dieléctrico llamado revestimiento

b) Por su perfil de índice de refracción

El perfil de índice de refracción se refiere a la variación del índice de refracción con respecto a la distancia radial. Existen básicamente dos tipos de perfil, el perfil de índice escalonado y el perfil de índice gradual. Sin embargo se han adaptado muy diversas configuraciones del perfil de índice de refracción para manejar las características de dispersión y atenuación de las fibras ópticas.

Tipos de perfil de índice de refracción:

- *Índice escalonado, también conocido como de dispersión normal.
- *Índice gradual o hiperbólico
- *Índice alfa o triangular, también conocido como de dispersión corrida
- *Índice segmentado, también conocido como de dispersión plana

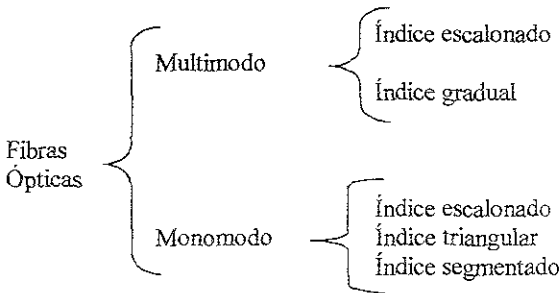
c) Por el número de modos de propagación que presentan. Se clasifican a su vez en:

*Fibras monomodo: Este tipo de fibras presentan un solo modo de propagación de la luz, este tipo de fibras poseen un gran ancho de banda, baja dispersión y baja atenuación.

*Fibras multimodo: Presentan varios modos de propagación de la luz al mismo tiempo, tienen un ancho de banda aceptable y baja atenuación.

Para fines prácticos podemos considerar que un modo es una trayectoria que puede seguir un rayo de luz viajando por la fibra. El número de modos soportados por una fibra óptica va desde uno hasta varios miles, además cada modo porta una cantidad específica de energía

De lo anterior se obtiene el siguiente cuadro.

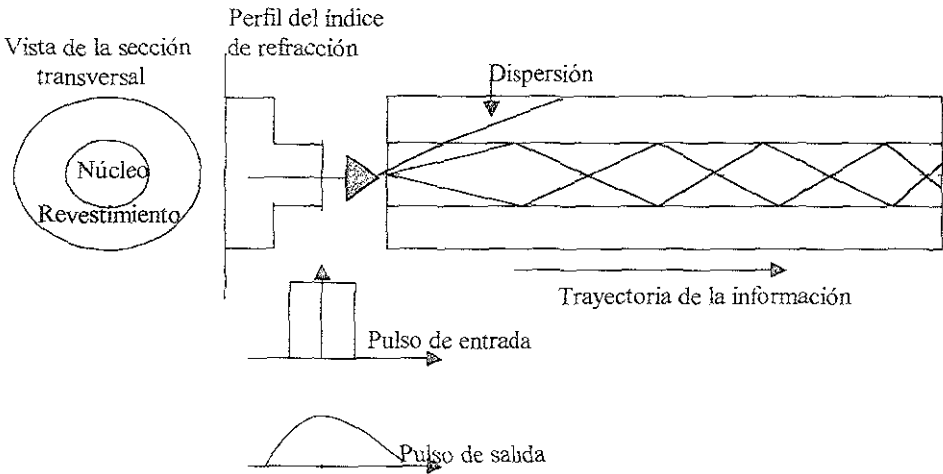


Fibra multimodo

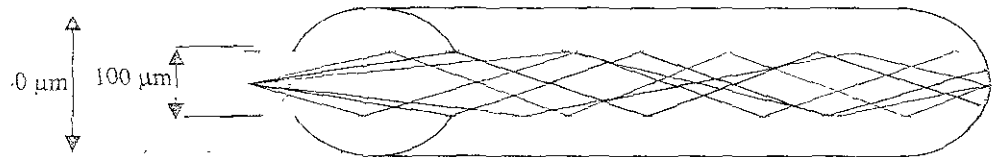
En este tipo de fibras el núcleo es lo suficientemente grande para que el haz de luz pueda describir varias trayectorias al desplazarse dentro de la fibra óptica; esto es, varios modos de propagación, lo cual provoca pérdidas por dispersión modal.

Fibras multimodo de índice de refracción escalonado:

El núcleo de este tipo de fibras tiene un índice de refracción constante. al llegar al revestimiento el cambio de dirección del haz de luz es inmediato, ya que el índice de refracción del revestimiento es menor que el del núcleo, esto provoca que la luz describa trayectorias en forma de zig-zag, provocados por la reflexión total que experimenta el haz de luz al chocar con un medio diferente al núcleo



Propagación de la luz en una fibra multimodo de índice escalonado



Dada una fibra multimodo con las siguientes características:

Diámetro del núcleo	Diámetro del revestimiento	Apertura numérica	Ancho de banda
100 μm	140 μm	0.24	20 MHz * Km

Se puede calcular el número de frecuencias normalizadas (V) mediante:

$$V = (d * \pi * NA) / \lambda \implies V = (100 \mu\text{m} * 3.1416 * 0.24) / 850 \text{ nm}$$

$$V = 88.70$$

Posteriormente podemos calcular el número de modos que soporta la fibra(N):

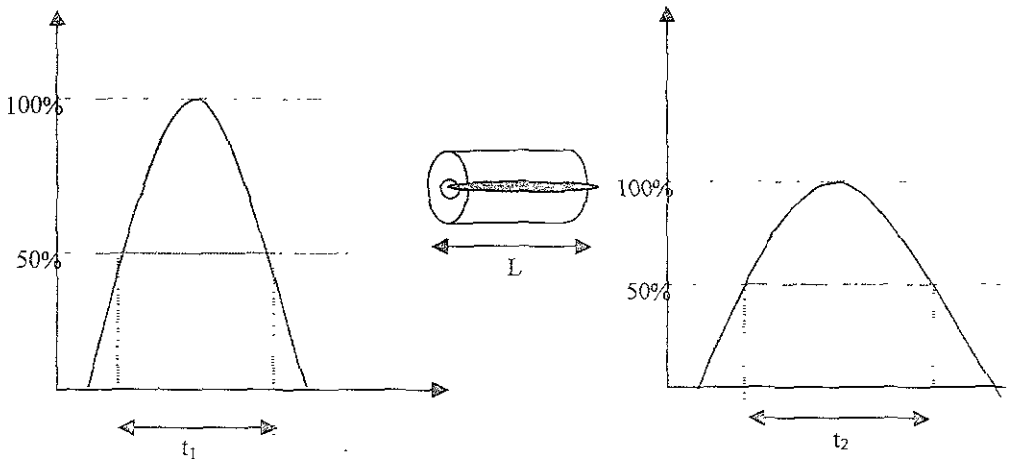
$$N = V^2/2 \implies N = (88.7)^2 / 2 = 3933.84$$

$$N \approx 4000$$

De lo anterior se deduce que para una fibra óptica de índice escalonado 100/140 μm (Núcleo/Revestimiento), el número de modos en 850 nm es aproximadamente igual a 4000.

Y podemos calcular la dispersión a partir de:

$$\text{Dispersión} \quad d = \sqrt{((t_2)^2 - (t_1)^2) / L}$$

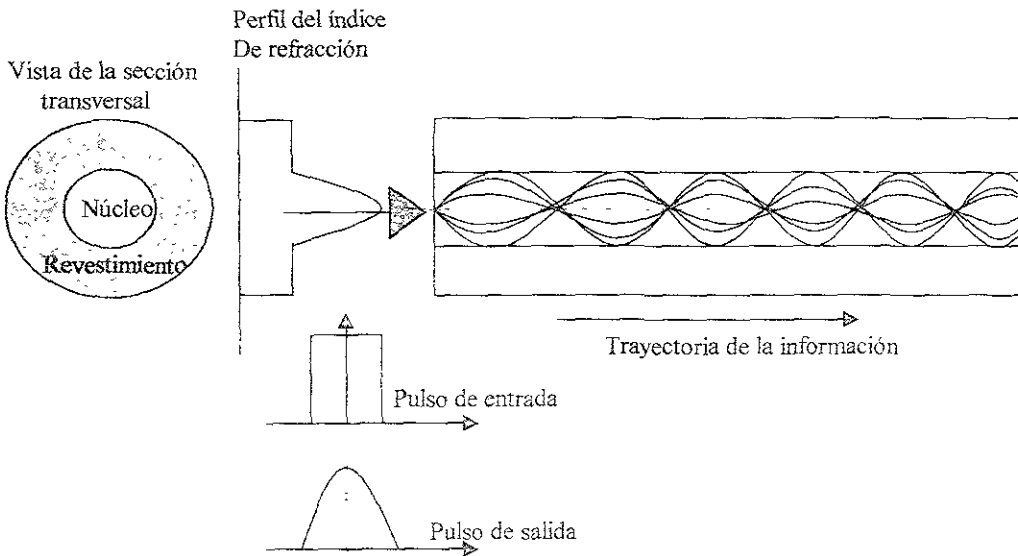


Fibra multimodo de índice gradual.

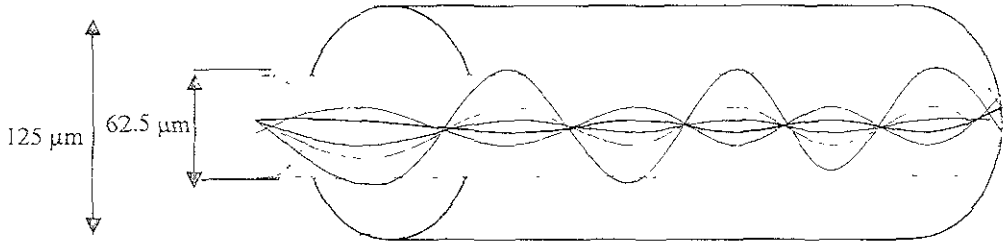
En este tipo de fibras el índice de refracción del núcleo va decreciendo gradualmente en función del radio, hasta llegar al revestimiento, el retraso en este tipo de fibras esta en función de la optimización del índice, del ancho de banda, espectral y de la longitud de onda de la fuente. Para un Km de fibra el retraso varía de 800 a 200 ps y la banda de paso es de 500 a 1500 MHz.

En las fibras de índice escalonado hay un pequeño retardo entre los rayos que inciden en la fibra paralelos al eje, y aquellos que lo hacen con un cierto ángulo, debido a la diferencia de distancias recorridas. Para solucionar este problema se diseñaron fibras con núcleo cuyo índice de refracción va decreciendo gradualmente desde el eje del núcleo, hasta la frontera con el revestimiento, provocando que las sucesivas refracciones hacia el eje del núcleo hagan que ambos rayos coincidan en el tiempo.

Debido a que el índice de refracción del núcleo decrece a medida que se aproxima al revestimiento, los rayos de luz se van flexionando gradualmente regresando al centro del núcleo, esto explica el porque este tipo de fibras presentan una menor atenuación que en aquellas de perfil de índice escalonado. Es cierto que la trayectoria que recorren los rayos que inciden con diferentes ángulos es más larga, pero debido a que su velocidad es mayor en las regiones donde el índice de refracción es menor, esto compensa el recorrido haciendo que lleguen al mismo tiempo que los rayos axiales, con lo cual se disminuyen las pérdidas por dispersión modal.



Propagación de la luz en una fibra multimodo de índice gradual



Dada una fibra multimodo con las siguientes características:

Diámetro del núcleo	Diámetro del revestimiento	Apertura numérica	Ancho de banda
62.5 μm	125 μm	0.28	160 – 500 MHz * Km

Su número de frecuencias normalizadas(V) es:

$$V = (d \cdot \pi \cdot NA) / \lambda \quad \Rightarrow \quad V = (62.5 \mu\text{m} \cdot 3.1416 \cdot 0.28) / 1300 \text{nm}$$

$$V = 42.29$$

Una vez que conocemos V podemos calcular el número de modos N:

$$N = V^2 / 4 \quad \Rightarrow \quad N = (1788.44) / 4 = 447.11$$

$$N \approx 447$$

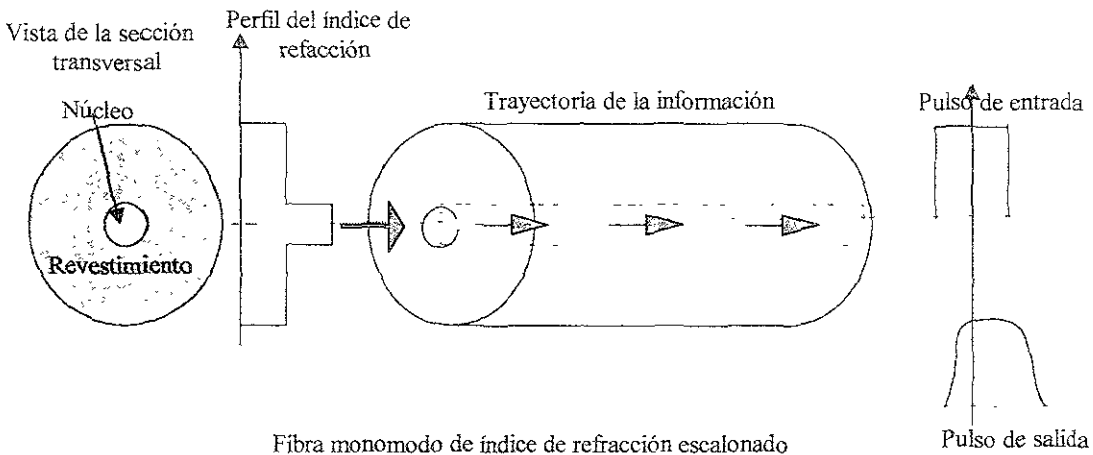
De lo anterior se tiene que para una fibra multimodo de índice gradual 62.5/125(Núcleo/Revestimiento), el número de modos en 1300 nm es aproximadamente igual a 450.

Fibra monomodo:

Esta clase de fibras se caracterizan por tener un núcleo de diámetro muy pequeño en comparación con el diámetro del revestimiento, tienen un solo modo de propagación, lo cual permite que la luz viaje a través de una sola trayectoria a lo largo del núcleo. Una fibra óptica se comporta como monomodo solo a una cierta longitud de onda, ya que debe satisfacer la ecuación de longitud de onda crítica

Fibra monomodo de índice escalonado:

Este tipo de fibra tiene un núcleo con índice de refracción constante y de diámetro muy pequeño, la luz viaja prácticamente en línea recta hasta su destino



La siguiente gráfica muestra las dimensiones características de las fibras unimodo de índice escalonado

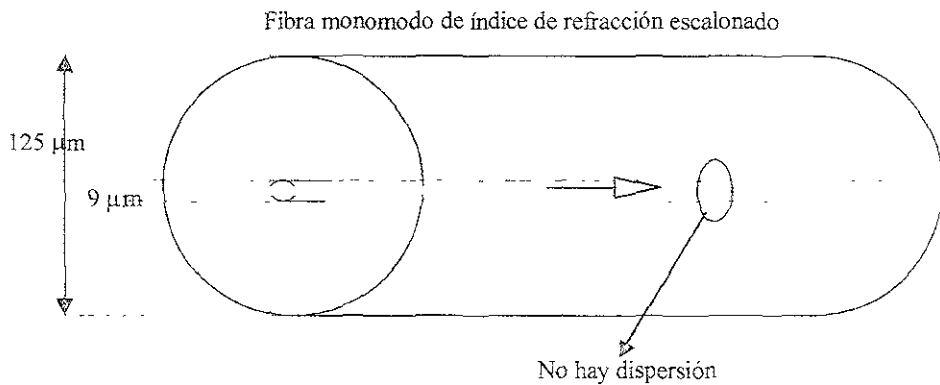
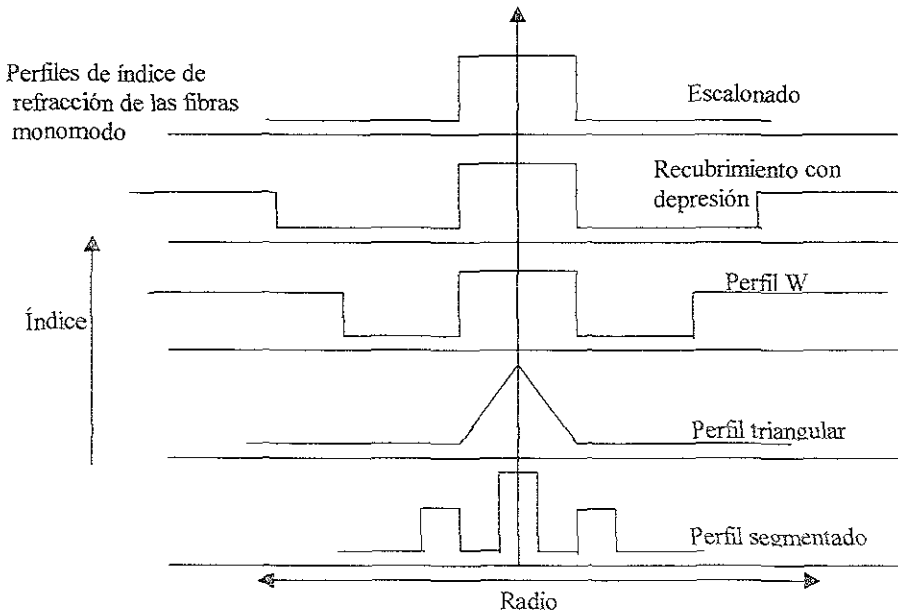


Tabla comparativa según el modo de propagación de la fibra.

Característica	Modos de la F.O		
	Monomodo	Multimodo	
		Índice escalonado	Índice gradual
Diámetro del núcleo (μm)	8	40 – 100	40 – 100 50 (típico)
Diámetro del revestimiento (μm)	125	125	125
Diferencia del índice de refracción absoluto (%)	0.1 – 0.3	0.8 – 3.0	0.8 – 1.5
Ancho de banda de la frecuencia de la frecuencia de banda base ($\text{GHz} \cdot \text{Km}$)	> 10	0.01 – 0.05	$\text{MHz} \cdot \text{Km}$
Facilidad de empalme (exactitud necesaria en μm)	difícil (0.1)	sencillo (1)	sencillo (1)

Para construir una fibra monomodo pueden adaptarse muy diversas configuraciones del perfil del índice de refracción. En la siguiente figura se muestran algunos perfiles empleados en la fabricación de fibra monomodo. El perfil de índice W (doble revestimiento) permite ajustar la longitud de onda de dispersión cero en un margen ($1.3 - 1.45 \mu\text{m}$ ó $1.5 - 1.7 \mu\text{m}$) mucho más amplio del que es posible con la estructura elemental de índice escalonado.



En fibras monomodo de diseño avanzado se busca cambiar el punto de dispersión cero para que se presente en la tercera ventana en vez de la segunda. Así la fibra de núcleo segmentado logra que la dispersión cero esté dentro de 1535 y 1565 nm. En este rango las longitudes de onda viajan teóricamente a la misma velocidad dentro del núcleo y, por lo tanto llegan al otro extremo de la fibra al mismo tiempo, lográndose con esto eliminar casi por completo el ensanchamiento del pulso luminoso, una vez que termina su recorrido en el interior de la fibra óptica, o lo que es lo mismo, se logran disminuir casi por completo los efectos de la dispersión cromática.

CAPITULO II

CODIGOS DE LÍNEA

Introducción a los códigos de línea

Para que dos máquinas puedan comunicarse dentro de una red, es necesario, en primer lugar, que se notifiquen unos a otros que son capaces de hacerlo, y una vez establecida la comunicación, que disponga de un método con el que ambos dispositivos lleven el control de la transmisión en curso. Centrémonos en el primer punto. Un transmisor debe enviar su señal de modo que el dispositivo receptor sepa cuándo buscarla y reconozca los datos a medida que vayan llegando, esto es el receptor ha de saber el momento exacto en que llega cada 1 y cada 0 por el canal de comunicaciones. Esta exigencia plantea la necesidad de una base de tiempos mutua, o lo que es lo mismo un reloj común a los dispositivos que emiten y a los que reciben.

La máquina que transmite ha de enviar primero a la máquina receptora la indicación que desea comunicarse con ella. Si el emisor se limita a enviar los datos por el canal sin previo aviso, lo más probable es que el receptor no tenga tiempo suficiente para ajustarse al flujo de datos que empieza a llegarle en cuyo caso los primeros bits de la transmisión se perderán. Este proceso forma parte de un protocolo de comunicaciones, y se conoce como sincronización. Cuando una señal de reloj llega por el canal de comunicación y cambia de estado indica al dispositivo receptor que debe examinar la línea de datos. Así mismo, puede sincronizar el reloj del receptor de manera que éste quede alineado con total exactitud con cada bit que vaya entrando. Podemos decir entonces que las señales de sincronismo o temporización desempeñan dos funciones de gran importancia: sincronizan el receptor con la transmisión antes de que lleguen los datos propiamente dichos, y mantienen el receptor sincronizado con los datos que van llegando. Cuando las distancias entre las máquinas son grandes, resulta más económico incorporar la temporización a la propia señal. Esto es lo que se conoce como un código autosincronizado, el cual permite al receptor comprobar periódicamente si está muestreando la línea en el momento exacto en que llega un bit de datos. Esto exige (en condiciones ideales) que la línea cambie de estado muy a menudo. Los mejores códigos autosincronizados son aquellos en los cuales el estado de la línea cambia muy frecuentemente ya que estos cambios de estado permiten al receptor seguir reajustando su propio funcionamiento de acuerdo con la señal. Los métodos de codificación binaria son los más empleados en la industria.

Las propiedades básicas que debe contener un código de línea son las siguientes:

1. Contenido adecuado de cronización: Debe ser posible extraer información de cronización o de reloj de la señal.
2. Eficiencia: Para un ancho de banda y una potencia de transmisión dados, el código debe tener la mínima probabilidad de error de detección o sea, la máxima inmunidad al ruido de canal y a la interferencia ínter simbólica.
3. Capacidad de detección y corrección de errores: Debe ser posible detectar, y de preferencia corregir el error en la detección.

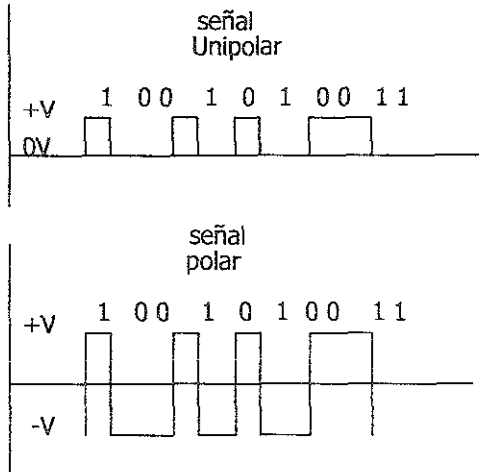
4. Densidad espectral de potencia(DEP) favorable: El espectro de la señal debe igualarse a la respuesta de frecuencia del canal. Por ejemplo si un canal posee alta atenuación a las frecuencias más bajas, el espectro de la señal debe tener una DEP pequeña dentro de este rango para evitar excesiva distorsión de la señal. Es también deseable tener un DEP cero cuando la frecuencia es cero ya que el acoplamiento de componente alterna se utiliza en los repetidores regenerativos.

Los voltajes o niveles de transmisión pueden ser clasificados como unipolares (UP), polares (P) o bipolares (BP) como se muestra en la siguiente figura. La transmisión unipolar de datos binarios implica la transmisión de sólo un nivel de voltaje diferente de cero:

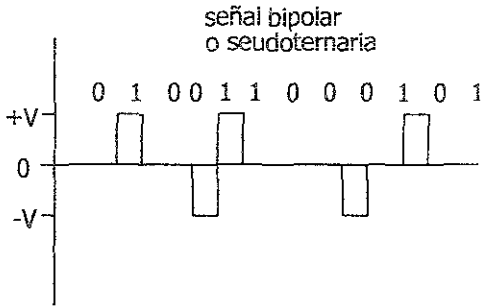
- +V para un nivel "1" lógico
- 0V o tierra para un nivel "0" lógico

En transmisión polar se usan dos niveles de voltaje diferentes de "0":

- +V para un "1" lógico
- V para un "0" lógico

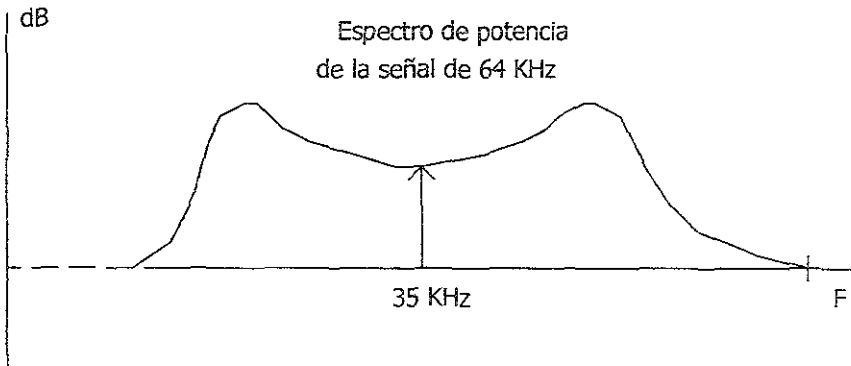
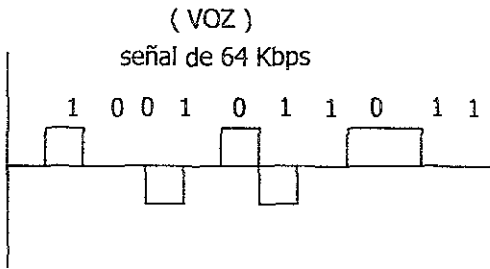


En el código bipolar(o pseudoternario) un cero se transmite por ausencia de pulso y un uno se transmite mediante un pulso (+V o -V) dependiendo si el uno anterior se transmitió mediante -V o +V .



Actualmente se emplean el código bipolar (con algunas modificaciones como para AMI o HDB3-estos códigos los veremos más adelante-) para codificar el tren de datos binarios. Las ventajas de estos códigos bipolares son :

- a) La señal del espectro de potencia está concentrada en una frecuencia igual a la mitad de la relación de bits reduciendo así el ancho de banda requerido.



b) El funcionamiento de la línea se puede supervisar sin necesidad de ponerla fuera de servicio, mediante la detección de errores en el código de línea.

Las características en cuanto a duración activa del pulso llamado ciclo útil de pauta para clasificar códigos de línea. El ciclo útil de un pulso binario es el tiempo en el cual el pulso es activo y es usado para clasificar el tipo de transmisión. Si la duración del pulso binario se mantiene por el tiempo de duración del bit, esto se denomina no retorno a cero (NRZ). Si el tiempo activo del pulso binario es menor que el 100 % del tiempo de duración del bit, entonces se denomina como retorno a cero (RZ). Usualmente el ciclo útil es del 50 % para una codificación con retorno a cero.

Los voltajes de transmisión unipolar, bipolar y el ciclo útil de los pulsos (NRZ) y (RZ) pueden ser combinados en muchas formas para realizar un código de línea en particular (UPNRZ, BPNRZ, UPRZ, BPRZ, AMI, HDB3). Por ejemplo la regla de codificación del código AMI (alternate mark inversion) que requiere de dos pasos de conversión; primero pasa de NRZ (unos + y ceros -) a RZ (ceros con cero volts y 1s con 1/2 periodo) y finalmente nace una inversión alternada de marcas (AMI).

En el diseño de la transmisión por fibra óptica una importante consideración es el formato de la señal óptica transmitida a continuación presentaremos los códigos de línea más empleados.

Código de Línea de alta Densidad Binaria (HDB3)

1) La señal HDB3 es pseudo-ternaria y sus tres niveles se designan por B+ pulso positivo, cero y B- pulso negativo con la particularidad de que al cuarto cero consecutivo se presenta una violación del código, esto se explicará más adelante.

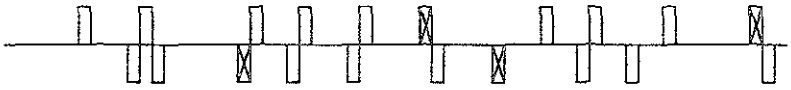
La idea básica del código bipolar de alta densidad (BADn) es que cuando ocurre una sucesión de más de n ceros binarios, los n+1 remplazan por una de las sucesiones de dígitos binarios especiales. Las sucesiones se eligen para que incluyan algunos unos binarios con el fin de aumentar el contenido de temporización de la señal. Los unos que se incluyen deliberadamente violan la regla bipolar para la fácil identificación de la sucesión sustituida. En la codificación BAN3, por ejemplo las sucesiones especiales que se usan son 000V y 100V donde V es 1. El bit V se codifica mediante un pulso de polaridad tal que se viole la regla bipolar. La elección de la sucesión 000V o 100V se hace de tal suerte que los pulsos consecutivos de V alternen signos con el fin de evitar que la componente de CD (componente directa) aumente y para mantener el CD nula en la DEP. La sucesión 100V se usa cuando ha habido un número par de unos después de la última sucesión especial. La figura muestra un ejemplo de esta codificación.

Dígitos de entrada

Dígitos codificados

Forma de onda transmitida

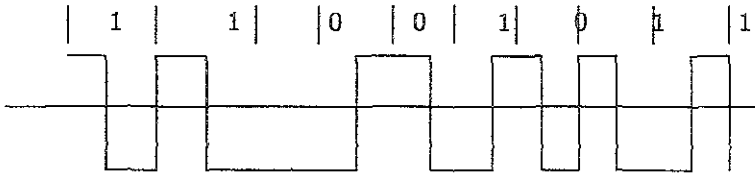
0 1 0 1 1 1 0 0 0 0 1 0 1 1 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 1 1 0 1 0 1 0 0 0
0 1 0 1 1 1 0 0 0 V 1 0 1 1 0 1 1 0 0 V 1 0 0 V 0 0 1 0 1 1 0 1 0 1 0 0 0



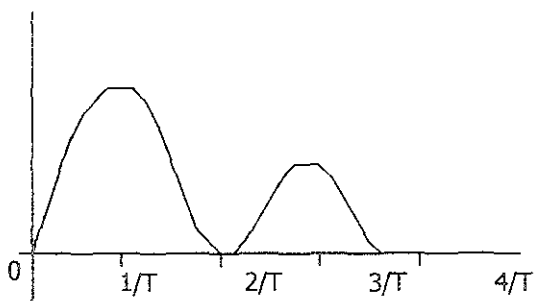
Obsérvese que en la sucesión 100V,1 y V son ambos codificados por el mismo pulso. El descodificador debe comprobar dos cosas: la violación bipolar y el número de cero que precede a cada violación, para determinar si el uno anterior es también una sustitución.

Código de línea Digital de Dos Fases (código Manchester)

Este código de línea únicamente emplea dos niveles de codificación para los datos binarios, además lleva un gran contenido de temporización y evita la distorsión de componente directa, pero incrementa el ancho de banda requerido para su transmisión. El código BI-fase emplea un ciclo de una onda rectangular con una fase en particular para codificar un 1 y un ciclo de fase opuesta para codificar un 0.



El código BI-fase se emplea principalmente en enlaces cortos para la transmisión de datos en donde el costo de los equipos terminales es más importante que el ancho de banda requerido para su transmisión.



Densidad de Potencia Espectral para el ciclo BI-fase Digital

Códigos de Bloque (mB-nB)

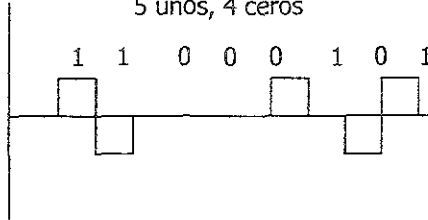
Estos códigos mB-nB convierten códigos de m dígitos binarios en bloques de n dígitos binarios donde $n > m$. Las palabras de n-bits corresponden a las m palabras de información que deben ser transmitidas y son elegidas de tal forma que satisfagan lo siguiente:

- 1) Facilitar la extracción de reloj en los repetidores.
- 2) Reducir las componentes de baja frecuencia en el espectro de la señal codificada.

El primer requisito se satisface si las palabras de todos 0's y 1's se excluyen de la señal codificada. Para el segundo requisito es conveniente introducir el concepto de disparidad acumulada que es la diferencia entre el número de 1's y el número de 0's, la cual puede ser medida con un contador ascendente-descendente. La componente del espectro continuo se puede cancelar a condición de que la disparidad esté limitada. Más sin embargo el contenido de bajas frecuencias en el espectro es proporcional a la variación de la disparidad (por ejemplo la diferencia entre el máximo y el mínimo de la disparidad acumulada).

$$\text{disparidad} = 2.5 - 2 = +.5$$

5 unos, 4 ceros



.0

Códigos 1B-2B

Este tipo de códigos demuestran un funcionamiento eficaz y requieren de circuitos muy simples, pero la principal desventaja es que la razón de símbolos y el ancho de banda requerido es el doble con respecto al de la señal sin codificar, por consiguiente estos códigos no son usados para transmisión digital de alta capacidad cuando se tienen limitaciones del ancho de banda.

Como ejemplo tenemos el código 1B-2B Bifase. En el código 1B-2B (Bifase) los dígitos "0" y "1" son codificados respectivamente como 01 y 10, las palabras prohibidas son dos (00 y 11) y la variación de la disparidad es igual a 2.

Código 4B5B

Si $m=4$ y $n=5$ 16 códigos de datos deben ser seleccionados de 32 del código de línea 5B. Una selección específica de esos códigos se muestra en la tabla 1, la cual representa los códigos de línea seleccionados por la Interfaz Distribuida de Datos por Fibra (FDDI).

Los aspectos importantes para asignar el código en la tabla 1 son los siguientes:

- 1) En la transmisión de datos, nunca pueden estar más de tres intervalos sin un pulso.
- 2) La componente de directa es restringida para estar en un mínimo valor.

El incremento de la velocidad de los símbolos en la línea está dado por la relación de $m:n$. En donde el código de línea 4B5B aumenta en un 25 % la velocidad de los datos en la línea. Este código tiene un monitoreo de errores simple, con pequeñas cantidades adicionales de redundancia, para el chequeo de paridad. Alternativamente el monitoreo de error puede ejecutarse para medir la variación en la disparidad entre los unos y los ceros.

Line Code					
Decimal	Binario	Simbolo	Nombre	Funcional	Asignamiento
0	00000	Q	QUIET		Line state symbol
1	00001	V	Violation		Disallowed
2	00010	V	Violation		Disallowed
3	00011	V	Violation		Disallowed
4	00100	H	Halt		Line state symbol
5	00101	L			Start delimiter
6	00110	V	Violation		Disallowed
7	00111	R	Reset		Control indicator
8	01000	V	Violation		Disallowed
9	01001	1			Data symbol 0001
10	01010	4			Data symbol 0100
11	01011	5			Data symbol 0101
12	01100	V	Violation		Desallowed
13	01101	T			End delimiter
14	01110	6			Data symbol 0110
15	01111	7			Data symbol 0111
16	10000	V	Violation		Disallowed
17	10001	K			Start delimiter
18	10010	8			Data symbol 1000
19	10011	9			Data symbol 1001
20	10100	2			Data symbol 0010
21	10101	3			Data symbol 0011
22	10110	A			Data symbol 1010
23	10111	B			Data symbol 1011
24	11000	J	Set		Start delimiter
25	11001	S	Set		Control indicator
26	11010	C			Data symbol 1100
27	11011	D			Data symbol 1101
28	11100	E			Data symbol 1110
29	11101	F			Data symbol 1111
30	11110	0			Data symbol 0000
31	11111	I	Idle		Line state symbol

Tabla 1 FDDI Código de línea 4B5B

Códigos 7B8B

Cada palabra de 7 bits es representada por una o dos palabras de 8 bits. Esto mantiene el contenido de CD de la señal en cero tanto como sea posible escogiendo la alternativa apropiada de las palabras de 8 bits, así previniendo largos trenes de 1's y 0's a ser transmitidos.

Esto asegura que la señal tenga suficiente contenido de temporización para que la regeneración se lleve a cabo adecuadamente. El uso del código 7B8B permite la detección de errores, los cuales pueden ocurrir a lo largo de la ruta óptica del sistema de línea. En el código 7B8B el incremento en el ancho de banda requerido es menor que para códigos 5B6B, 3B4B o códigos más pequeños como 1B2B en el cual se duplica el ancho de banda.

7B	8B
0000000	01011010/10100101
0000010	01001010/10110101
0000100	10101101/01010010

Ejemplo de códigos 7B8B

Características del código 7B8B

Los códigos de 8 bits se clasifican de acuerdo con su disparidad que es la diferencia entre el número de 1's y el número de 0's que contienen estos códigos. De acuerdo a la ITU, un 1 tiene una disparidad de +.5 y un cero tiene una disparidad de -.5, por lo tanto la palabra 10110011 tiene una disparidad de +1.

Hay 256 posibles palabras de 8 bits y 9 posibles disparidades como se indica a continuación :

Disparidad	Número de palabras esta disparidad
0	70
+/- 1	112
+/- 2	56
+/- 3	16
+/- 4	2
256 Total	

;

Las palabras con disparidad de +3 ó +4 contienen largas cadenas de 1's ó 0's y no se usan para representar palabras de 7 bits pues es inadecuado el contenido de temporización. Tampoco se usan ciertas palabras con disparidad +1 y +2 teniendo más de 4 primeros o últimos 1's ó 0's.

Los códigos de línea 7B8B tienen un uso extenso en Europa como por ejemplo en sistemas terrestres de 565 Mbps desarrollados por la British telecom y los sistemas submarinos NLI a 280 Mbps.

Uno de los últimos detalles importantes a ser considerados en el diseño de sistemas es el código de línea, por medio del cual una redundancia de información se introduce en el tren digital para asegurar una eficiente recuperación, también para adecuar la forma de la señal del espectro de línea.

Considerando el gran ancho de banda disponible y como existe la posibilidad del comportamiento no lineal de las fuentes ópticas, se aconseja que la inserción de redundancia resulte en un incremento del número de símbolos de línea en lugar de incremento del número de niveles transmitidos. Por esta razón los códigos de dos niveles son los más empleados y con estos códigos los circuitos de decisión son muy simples.

Debe tomarse en cuenta que en las transmisiones por fibra óptica la necesidad de evitar la componente de directa es menos rigurosa que en las comunicaciones por cable.

CAPITULO III

TECNOLOGÍAS DE TRANSPORTE DISEÑADAS PARA OPERAR CON FIBRA ÓPTICA, Y LA MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN DE FRECUENCIA.

Técnicas de conmutación

Existen dos tipos de conmutación: *Conmutación de circuitos
*Conmutación de paquetes

La conmutación de circuitos consiste en establecer una conexión física entre el nodo emisor y el nodo receptor, dicha conexión debe establecerse antes de que se inicie la transmisión de datos. En este tipo de conmutación el circuito solo puede ser usado exclusivamente por un par de nodos, y dicho circuito se libera hasta que la transmisión se haya terminado.

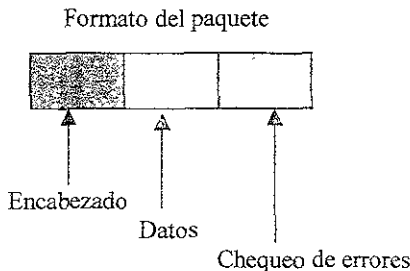
Características de la conmutación de circuitos.

- *Utilización no optima de los recursos
- *Retardos pequeños y constantes
- *Tiempo de establecimiento de conexión del orden de los segundos
- *Permiten la comunicación en tiempo real y no hay congestión

Por su parte la conmutación de paquetes se creó con la finalidad de utilizar más eficientemente los medios de transmisión, en este tipo de conmutación los datos de diferentes usuarios pueden compartir una misma trayectoria física. Esta técnica emplea secuencias continuas de bits de determinado tamaño, las cuales son enviadas por la red a través de diferentes trayectorias. El nodo destino recibe todos los paquetes y los re ensambla para obtener la información completa.

Características de la conmutación de paquetes

- *Diferentes paquetes y destinos emplean el mismo medio de transmisión
- *Probabilidad de pérdida de paquetes por saturación
- *No se requiere que se establezca una conexión entre los nodos para comenzar a Transmitir.

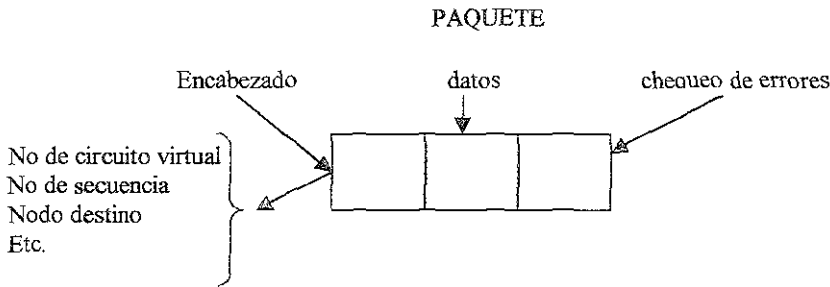


La técnica de conmutación de paquetes se puede realizar mediante dos formas:

1. -Circuitos virtuales

Este tipo de conmutación se emplea en redes cuyo servicio principal esta orientado a conexión. El hecho de establecer una conexión evita que se tengan que hacer decisiones de enrutamiento para cada paquete transmitido. Una vez que se establece la conexión se emplea esa misma ruta para todo el tráfico, incluso dicho circuito puede ser compartido por los paquetes de otros usuarios de la misma red, la finalidad de la conexión es que los paquetes lleguen al destino en la misma secuencia en que fueron generados por el nodo fuente.

Como los paquetes que se envían por la red a través de circuitos virtuales siempre siguen la misma trayectoria, cada conmutador debe mantener una tabla para saber el nodo del que proviene el paquete, el número de circuito virtual y el nodo destino. Cada paquete tiene un campo de cabecera con el número del circuito virtual, su numero de secuencia, código de redundancia etc.



Características de los circuitos virtuales

- Orientados a conexión
- Tabla con identidades de nodo origen y circuito virtual en el conmutador
- Paquetes con número de secuencia, de circuito virtual y CRC

2. - Datagramas

Mediante el empleo de datagramas ninguna ruta se determina anticipadamente, de hecho los paquetes viajan por rutas distintas, lo cual hace que este tipo de conmutación sea más robusta que la de circuitos virtuales. Al emplear datagramas, los conmutadores no necesitan tener tablas que especifiquen el origen del paquete, su destino y el número de circuito virtual. En vez de eso se usa una tabla que indica la línea de salida que debe emplearse para acceder a cada uno de los posibles nodos destino. Dicha tabla también es necesaria para los CV para determinar la ruta que se debe establecer.

Cada datagrama contiene la dirección completa del nodo fuente y del nodo destino. Como cada datagrama puede seguir rutas diferentes, es frecuente que lleguen con una secuencia distinta a la original, por lo cual es necesario que sean ordenados en el nodo destino para poder obtener la información correcta.

Diferencias principales entre una red de circuitos virtuales y una red de datagramas

CARACTERÍSTICA	RED DATAGRAMA	RED VIRTUAL CIRCUITO
Establecimiento del circuito	No necesario	Indispensable
Direccionamiento	Los paquetes contienen la dirección completa de la fuente y el destino	Los paquetes contienen el número de circuito virtual
Enrutamiento	Los paquetes se enrutan de forma independiente	Todos los paquetes viajan a través de una ruta previamente seleccionada
Efectos de las fallas en un nodo	Ninguno. solo se pierden los paquetes durante la falla	Se pierden todos los circuitos virtuales que cruzan el equipo
Secuencia de paquetes	No garantizada	Garantizada
Adecuado para	Servicios orientados a conexión y no-conexión (TCP/IP)	Servicios orientados a conexión (protocolo X.25)

Tipos de circuitos virtuales

- **Circuito virtual permanente (SVP)**

Se emplea para las aplicaciones que requieren de conexiones punto a punto a través de líneas dedicadas. Este tipo de circuitos tienen una sola fase, la de transferencia de información, ya que el enlace es permanente.

- **Circuitos virtuales conmutados (SVC)**

Este tipo de circuitos se emplean para establecer conexiones temporales, los SVC's son análogos a las llamadas telefónicas convencionales. Para establecer un SVC son necesarias tres fases: el establecimiento de la conexión, la transferencia de datos y la desconexión.

Modelo OSI

El modelo OSI representa el prototipo teórico más difundido de la arquitectura de una red mediante 7 capas, cada capa cumple con una función específica, y las capas superiores dependen de las inferiores para su funcionamiento óptimo.

1. -Capa Física: Se encarga de definir los voltajes, tiempos de duración de los pulsos, número de pines de los conectores de la interfaz y sus respectivas funciones, etc. Esta capa es responsable de transportar los bits.

2. -Capa de enlace de datos: Su principal función es asegurar que no existan errores en la transmisión de datos entre dos nodos adyacentes de la red. Esta capa también se encarga de la creación o reconocimiento de los límites de las tramas.

3. -Capa de red: Es la encargada de que los datos sean enviados al destino correcto. Determinando la ruta de transmisión. En esta capa suele introducirse software para determinar la cantidad de paquetes enviados a cada cliente con el fin de realizar las facturaciones.

4. -Capa de transporte: Esta capa recibe los datos provenientes de la capa de sesión y se encarga de fragmentarlos (en caso de ser necesario), pasarlos a la capa de red y asegurar que todos lleguen correctamente a su destino.

5. -Capa de sesión: Su función es la de permitir a los usuarios de diferentes equipos realizar conexiones entre ellos. Una de sus funciones es la de realizar el control de dialogo. Las sesiones permiten que existan conexiones full duplex, o bien, se encarga de determinar a quien toca el turno en una conexión half duplex. Además proporciona la sincronización proporcionando la forma de insertar puntos de señalización para que en caso de una falla de red se retransmitan solo los datos que se encuentran enseguida del último punto de verificación una vez reanudado el servicio.

6. -Capa de presentación: Esta capa se encarga de convertir los datos transmitidos a una forma inteligible para las computadoras, es decir, su función es la de permitir la comunicación entre computadoras sin importar que tipo de código manejen las mismas.

7. - Capa de aplicación: Contiene una serie de protocolos que hacen posible la ejecución de una gran variedad de aplicaciones por parte del usuario. (correo electrónico, transferencia de archivos, etc.)

Acceso a redes

En este capítulo se mencionan algunos términos técnicos para definir la capacidad de un enlace de acceso a una red, por lo cual se definirán a continuación:

- **DS0:** Es el termino empleado para referirse a un servicio de conexión dedicado punto a punto a 64 Kbps mediante un par de cobre en la última milla.
- **E0:** conexión física que se realiza a 64 Kbps, presta el mismo servicio que un DS0, pero tiene posibilidades de crecimiento a velocidades mayores múltiplos de 64 Kbps. Tiene un mayor costo que un DS0.

- E1: consiste en un enlace dedicado entre dos puntos a una velocidad de 2.048 Kbps, el cual consta de 32 canales de 64 Kbps, donde uno es para sincronía y otro para señalización.
- FE1: es el servicio que se presta cuando el usuario no requiere de un E1 completo, y solo solicita N canales de 64 Kbps.

Tecnología X.25

X.25 es un estándar de interfaz de acceso a una red de conmutación de paquetes, este estándar fue creado por cinco naciones en conjunto, (Francia, Japón Estados Unidos, Canadá e Inglaterra) las cuales deseaban construir una red de conmutación de paquetes que fuese capaz de satisfacer sus necesidades, para lograr construir dicha red necesitaban crear una interfaz estándar entre el usuario y la red.

Dicha red debía cumplir con algunos requisitos básicos, tales como:

- Proporcionar una trayectoria de transmisión Full Dúplex entre el usuario y la red
- Asegurar la integridad y la exactitud de los datos transmitidos
- Proporcionar conmutaciones virtuales permanentes y conmutadas
- Permitir que la red y/o el usuario controlen el flujo de datos sin que se afecten entre sí
- Proporcionar funciones de supervisión y control para administrar las comunicaciones satisfactoria mente
- Soportar eficientemente las congestiones de los circuitos

La propuesta de interfaz que surgió a partir de estas necesidades se puso a consideración del CCITT y fue aprobada como la recomendación X.25 en 1976. Esta recomendación está definida por las tres primeras capas del modelo OSI: Físico, de Enlace y de Red

X.25 es el protocolo que debe emplearse para realizar una conexión de terminales que operan en modo de paquete a través de una red pública de transmisión de datos. (por ejemplo la red TELEPAC de México). La recomendación X.25 maneja velocidades desde los 1200 bps hasta 64 Kbps, por lo cual es muy empleada para transmisiones internacionales de regular volumen. Debido a que esta recomendación fue diseñada para operar en medios de transmisión de baja calidad, como el par de cobre, cuenta con algoritmos de supervisión extremadamente robustos.

La interfaz X-25 opera en el modo orientado a conmutación y especifica los procedimientos para:

- El control físico del enlace
- Formato de los paquetes, funciones de usuario opcionales
- Servicios de conexión SVC y PVC

Acceso a las redes X.25

Acceso dedicado

- Soportan PVC y SVC
- En línea analógica soporta velocidades de hasta 28.8 Kbps, mientras que en las líneas digitales soportan velocidades de hasta 64 Kbps
- El enrutador soporta el protocolo X.25

Acceso conmutado

- Soporta PVC y SVC
- Las velocidades que alcanzan las líneas analógicas conmutadas van desde 2.4 Kbps hasta 28.8 Kbps dependiendo de la calidad de la línea.

Formato en el paquete X.25

El sistema X.25 tiene sus orígenes en los años setentas, cuando las comunicaciones se realizaban mediante conmutación analógica, a través de ruidosos circuitos de cobre. Las redes actuales ofrecen conectividad a través de fibras ópticas de alta calidad, lo cual provoca que las tasas de errores en bits sean mucho menores.

Existen actualmente técnicas de conmutación rápida de paquetes (Fast Packet Switching), las cuales toman ventaja de la alta velocidad de procesamiento en los conmutadores y de los actuales medios de transmisión, los cuales son extremadamente confiables. Para eliminar los procesos de detección y corrección de errores que existen en X.25.

Grupo y Canal

Entre ambos campos forman el número de canal lógico (LCN), el cual esta conformado por 12 bits, el canal cero esta reservado, por lo cual un DTE podrá tener hasta 4098 circuitos virtuales simultáneos. (2^{12})

Tipo

En el paquete solicitud de llamada, en todos los paquetes de control se encarga de identificar el tipo de paquete.

Control

El bit de control se coloca en el valor 1 para indicar que se trata de un paquete de control, y en 0 para indicar que se trata de un paquete de datos.

Longitud de dirección del que llama y del llamado

Estas direcciones están codificadas con cuatro bits por cada dígito decimal, De acuerdo a la recomendación X121 de la CCITT.

Dirección del que llama y del llamado

Cada Host se identifica con un número decimal que consta de: código de país, código de red y una dirección específica de la red dentro del host. Una dirección puede constar de hasta 14 dígitos decimales

Longitud de servicios

Indica la longitud de octetos del campo de servicio o facilidades. Las facilidades se refieren a las características específicas para la conexión que se establecerá, tales como.

- Números de secuencia de uso extendido
- Fijación del tamaño de la ventana
- Fijación del tamaño de los paquetes
- Fijación de la clase de rendimiento
- Solicitud de cobro revertido

Servicios

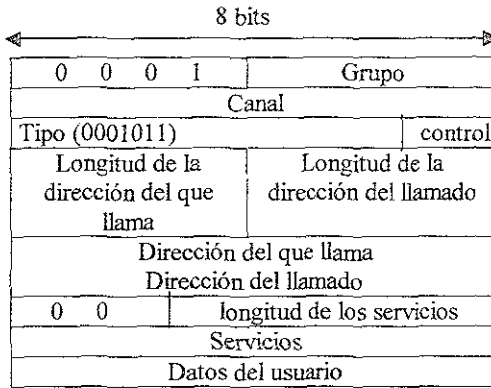
Especifica el tipo de servicios de los cuales podrá disponer la conexión, tales como:

- Aceptación de cobro revertido
- Selección de operador
- Solo datos de salida
- Solo datos de entrada
- Redireccionamiento de llamadas

Datos del usuario

Permite que el DTE transmita hasta 16 octetos de datos junto con el paquete solicitud de llamada. En este espacio se pueden enviar contraseñas, o bien mensajes para iniciar un determinado proceso.

Formato de un paquete X.25



Algunas redes X.25 que operan en México, y las características de su servicio.

- AVANTEL: NET X.25 PACKET

Tipos de acceso

- Dedicado a 64 Kbps
- Conmutado hasta 9.6 Kbps

El acceso se puede hacer con enlace propio de Avantel con Fibra Óptica o microondas, también vía Telmex con LP analógica, DS0 y E0

- IUSANET: Conmutación de paquetes

Tipos de acceso

- Síncrono dedicado (1.2 a 64 Kbps)
- Asíncrono conmutado (0.3 a 9.6 Kbps)

El acceso se hace mediante la contratación de un enlace por microonda o radiomodem a la velocidad deseada.

Disponibilidad garantizada de 99.6% por escrito.

Flexibilidad de tarificación para configuraciones punto multipunto y por volumen

Conexión con / sin paquete ensamblador / desensamblador (PAD)

- OPTEL: Servicio X.25

Tipos de acceso

Síncrono dedicado (256,128,96 y 64 Kbps)

Asíncrono dedicado (9.6 y 4.8 Kbps)

El acceso dedicado se hace mediante la contratación de la última milla con Telmex.
Flexibilidad de tarificación para configuraciones punto-multipunto

- Servicio X.25 de TELEPAC (SCT)

Tipos de acceso

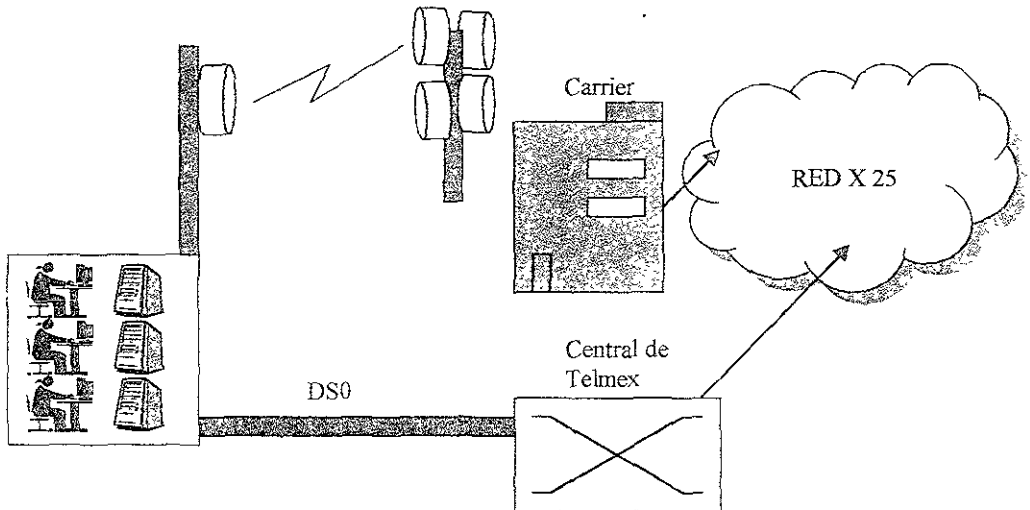
Dedicado a(64 y 9.6 Kbps)

Asíncrono dedicado (9.6 y 4.8 Kbps)

Asíncrono conmutado (4.8, 2.4, 1.2 Kbps)

El acceso se hace mediante la contratación de un enlace dedicado con Telmex o vía microondas de la SCT.

Diagrama típico de conexión a una red X.25



FRAME RELAY

La tecnología Frame Relay fue desarrollada por cuatro destacadas compañías: DEC (Digital Equipment Corporation) la cual es una destacada empresa en la industria de la computación. Northern Telecom, que es una de las compañías de telecomunicaciones más importantes a nivel mundial. Cisco, líder en la fabricación de puentes y enrutadores de LAN's. Y Stratacom, especialista en multiplexores por división de tiempo (TDM).

Las técnicas de conmutación rápida de paquetes más conocidas son:

- *Frame Relay (Conmutación de tramas)
- *ATM (Conmutación de Celdas)

Frame Relay

Frame Relay es una tecnología de conmutación de paquetes de alta velocidad, a través de la cual se puede mandar texto, datos e imágenes en tramas de longitud variable a velocidades de hasta 45 Mbps.

Frame Relay está creado para transferir información aprovechando las actuales facilidades de transmisión digital, esta tecnología cede el control de errores a protocolos sofisticados residentes en las terminales del usuario tales como TCP/IP.

Frame Relay es un protocolo en base a tramas que usan circuitos virtuales para transportar datos entre usuarios, proporcionando múltiples conexiones lógicas sobre un solo circuito físico. Frame Relay define la interfaz entre el equipo del usuario y la Red, para generar Redes WAN en un servicio orientado a conexión.

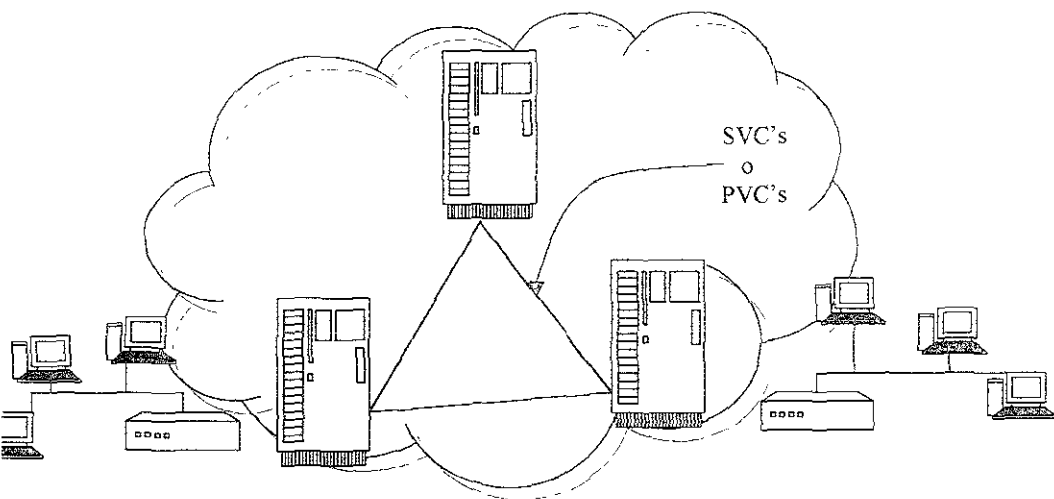
Frame Relay maneja el enlace de datos básico y algunas funciones de la capa de Red, proporciona acceso a la red, delimita y entrega tramas en el orden correcto, enrruta y multiplexa. Y deja a protocolos de capas superiores otras funciones como corrección de errores, acuse de recibido y retransmisión de tramas.

Frame Relay puede ser considerado como una red de área amplia que permite la conexión de estaciones de trabajo tales como Host, servidores LAN, PC's, dispositivos síncronos y asíncronos(X25)

Frame Relay es una tecnología que trabaja en las dos primeras capas del modelo OSI. El protocolo que utiliza Frame Relay en la capa 2 está definido en la recomendación I.441 y esta basada en la LAPD (Link Acces Protocol by chanel D) Protocolo de acceso al enlace por canal D, que es similar al protocolo de la capa 2 de X.25 (LAPB).

En ambos casos su función es delimitar tramas, cálculo y verificación de los códigos de redundancia y controlar la congestión para proporcionar un servicio de transmisión de tramas confiable.

Frame Relay es un sistema orientado a conexión. Existen dos tipos de conexiones, mediante circuitos virtuales permanentes o mediante circuitos virtuales conmutados.



Formato y/o tramas de los Protocolos de Frame Relay

En 1992 la ITU-T elaboró la recomendación Q 922 anexo A la cual contiene la descripción de la estructura de la trama Frame Relay, la cual tiene la siguiente configuración.

Octeto	Concepto
1	Bandera
2 y 3	Campos de dirección
4 a N-3	Campos de información
N-2 A n-1	Campos de secuencia de verificación de trama (FCS)
N	Bandera

El campo de bandera es del tipo DfC, es un patrón 7E, esto es, 01111110. Todas las tramas deben tener una bandera de inicio y una bandera de fin.

El campo de dirección contiene al identificador de Conexión de Enlace de Datos (DLCI) el cual está compuesto por 6 bits del primer octeto y 4 del segundo.

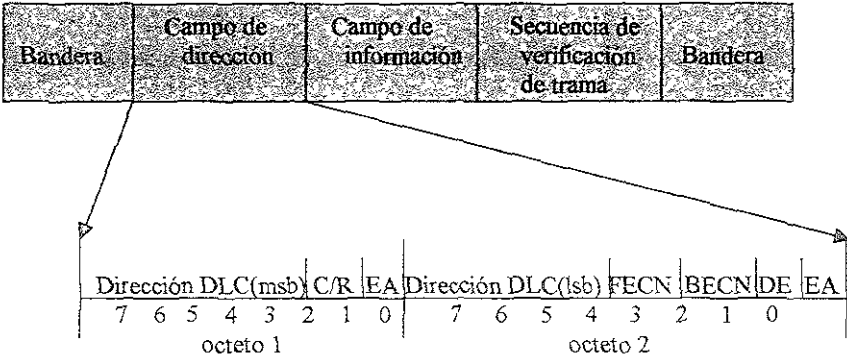
Este campo representa la dirección de una conexión de un usuario frame relay. **Bit de comando respuesta**, indica si la trama es de comando o respuesta. **Bit de Extensión de Campo de Dirección (EA)**, aun cuando el encabezado básico de la trama de frame relay es de dos octetos, este se puede extender hasta tres para soportar direcciones mayores a 10 bits. El bit EA indica si el presente octeto es el último de en el campo del encabezado. **Bit de notificación de congestión explícita hacia delante y hacia atrás. (FECN y BECN)**. Con este bit la red informa sin hay congestión en los nodos, el bit FECN indica que había congestión en el camino atravesado por el frame, mientras que el bit BECN indica que había congestión para los frames que viajaban en dirección opuesta. Ambos indicadores hacen que el transmisor disminuya su velocidad de transmisión para bajar el nivel de congestión.

Bit de elegibilidad de descarte(DE). Este bit es útil cuando la red esta congestionada, ya que indica las tramas que pueden ser descartadas en preferencia a otras que no tengan el DE activado.

Campo de información. Contiene la información del usuario, la cual puede ocupar de 1 a 8000 octetos de longitud.

Secuencia de verificación de trama (FCS). Este bit se emplea para verificar que una trama se ha recibido sin error, consiste en un campo de 2 octetos conteniendo un Chequeo de Redundancia Cíclica

En el protocolo LAPF solo existen tramas de información que transportan datos. No existen tramas de señalización, ya que no hay forma material de codificar mensajes especiales para el establecimiento o liberación de conexiones. Tampoco existen tramas que permitan a la red ejecutar un control de flujo tal, como pedir retransmisiones. Ni siquiera existe un campo que permita enumerar las tramas.



En la figura anterior:

- DLCI: Identificador de conexión de enlaces de datos canal (lógico)
- C/R: Bit de comando o respuesta
- EA: Bit de extensión del campo de dirección
- FECN: Notificación de congestión explícita hacia delante
- BECN: Notificación de congestión explícita hacia atrás
- DE: Identificador de elegibilidad de descarte
- msb: bit más significativo
- lsb: bit menos significativo

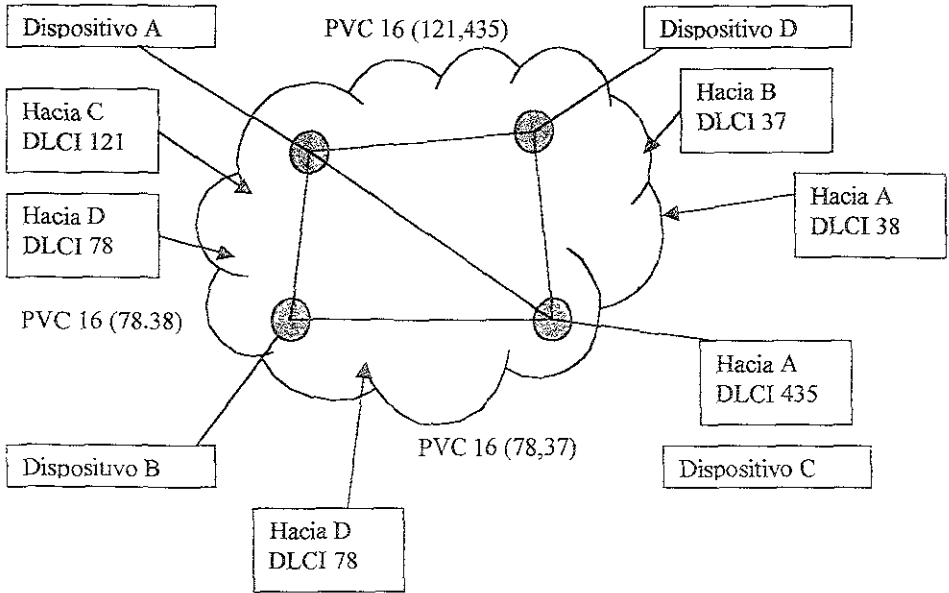
El Identificador de la Conexión de Enlace de datos (DLCI) en la trama de Frame Relay es usado para identificar el canal lógico entre el usuario y la red, y tiene una significancia local. Se necesitan dos DLCI para determinar un circuito virtual.

Interfaz de administración local (LMI)

Es un sistema de mensajes orientado a PVC's sin mecanismos de señalización que se mueven independientemente de los datos por el DLCI No 0, La LMI se encarga entre otras cosas de:

- *Notificar adición, desconexión y presencia de PVC's en la interfaz
- *Notificar la disponibilidad de un PVC preconfigurado
- *Realiza un proceso de poleo (secuencia de preguntas y respuestas) que asegura la operación continua del enlace.

En la actualidad se trabaja en un LMI orientado a SVC's para de esta manera mejorar el protocolo básico de Frame Relay.



Para la figura anterior se tiene que:

Dispositivo Origen	DLCI		Dispositivo destino	DLCI	Circuito virtual
Dispositivo A	121	hacia	Dispositivo C	435	PVC 16 (121,435)
Dispositivo A	78	hacia	Dispositivo D	38	PVC 17 (78,38)
Dispositivo B	78	hacia	Dispositivo D	37	PVC 18 (78,37)

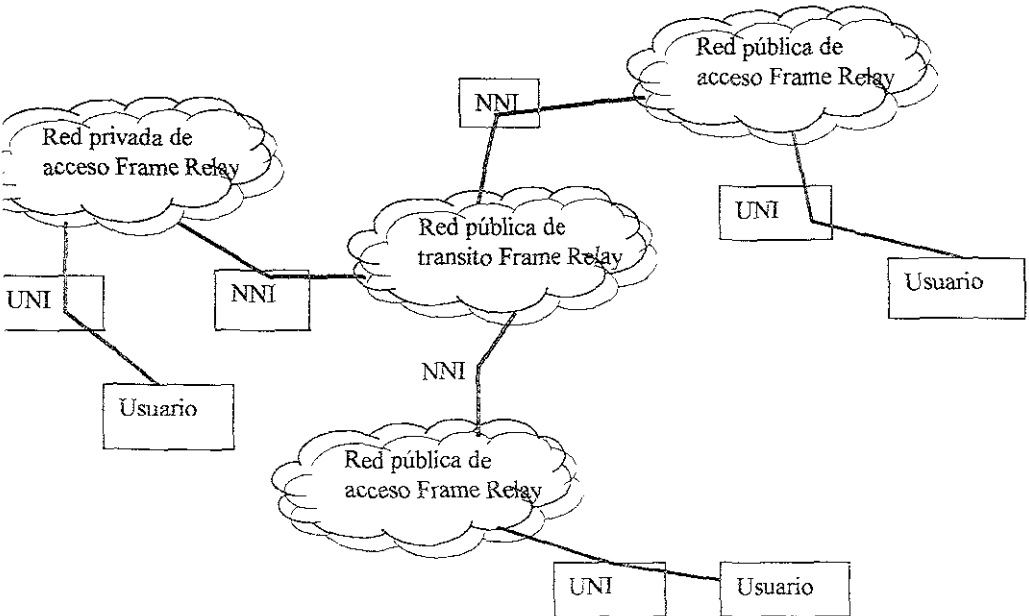
Como se dijo anteriormente la tecnología Frame Relay fue desarrollada por cuatro compañías. Entre estas cuatro empresas generaron dos interfaces.

- **Interfaz UNI (User to network interface)**

Este protocolo permite a los usuarios acceder a una red Frame Relay pública o privada y establecer una trayectoria de comunicación hacia otro usuario

- **Interfaz NNI (Network to Network Interface)**

Este tipo de protocolo esta diseñado para proporcionar una interfaz eficiente entre dos redes Frame Relay y permitir que los usuarios de ambas redes se comuniquen entre ellos.



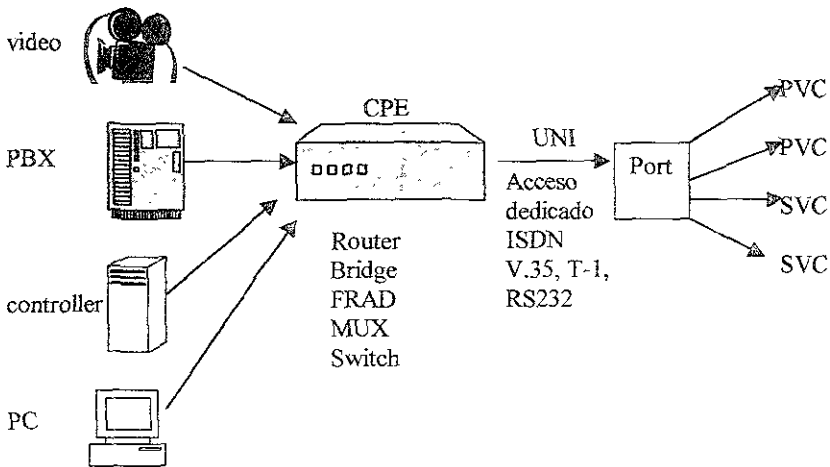
Control de Gestión

Para controlar el acceso de los usuarios a la red se cuenta con tres parámetros:

* CIR: Velocidad de Tasa de Información Comprometida, es la velocidad a la que el operador se compromete a transportar la información. Esta velocidad varía entre 64 Kbps y 2 Mbps, incluso en algunos países se manejan velocidades de hasta 45 Mbps.

- Bc : Tamaño de ráfaga comprometida indica la máxima capacidad de datos, que en el tiempo de medición de tasa comprometida (T_c), la red garantiza transportar.
- Be : Tamaño de ráfaga en exceso, es la máxima cantidad de datos con que un usuario puede sobrepasar el Bc durante un T_c , pero que la red no garantiza transportar.

Ejemplo de conexión a una red Frame Relay.



En México existen varias compañías que prestan el servicio de redes Frame Relay, entre ellas están:

- *ALESTRA
- *AVANTEL
- *INSANET
- *OPTEL
- *TELEPAC
- *RCDT (Telmex)

Por citar algunos ejemplos de las características que ofrecen los proveedores tenemos los servicios ofrecidos por:

AVANTEL

Servicio AVANTELI Frame Relay service.
Acceso de 64 Kbps a 2.048 Mbps
Maneja PVC's simétricos y asimétricos
Plataforma: BAY NETWORKS

ALESTRA

Servicio ALESTRA Frame Relay
Acceso de 64 Kbps a 2.048 Mbps
Maneja PVC's simétricos y asimétricos
Plataforma: CISCO

ATM (Asynchronous Transfer Mode)

La tecnología ATM tiene sus inicios en la década de los 60's en los laboratorios Bell, a pesar de eso la tecnología ATM fue aceptada comercialmente hasta 1988, cuando la CCITT decidió que fuera la tecnología de conmutación para la red ISDN en banda ancha (B-ISDN). Para decidir que tamaño debían tener las celdas ATM se pusieron a consideración dos propuestas, la hecha por los organismos de E.U, que proponían celdas de 128 bytes pensando en la transmisión de datos, y la propuesta hecha por los Europeos, quienes solicitaban que las celdas fuesen de 16 bytes, ya que consideraban que una celda demasiado grande provocaría retardos en la transmisión de voz, audio y video. Después de mucho dialogo, ambas partes flexionaron su postura, los estadounidenses aceptaron celdas de 64 bytes y los europeos de 32, como aún existía diferencia la CCITT decidió sacar una media entre ambos valores y acordó que el tamaño de las celdas fuese de 48 bytes, mientras que los encabezados tendrían una longitud de 5 bytes, por lo cual el tamaño total de la célula es de 53 bytes

Características de ATM

- ATM es una tecnología de conmutación rápida de paquetes que conmuta celdas de tamaño fijo (53 bytes) de manera constante.
- Es una tecnología orientada a conexión mediante circuitos virtuales,
- Garantiza un mínimo retardo
- Maneja velocidades de 155 y 622.08 Mbps

- Ofrece un ancho de banda garantizado debido a su asignación dinámica de la tasa binaria de transferencia
- Puede incluir en sus celdas cualquier tipo de información, ya que no maneja ningún protocolo de acceso (token passing, CSMA CD, etc)

Desde el punto de vista de su arquitectura, ATM se divide en tres niveles:

1. - **Nivel de adaptación ATM (ATM Adaptation Layer AAL).** Se encarga de las relaciones externas a la red. Acepta todo tipo de información y la segmenta en paquetes de 48 bytes. Se encuentra en los puntos terminales de la red. Internamente se subdivide en dos partes.

a) Subnivel de convergencia.(CS). Se encarga de realizar funciones tales como la detección de celdas perdidas y el mantenimiento del sincronismo de la red.

b) Subnivel de segmentación y reensamblado (SAR). Esta capa se encarga de segmentar los datos en celdas y las envía al nivel ATM para que les ponga cabecera, del lado opuesto lleva a cabo el proceso inverso.

El nivel AAL proporciona diversos servicios que se clasifican relacionando tres parámetros: origen y destino, sincronización, velocidad y conexión. Dependiendo de la combinación la CCITT definió cuatro tipos de servicios y clases.

AAL	Clase	Características	Ejemplo
1	A	Velocidad de acceso constante (CBR), Intercambia información de sincronismo Los errores se detectan pero no se recuperan.	Circuitos punto a punto, Telefonía
2	B	Transferencia de información a velocidades variables (VBR) pero sincronizadas	Aplicaciones en tiempo real que requieren de sincronización aunque no, de velocidad constante. Video sobre demanda y difusión de T.V
3 y 4	C y D	Útil para transmitir datos sensibles a la pérdida de celdas, aunque no al retardo	TCP/IP, WWW, Distribución de software
5	C y D	Servicio sin conexión, reduce el overhead en cada celda y mejora la detección de errores	LAN emulation, Internet

2.- Nivel ATM

Este nivel se encarga de realizar los siguientes procesos:

- Construcción y extracción de cabeceras
- Mantiene los identificadores de las conexiones y realiza el routing entre nodos
- Multiplexa y demultiplexa las celdas por los medios físicos de transmisión y controla la entrega secuencial dentro de una conexión virtual

Formato de las celdas de ATM

Las celdas ATM son estructuras de 53 bytes compuestas por dos campos:

- 1) Cabecera: consta de 5 bytes, los cuales tienen 3 funciones principales. Identificación del canal, información para la detección de errores y si la celda es o no utilizada.
- 2) Carga útil: consta de 48 bytes, los cuales contienen la información del usuario y protocolo AAL que también se considera como información del usuario.

Dos de los conceptos más significativos de ATM están materializados en el campo de cabecera. Canales virtuales y Rutas virtuales(VCI y VPI) y ambas determinan el enrutamiento entre nodos.

Existen 2 formatos de celdas para ATM: la UNI (User Network Interface) que es la que se emplea en la interfaz usuario red y la NNI (Network Node Interface) que se emplea cuando la información circula por la red.

FORMATO UNI

GFC		VPI	
VPI			
VCI			
	PTI	CLP	
HEC			
Carga Útil			

FORMATO NNI

VPI			
VPI			
VCI			
	PTI	CLP	
HEC			
Carga Útil			

GFC: General Row Control

VPI: Virtual Path Identifier

VCI: Virtual Channel Identifier

PTI: Payload Type (solo si se usa AAL5)

CLP: Call Lose Priority

HEC: Header Error Control

3.- Nivel Físico

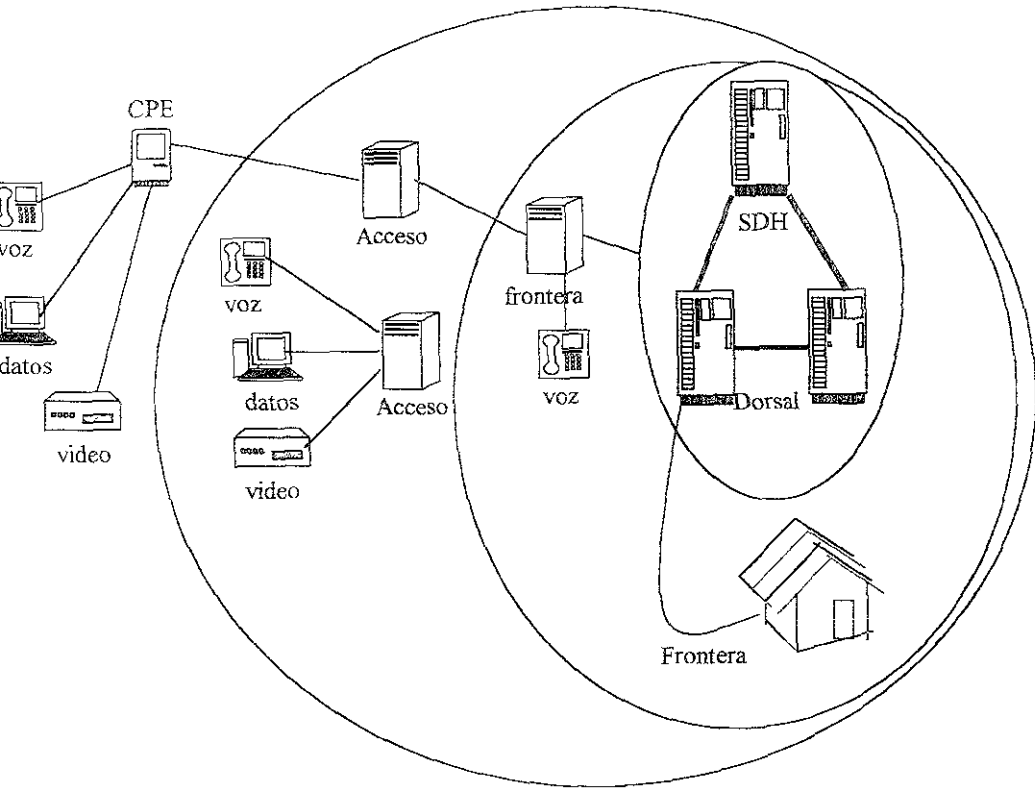
El nivel físico realiza dos funciones fundamentales: el transporte de las celdas validas y la entrega de información de sincronía

La estructura del nivel físico se divide en dos capas:

Subnivel de la convergencia de la transmisión (TC), se encarga de adaptar la velocidad y de crear un Datastream (definición del tipo de portadora a utilizar) para su posterior transmisión al medio físico.

Subnivel medio físico (PM), se encarga de la transmisión de bits y de la sincronización de señales. Las velocidades de transmisión estandarizadas por la ITU son de 155.52 y 622.08 Mbps, mientras que en el ATM forum se estandarizaron las sig. Velocidades. 25, 44.736, 100 y 155.52 Mbps.

Arquitectura de una red ATM:



PDH (Plesiochronous Digital hierarchy)

Antecedentes Históricos

En los comienzos de los años 60 expertos en transmisión estuvieron trabajando en el PCM para resolver el problema de la presencia en demasía de hilos de cobre en las calles y la ausencia del espacio para instalar nuevas líneas.

Se encontró que con una cadena digital se podía transmitir muchas señales de voz con mejor calidad que las analógicas.

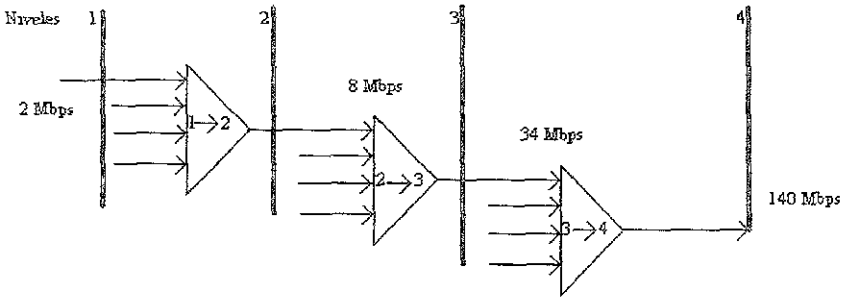
En 1968 Europa desarrolló su Estándar con 30 canales de voz más un canal de alineamiento de trama y un canal de señalización, con un total de $34 \times 64 \text{ kbps} = 4.048 \text{ Mbps}$. Esto conforma el formato E1.

Con la llegada del Multiplexaje se pudieron crear sistemas en donde se tomaban cierto número de señales DS-1 o E-1 y ponerlas todas juntas. Tomándose un bit de cada cadena tributaria y poniéndose en una cadena de más alto orden, y a estos ordenes se les llamó Jerarquías de Multiplexación.

ORDEN	VELOCIDAD	CAPACIDAD DE CANALES
Primer orden	2048 Mbps	30
Segundo orden	8,448 Mbps	120
Tercer orden	34,368 Mbps	480
Cuarto orden	139,264 Mbps	1920
Quinto orden	565,992 Mbps	7680

Así, en cada paso, el multiplexor debe tomar en cuenta el hecho de que los relojes de cada tributaria son distintos. Por ello se utiliza en método PDH.

MULTIPLEXAJE PLEOSIOCRONO



En cada nivel:

- Palabra de Inserción para alineamiento de trama
- Adición de Bits de Justificación y Stuffing
- Adición de Señales de Servicio

A cada reloj se le permite un cierto rango de velocidades.

El Multiplexor lee cada tributaria a la velocidad de reloj más alta permitida y, cuando no hay bits en el buffer de entrada (debido a que los bits están llegando a una velocidad de reloj menor), este añade un bit de relleno ("stuffing") para rellenar la señal hasta la velocidad de reloj más alta (rellenado positivo).

Esto conlleva un mecanismo que indica al Demultiplexor que se han usado bits de relleno y los cuáles debe descartar.

Multiplexaje Pleiosicrono

En cada nivel:

- Palabra de inserción para alineamiento de trama
- Adición de bits de justificación y Stuffing
- Adición de señales de servicio

Demultiplexaje Pleiosicrono

En cada nivel:

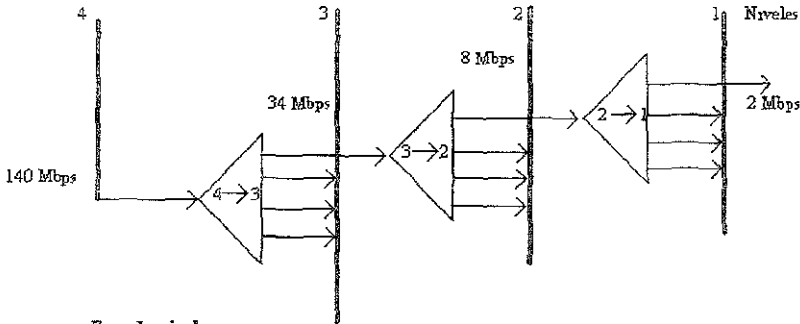
- Extracción de la señal de reloj
- Recuperación de la palabra de alineamiento de trama
- Recuperación de bits adicionales

Desventajas de PDH

Dentro de una Trama Plesiócrona no es posible introducir o extraer una señal de forma directa a un nivel específico según sea como esté formada.

Demultiplexaje pleosincrono (imagen)

Demultiplexaje Pleosincrono



En cada nivel:

- Extracción de la señal de reloj
- Recuperación de la palabra de Alineamiento de Trama.
- Recuperación de bits adicionales

Es decir con PDH no se puede disgregar o separar una señal de 1er orden de una señal entrante de 4º orden, por lo que tendría que estar bajándose al nivel inmediato hasta obtener la señal del orden deseado.

Por lo que es posible mencionar que existen algunos problemas con la Plesiocronia tales como:

- Incompatible con las jerarquías existentes en el mundo, es decir que para Multiplexar y Demultiplexar un nivel jerárquico es necesario demultiplexarlos nivel por nivel.
- Se carece de apuntadores por lo que no se puede averiguar donde se encuentra nuestra señal de interés.
- Altos costos debidos a la conversión de los niveles jerárquicos.
- No existe una relación reservada de bit para el monitoreo de los sistemas de transmisión.

Ventajas de PDH

*Equipo relativamente barato pues no requiere inteligencia para el procesamiento de señales.

*Planta instalada muy grande, en uso y aún creciendo.

*Fácil de instalar y adaptable a la planta de cobre externa existente.

Arquitectura de PDH

Arquitectura funcional:

Según su arquitectura funcional basado en el ETR (ETSI Technical Report) 085 el PDH se divide en:

Capa de Trayectoria de Red: La "capa de Red" se refiere a la transferencia de información entre los puntos de acceso que son obtenidas de una o más capas de Circuitos de Red.

Por ejemplo, en el caso de los 2 Mbps del PDH, hay 4 "Capas de Trayectoria de Red" relacionadas con un "cliente / servidor" entre "Capas Adyacentes de Trayectoria de red", estas son denotadas con el siguiente formato:

P12: 2.048 Mbps Capa de Trayectoria de Red
P22: 8.448 Mbps Capa de Trayectoria de Red
P12: 34.368 Mbps Capa de Trayectoria de Red
P12: 39.264 Mbps Capa de Trayectoria de Red

Capa del Medio de transmisión de la Red: La Capa de Red la cual es dependiente del medio de Tx concerniente a la transferencia de información entre Puntos de Acceso provenientes de uno o más enlaces. Además está dividido en "sección" y en "Medio físico".

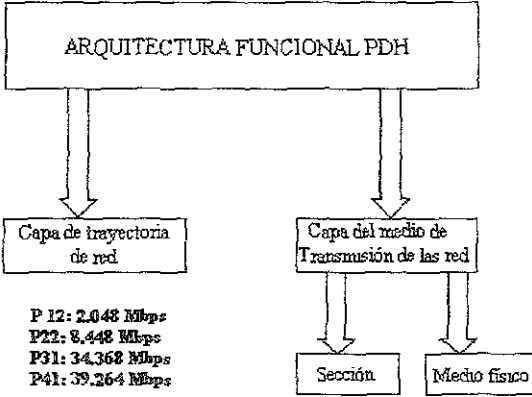
Capa de red, la Sección: La capa de red la cuál está acorde con la transferencia de información entre secciones de los puntos de Acceso. Las secciones las dividen en Inter-Secciones según el flujo de la Información.

Capa de red del Medio Físico: La capa concerniente con el medio físico como Fibra óptica, par metálico o RF.

Convención de acuerdo a recomendaciones de UIT-T en la capa de red de transporte PDH.

Los esquemas están referenciados acorde al siguiente patrón:

XYYZ



Arquitectura de PDH

Donde:

X= "S" para SDH

"P" para PDH

YY=1 a 2 dos dígitos identifican la jerarquía

Z= "S" para síncronos

"e" para plesiocronos

"V" para video

"X" para estructura desconocida

Jerarquías de multiplexación

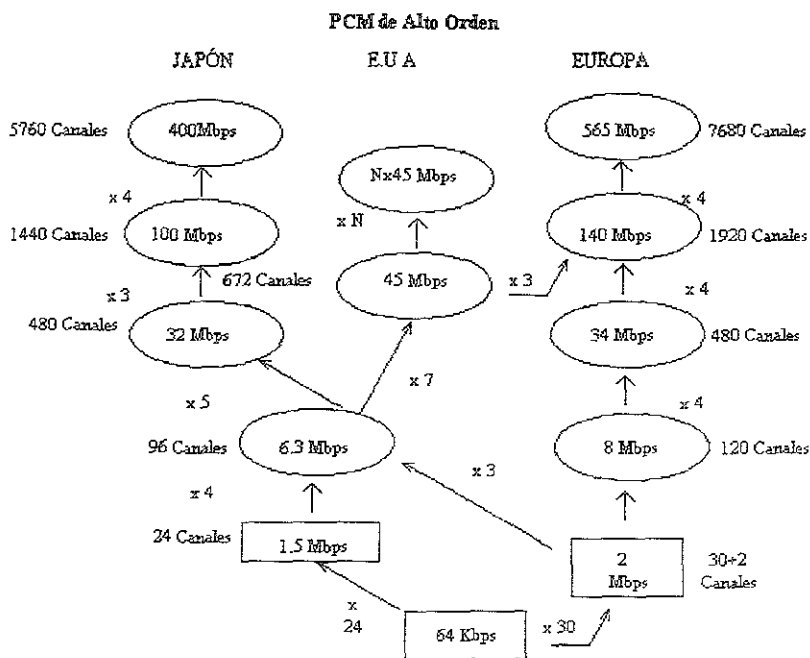
Existen tres normas de multiplexación a partir de una señal de 64 Kbps. Estas son normadas por la UIT-T en la recomendación G702.

- Norma Americana
- Norma Europea
- Norma Japonesa

Todas las jerarquías parten de una velocidad a nivel de canal de 64 Kbps sobre la que se estructuran los niveles jerárquicos en cualquier sistema.

En la jerarquía de multiplexaje norma europea, en cada nivel jerárquico se agrupan respectivamente 4 señales digitales de orden jerárquico inferior en un tren de pulsos de orden jerárquico superior.

Por ejemplo para pasar del 1er orden al 2º se agrupan 4 sistemas a 120 canales (Tributarios a 8.448 Mbps) y para pasar del 3º al 4º se agrupan 4 sistemas a 480 canales (Tributarios a 34.368 Mbps).



El Sistema PCM de 30 Canales

Características	PCM 30 CH's
FRECUENCIA DE MUESTREO KHz	8
DURACIÓN DEL TS μ s	3.9
ANCHURA DEL BIT μ s	0.49
VELOCIDAD DE TRANSFERENCIA BINARIA Mbps	2.048
PERIODO DE LA TRAMA μ s	125
Nº DE BITS POR PALABRA	8
NUMERO DE TRAMAS POR MULTITRAMA	16
PERIODO DE MULTITRAMA ms	2
SEÑAL DE ALINEAMIENTO DE TRAMA EN:	Tramas PARES
SEÑAL DE ALINEAMIENTO DE MULTITRAMA EN:	Trama del TS 16
PALABRA DE ALINEAMIENTO DE TRAMA	0011011
PALABRA DE ALINEAMIENTO DE MULTITRAMA	0000

Este TDM es posible reduciendo a la cuarta parte la duración de cada bit procedente del sistema tributario de entrada, de forma que se pueda que en el mismo tiempo reservado anteriormente a un único bit, se transmitan ahora cuatro bits.

A esta técnica de multiplexaje se le conoce como sistema "BIT A BIT", es decir a continuación del bit (1/4 bit) correspondiente al 1er sistema tributario, se sitúa el bit (reducido) correspondiente al 2º tributario, a continuación el del 3er sistema y finalmente el del 4º.

Después de ellos, se añade un cierto número de bits de servicio y de alineamiento de la nueva trama que se ha obtenido.

PDH de segundo orden

Estos sistemas son utilizados para combinar cuatro señales digitales plesiócronicas de 2.048 Mbps (sistema de 120 canales) y distribuirlos después en los pulsos originales de 2.048 Mbps en el lado receptor.

Esto es, el sistema digital de segundo orden multiplexa en división de tiempo el flujo de señales de cuatro sistemas PCM de primer orden, obteniendo un flujo de pulsos de 8.448 Mbps.

La multiplexación de las señales plesiocronicas es más compleja que en las señales síncronas, e involucra un proceso conocido como justificación positiva, el cual permite la diferencia de razones digitales de las señales tributarias para ser correctamente relacionadas a la razón del reloj del equipo multiplexor.

SDH (Jerarquía Digital Síncrona)

La jerarquía digital síncrona surge por la necesidad de evolucionar hacia un sistema de transmisión de más alta velocidad, más confiable y más fácil de administrar que la PDH.

Características de SDH

- Todos los elementos de la red utilizan como referencia solamente un reloj, existen 2 relojes atómicos de cesio, uno en Celaya en la central Aztecas y el otro en México D.F en la central San Juan los cuales proporcionan los pulsos de alta precisión para todos los sistemas digitales del país.
- Es compatible con PDH, puede conectarse con sistemas PDH y transportarlos de manera transparente.
- Esta normalizado con respecto a medios de transmisión, permite mezclar cualquier tipo de equipo que cumpla con las normas.
- Esta preparado para transportar las existentes PDH y las señales de Modo de Transferencia Asíncrono (ATM).
- Las señales SDH están compuestas por señales de más bajo nivel de multiplexación, es decir velocidades más bajas enclavadas en otras de más alto orden, al igual que en PDH, sin embargo gracias a su sistema de encabezados las señales pueden ser fácilmente identificadas, insertadas y extraídas de manera fácil y rápida sin tener que pasar por todos los niveles de multiplexación
- Tiene canales para la administración de la red, en la misma señal de SDH están incrustados canales de datos para la operación y mantenimiento de la red.

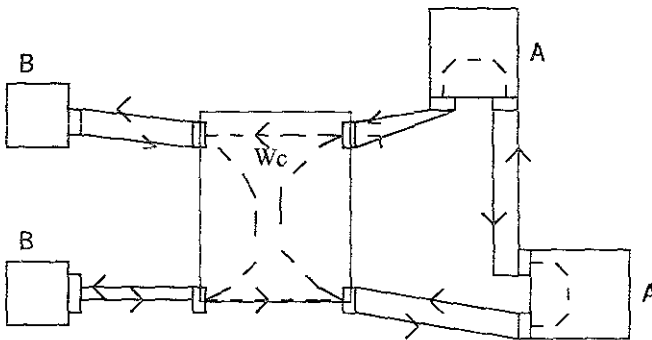
El SDH se deriva y es contraparte del estándar americano SONET (Synchronous Optical Network) o Jerarquía Estandarizada de transmisión Óptica propuesta por BellCore y normalizada por ANSI.

Las redes de telecomunicaciones modernas deben satisfacer las demandas de aplicaciones que requieren día con día mayores velocidades de transmisión, como es el caso de interconectar LANs (red de área local) a 100 Mbps entre sí y formar WAN (red de área amplia) de alta velocidad.

SONET (Red síncrona óptica) es una norma ANSI (Instituto Americano de Normalización) que define la jerarquía digital de altas velocidades de transmisión y los formatos de multiplexaje síncronos correspondientes para uso en sistemas de transmisión de fibra óptica. Fue desarrollada por Bellcore en 1985 y es un estándar que provee servicios del rango de los 51.84 Mbps hasta los 2.488 Gbps.

El empleo de fibras ópticas en redes locales presenta una serie de ventajas y existen bastantes razones que aconsejan la instalación de ETD (equipo terminal de datos) sobre fibra óptica. En primer lugar los ordenadores trabajan a velocidades muy elevadas, por otra parte los avances en la tecnología de los discos están permitiendo velocidades de lectura / escritura de 40 a 50 Mbps. Y en tercer lugar, las conversaciones de voz digitalizada exigen un ancho de banda mayor que el que ofrecen los canales telefónicos habituales sobre todo si se trata de diálogos interactivos y en tiempo real. El Instituto Americano de

Normalización(ANSI) ha desarrollado una especificación para redes locales con fibra óptica, se conoce como FDDI(interfaz distribuida de datos por fibra óptica). Las especificaciones anteriores son de la FDDI. El canal de fibra óptica trabaja a 100Mbps. Un anillo de fibra óptica puede incluir hasta 1000 nodos, los nodos pueden estar separados hasta 2 Km, y la circunferencia de anillo puede llegar a 200 Km, FDDI especifica una topología en la que existen dos anillos de fibra óptica independiente y de rotación inversa como se ve en la figura* que proporciona una velocidad global de 200Mbps, 100Mbps para cada uno de los canales. En la figura vemos que los componentes (ETD, terminales, ordenadores, estaciones gráficas) están interconectados a través de un concentrador, que sirve de punto de encuentro y reconfiguración para todas las líneas de fibra óptica y para todo el flujo de datos. El canal interno enlaza sólo determinados dispositivos. Estos dispositivos que tienen conectados los anillos interno y externo tienen la clasificación A. Los dispositivos tipo B sólo están unidos a un anillo. Lo interesante de esta especificación es que permite designar con clasificación A a las estaciones críticas que necesitan apoyo adicional y canales de mayor velocidad. Las otras estaciones de menor importancia (por ejemplo estaciones de trabajo aisladas o terminales de baja prioridad) pueden dejarse como estaciones de clase B.



Concentrador de cableado

Wc: puente de conexión de estaciones, reconfiguración y reserva; medio mixto.

Clase A: anillos internos y externo

Clase B: solo anillo externo

Interfaz Distribuida de Datos basada en fibra óptica (FDDI)

Un termino utilizado en las redes es el de puente, este dispositivo sirve de enlace para las comunicaciones exteriores con otras redes en anillo, estas transmisiones se llevan a cabo a través de cables de pares trenzados de 4 Mbps o mediante fibra óptica de 16 Mbps.

Velocidades de transmisión SONET/SDH

NIVEL SDH	NIVEL SONET	VELOCIDAD (Mbps)	Compatibilidad
	STS-1	51.840	
STM-1	STS-3	155.520	STM-1 / STS-3
	STS-9	466.560	
STM-4	STS-12	622.080	STM-4 / STS-12
	STS-18	933.120	
	STS-24	1244.160	
	STS-36	1866.240	
STM-16	STS-48	2488.320	STM-16 / STS-48
STM-64		9953.280	

STM : Módulo de Transporte Síncrono

STS: Señal de Transporte Síncrono

Propósito del SDH/SONET

SONET/SDH es una red de portadora de base óptica (de transporte) que utiliza operaciones síncronas entre las redes componentes. El termino SONET (Synchronous optical Network) es usado en Norte América y SDH (Synchronous Digital Hierarchy System) es usado en Europa y otras partes del mundo como en México.

Los servicios locales SONET/SDH son entregados de 2 formas: líneas dedicadas punto a punto o anillos de doble fibra. SONET/SDH esta basada en una jerarquía en capas correspondientes a la capa física del modelo de referencia OSI:

- Trayectoria: realiza el transporte de datos punto a punto a la velocidad apropiada.
- Línea: multiplexa y sincroniza los datos dentro de las tramas SONET/SDH y hace monitoreo de errores.
- Fotónica: especifica el tipo de fibra y luz, es la capa física que convierte las señales eléctricas en ópticas

SONET/SDH provee un atractivo futuro comparándolo con las tecnologías comunes. **Primero** ésta es una Red Integrada Universal (estándar) en la cual puede transportarse todo tipo de tráfico.

Segundo. el estándar SONET/SDH se basa en la tecnología por fibra óptica que provee un funcionamiento superior bit-a- bit con respecto a otros sistemas de cable y microondas.

Tercero. SONET/SDH hace una combinación eficiente, consolidada, y segrega el tráfico de diferentes lugares con gran facilidad. Este concepto es conocido como grooming.

Cuarto. el aspecto síncrono del SONET/SDH hace más estable la operación de la red.

Quinto. SONET/SDH emplea un proyecto de transmisión digital. Hasta ahora el tráfico es relativamente inmune al ruido y a otros deterioros del canal de comunicación, el sistema puede usar eficientemente el multiplexaje por división de tiempo (TDM).

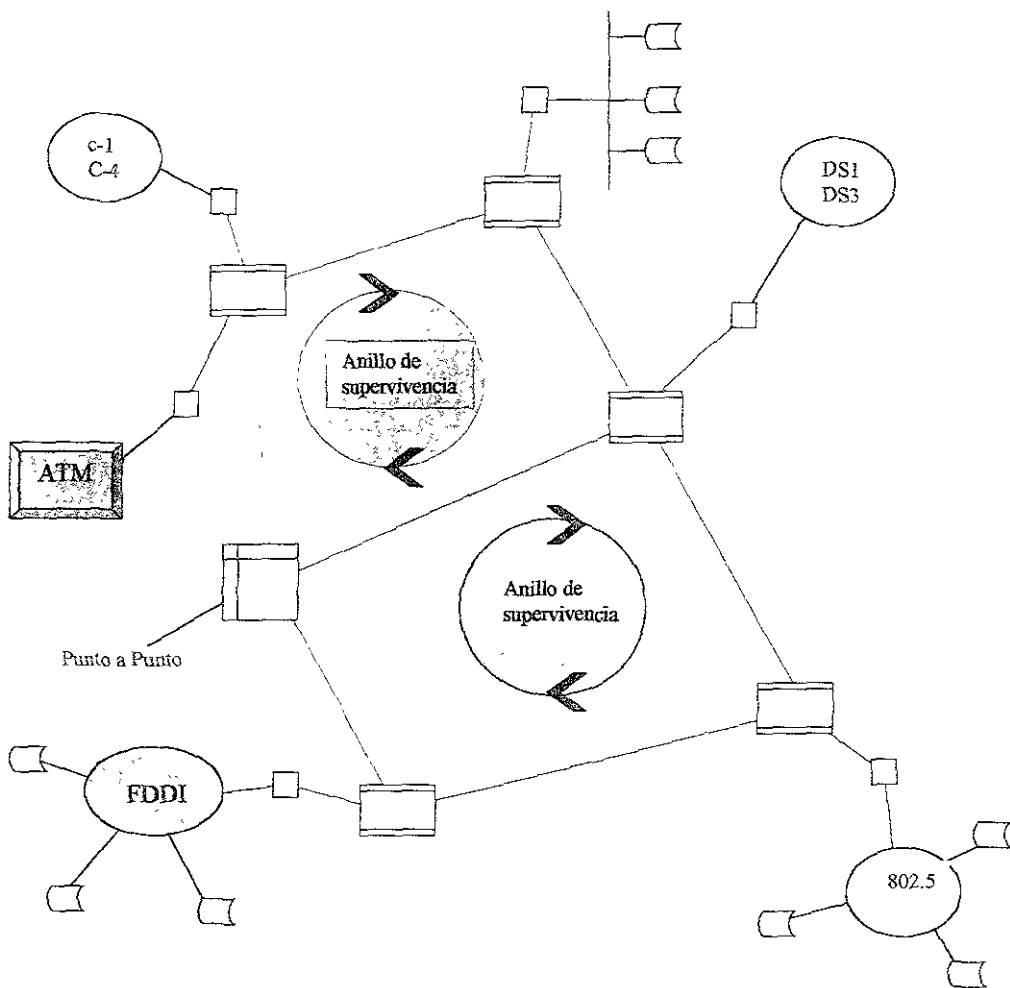
Redes síncronas

SONET/SDH es basada en transmisión síncrona, que significa que hay una frecuencia común para los relojes en la red. Como un resultado de este enfoque los relojes son altamente referenciados a un punto de referencia estable, así la necesidad de alinear la corriente de datos o de sincronizar los relojes es innecesaria. Por lo tanto las señales tal como DS1 (señal digital de nivel 1) son accesibles y en el demultiplexado no hace falta acceder los bitstreams. También la señal puede juntarse sin bits de relleno. Para esas situaciones en la cual la frecuencia de referencia puede variar, SONET/SDH usa punteros para permitir la corriente de flote (float) dentro de una sobrecarga. En verdad el reloj síncrono es el teclado para los punteros; esto permite una muy flexible distribución y alineación de la carga dentro de la sobretransmisión. El sistema síncrono congela bits específicos en una memoria de silicio (buffer) por un definido y predictorio periodo de tiempo; esto es posible para mover información de una parte de un PDU (protocol data unit) a otra parte cuando hay sobrecarga. Esto también permite un sistema que conoce donde los bits se encuentran localizados en todo tiempo.






Topologías típicas SONET/SDH

La siguiente figura muestra una topología típica de una red SONET/SDH. El usuario final esta operando sobre LAN's (FDDI, 802.3, 802.5, etc.) y sistemas de transporte digitales, tal como un DS1 y un E1, son adheridos a través de un adaptador de servicio SONET/SDH para la red. Este servicio adaptador es llamado nodo de acceso, que puede ser una terminal o un multiplexor terminal. Esta máquina es responsable de sostener la interfase del usuario final para la transmisión y recepción de tráfico de LAN's, DS1, DS3, E1. Esto es en realidad un concentrador que permite conectar estaciones y reconfigurar el sistema, también se encarga de aislar los nodos problemáticos mediante el punto de concentración. La señal de usuario pueden ser; T1, ATM, E1, las cuales son convertidas (mapeadas) dentro del formato estándar llamado señal de transporte síncrono (STS) para SONET y módulos de transporte síncrono (STM), para SDH el cual es el bloque básico de la jerarquía de multiplexado SONET/SDH. La señal STS es una señal eléctrica y la notación en la figura STS-n quiere decir que el servicio adaptador puede multiplexar la señal STS dentro de un más alto múltiplo entero de la velocidad base. La velocidad base es de 51.84 Mbps en Norte América y de 155.520 Mbps en Europa. Por lo tanto de la perspectiva de una terminal SONET, la velocidad base en Europa es una señal multiplexada STS-3 ($51.84 \times 3 = 155.520$ Mbps).

El adaptador (nodo de acceso) que se muestra en la figura se implementa con la máquina de interfase del usuario final o con un add-drop multiplexer. La señal de entrada a la implementación de multiplexores es una señal STS-n y la señal a la salida del último multiplexor que es también la entrada a los canales de fibra óptica se les llama también señales ópticas portadoras y se designa con la notación OC-n, donde n representa el entero multiplexado. Las corrientes OC-n pueden ser también multiplexadas y demultiplexadas por estas máquinas. El termino "add-drop" significa que la máquina puede agregar carga útil o quitar carga útil de uno de los dos canales. El tráfico restante pasa derecho a través de la salida del multiplexor a un proceso adicional.

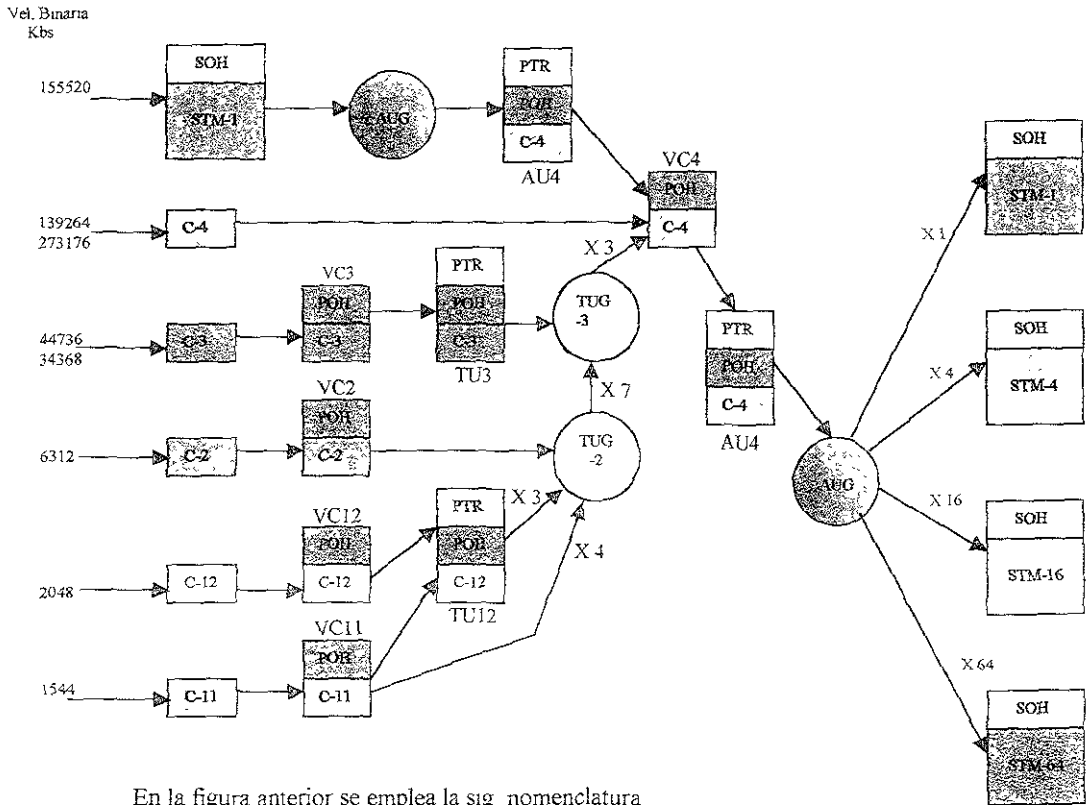


En la figura se tiene que

-  Terminal adaptador de servicio
-  Multiplexor ADD/DROP
-  Conexión híbrida digital
-  Enlace STS-n / OC-n
-  Enlace STS-n

La máquina digital de conexión híbrida (DCS) usualmente actúa como un hub (concentrador) en la red SONET/SDH. No sólo puede adicionar y disminuir carga, éste puede operar con diferentes velocidades de portadoras, tal como un DS1, OC-n y puede hacer dos caminos de conexión híbrida entre ellos. Esto consolida y separa diferentes tipos de tráfico. El DCS es designado para eliminar dispositivos llamados multiplexores back-to-back (uno tras otro). Esta topología permite que la red pueda recobrase automáticamente de pérdidas sobre el canal y en las interfaces de canal / máquina. Esto es conocido como un selfhealing ring.

En la siguiente figura se muestra la interconexión de sistemas PDH al SDH



En la figura anterior se emplea la sig nomenclatura

C = contenedor
 VC = Contenedor virtual
 TU = Unidad tributaria
 TUG = Grupo de unidad tributaria
 AU = Unidad administrativa

STM = Módulo de transporte síncrono
 POH = Encabezado de trayecto
 SOH = Sección de encabezado
 PTR = Apuntador

AUG = Grupo de unidad administrativa

- Contenedor (C-n): Estructura que forma la carga útil de la información.
- Contenedor virtual (VC-n): Estructura de información usada para establecer conexiones entre los diferentes niveles de trayecto.
- Unidad tributaria (TU-n): Estructura que agrega apuntadores a los contenedores virtuales.
- Grupo de unidades tributarias (TUG-n): Agrupa varias TU's que se multiplexan juntas.
- Unidad administrativa (AU-n): Agrega apuntadores a los contenedores virtuales.
- Grupo de unidades administrativas (AUG-n): Agrupa varias AU's que van juntas para formar un SDH de primer orden.
- Módulo de transporte síncrono (STM-n): Estructura que agrega facilidades para supervisión y mantenimiento

WDM (Wavelength Division Multiplexing)

A través del tiempo el hombre ha desarrollado nuevas técnicas para aprovechar en forma más eficiente y económica los medios de comunicación, los sistemas ópticos no son la excepción y para eso se ha desarrollado el multiplexaje por división en longitud de onda (WDM), con el cual, la capacidad de transmisión de información se incrementa usando una sola fibra.

Con el multiplexaje por división en longitud de onda (WDM), todos los canales se transmiten simultáneamente y utilizan cada uno de ellos todo el ancho de banda del medio de transmisión. Se les asigna una longitud de onda en particular por medio de un modulador electro-óptico, el cual convierte la señal eléctrica en energía luminosa, con una longitud de onda específica, que se distribuye en forma simultánea en toda la fibra óptica.

Para alimentar la energía luminosa se emplean distribuidores selectivos de longitudes de onda o multiplexores o demultiplexores ópticos.

La técnica de multiplexación por división de longitud de onda (WDM), permite transmitir varias señales ópticas (canales) por la misma fibra.

En cada canal se asigna una longitud de onda específica. Por ejemplo, para un sistema submarino la distribución de longitudes de onda está comprendida entre 1554 nm y 1561 nm, el intervalo de medida entre dos longitudes de onda es de 1nm.

La técnica de WDM brinda las siguientes ventajas:

- Incrementar la capacidad de transmisión total en los sistemas de fibra óptica.
- La multiplexación no divide la potencia entre los canales multiplexados, como ocurre en las multiplexaciones clásicas, lo que proporciona una mejor relación señal a ruido.
- Optimizar el costo de construcción de la red.

La unidad de derivación es el elemento principal de la interconexión de la red WDM, el cual permite sumar y restar longitudes de onda de la troncal para crear una derivación. La calidad de transmisión en una red WDM depende sustancialmente de la calidad de propagación de las señales ópticas en la línea de punta a punta.

El sistema está optimizado para minimizar las penalidades debidas a las siguientes restricciones.

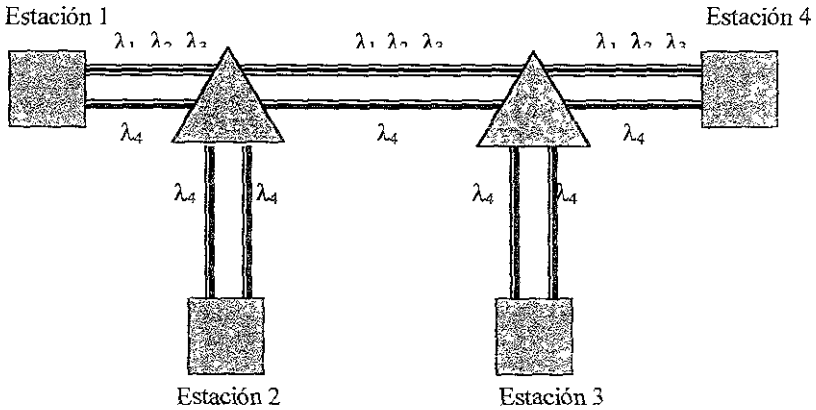
- En los amplificadores de línea óptica, la ganancia en cada longitud de onda no es constante.
- La relación señal / ruido debe ser tomada en cuenta para cada canal.
- Existe una intermodulación entre los canales transmitidos.

Un canal de 2.5 Gbits/s nominal brinda el mejor compromiso entre la conexión de red y las limitaciones de la transmisión óptica.

$$(2.5 \text{ Gbits/s}) (8\lambda) = 20 \text{ Gbits/s}$$

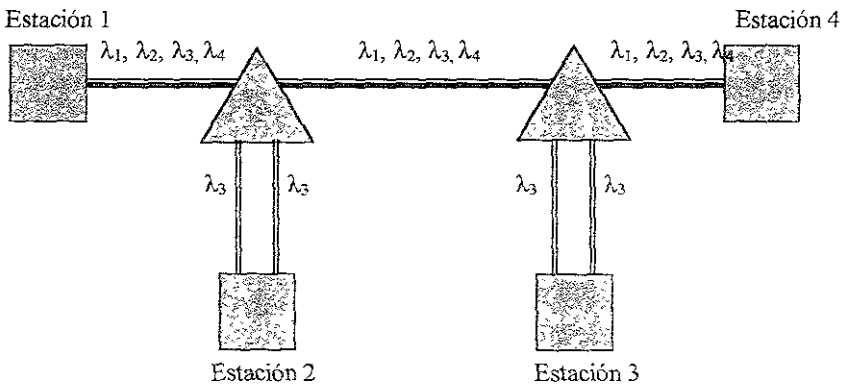
Comparación entre un sistema de canal único y WDM

Sistema de canal único: un par de fibras ópticas para la comunicación punto a punto, manejando una o varias longitudes de onda por cada par de fibras.



WDM

Un par de fibras ópticas para toda la comunicación, y los derivadores extraen o insertan longitudes de onda, optimizando el aprovechamiento de la fibra óptica.



Dentro de los enlaces por fibra óptica existen dos topologías posibles de transmisión,

- Transmisión óptica unidireccional: se emplea la fibra óptica en un único sentido de transmisión
- Transmisión óptica bidireccional: se emplea la fibra óptica en los sentidos de transmisión posibles

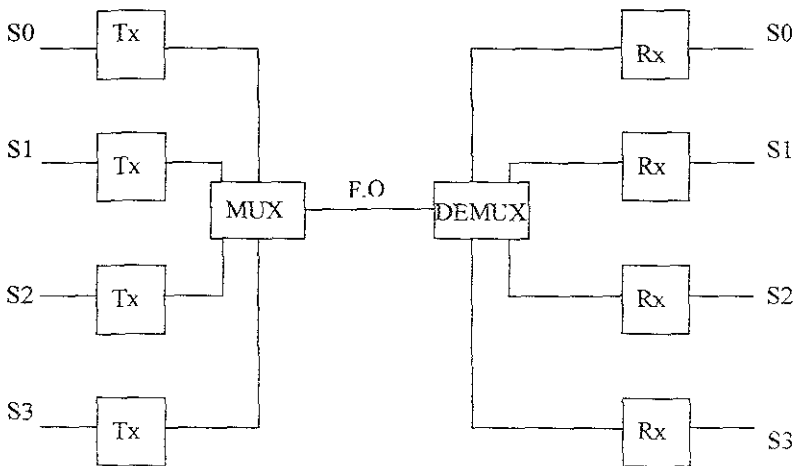
La multiplexación por división de longitud de onda permite realizar ambos tipos de topologías de transmisión.

La técnica de WDM para la transmisión unidireccional se basa en los procesos de multiplexación y demultiplexación de cada uno de los pulsos luminicos en diferentes longitudes de onda. En el proceso de WDM que se realiza en el transmisor, se acoplan las distintas señales ópticas en un mismo haz luminoso.

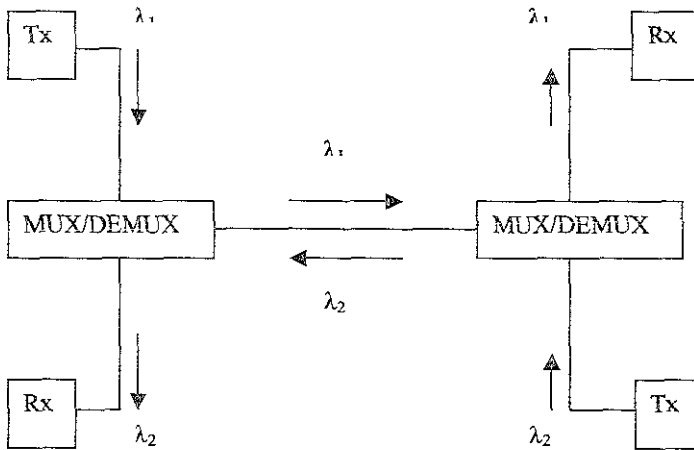
El acoplamiento en un haz luminoso se realiza en el multiplexor en longitud de onda, que es el equipo encargado de conformar el haz luminoso compuesto multiplexado en longitud de onda, que es el que se propaga unidireccionalmente por la fibra.

En el lado de la recepción se realiza el proceso inverso, es decir, la demultiplexación.

Los equipos que se emplean en dicha transmisión son; transmisores ópticos, receptores ópticos, multiplexores y demultiplexores ópticos. La siguiente figura muestra un diagrama de la transmisión unidireccional de cuatro señales ópticas distintas mediante WDM.



La técnica WDM para la transmisión bidireccional de varias señales ópticas se basa en acoplar y desacoplar en transmisión, lo mismo que en recepción. La metodología es la misma tanto para transmisiones unidireccionales, como para transmisiones bidireccionales. La única diferencia consiste en que para el caso de transmisión bidireccional se requiere de multiplexores y demultiplexores óptico en ambos extremos de la fibra. La siguiente figura muestra la transmisión bidireccional de dos señales ópticas distintas.



Para realizar una comunicación empleando la técnica WDM básicamente se requiere de:

1. Fuentes ópticas. Estos elementos convierten la señal eléctrica en energía luminosa y la emiten con diferentes longitudes de onda.
2. Multiplexores ópticos. Los multiplexores combinan la energía luminosa emitida por las fuentes ópticas para alimentarla a la fibra.
3. Medio de transmisión. Esta es la fibra óptica que lleva la información separada por longitud de onda.
4. Demultiplexores ópticos. Dispositivos que separan la energía luminosa que le llega a través de la fibra óptica por medio de la longitud de onda.
5. Foto detector. Este es el elemento que se encarga de hacer la conversión de energía óptica a señal eléctrica.

Para llevar a cabo la técnica de WDM existen tres tipos de elementos empleados como multiplexores / demultiplexores.

1. Rejilla de difracción
2. filtros de interferencia
3. prismas

Algunas de las características más importantes que deben cumplir los dispositivos empleados como MUX/DEMUX son:

- Bajas pérdidas por inserción
- Baja diafonía
- Facilidad de fabricación
- Fácil adaptación de conectores, para tener una transmisión directa
- Tamaño pequeño
- Alta confiabilidad

El empleo de un determinado tipo de multiplexor/demultiplexor (WDM/DWDM), depende del tipo de sistema. Los sistemas unidireccionales son sencillos, ya que solamente requieren de óptica para el acoplamiento hacia la fibra de los haces luminosos que emiten las diferentes fuentes, y dispositivos de dispersión para separar las longitudes de onda.

Cuando se trata de un sistema bidireccional se deben de tener WDM/DWDM, ya que en un sentido se deben transmitir un número de longitudes de onda, y en el sentido contrario se deben recibir señales ópticas de diferentes longitudes de onda.

La separación de los canales depende del tipo de fuente óptica. Con los LED se tiene una separación de 400 nm y con los láser la separación es de 4 a 50 nm, aunque experimentalmente se han obtenido separaciones de 1 nm, así mismo se debe tomar en cuenta la atenuación introducida en los distribuidores, que es normalmente de 0.8 a 1 dB.

Los sistemas WDM se emplean en redes locales, en telecomunicaciones de larga distancia (entre troncales), en telecomunicaciones de banda ancha, tales como videoteléfono, video conferencia, TV, audio etc.

Capítulo IV

Elementos necesarios para la conexión de una red óptica

La interconexión y acoplamiento de fibras ópticas con diferentes dispositivos para formar una red óptica, requieren de especial cuidado, ya que en una instalación se deben reducir al mínimo las pérdidas causadas por uniones de fibras ópticas. A continuación se presentan algunas características de los elementos empleados en la instalación de una red de fibra óptica.

Cables ópticos

Una fibra óptica, resultado del proceso de formación de fibras, se asemeja a un cabello largo; su diámetro exterior puede ser de 100 a 150 μm y puede utilizarse comercialmente en telecomunicaciones. Aunque teóricamente una fibra óptica tiene gran resistencia, sus propiedades ópticas y mecánicas se ven muy afectadas por el medio ambiente, de modo que, es necesario cablear la fibra para mantener estables sus características de transmisión y facilitar la instalación del enlace óptico. Un cable de fibras ópticas o cable óptico puede contener una sola o muchas fibras. El cable óptico debe asegurar un medio ambiente adecuado para las fibras y facilitar su manejo; por lo menos, de manera tan fácil como la de los cables metálicos clásicos.

Diseño de cables

Con el propósito de proteger, a las fibras ópticas, del manejo, uso y efectos del medio ambiente, las fibras se arman en cables.

El propósito es proteger la fibra óptica contra:

1. Abuso mecánico por impacto, aplastamiento, presión flexión o tensión, los cuales provienen de la instalación y del mantenimiento.
2. Temperaturas extremas.
3. Entrada de agua, que puede producir efectos de corrosión o tensiones debido a la congelación en algunas zonas o regiones.
4. Deterioro químico de los materiales de la camisa del cable.
5. Humo o gases venenosos que se generan en las aplicaciones plenas.
6. Deterioro y atenuación provocada por la radiación.
7. Daños producidos por los roedores en los cables enterrados y por animales acuáticos en los cables submarinos.

Las fibras ópticas deben disponerse en cables sin que sus características de transmisión se vean degradadas y se mantengan estables por toda la vida de diseño del cable, estimada en 30 años.

Todas las fuerzas ya sean radiales o axiales, actúan sobre la fibra óptica y por supuesto, cualquier momento de doblez provocará que las características de la fibra se desvíen. Para prevenir estos efectos, el diseño del cable debe aislar sustancialmente las fibras de las

fuerzas externas que actúan sobre los cables, o al menos, acojinar las fibras de manera que estas fuerzas no se conviertan en serias deformaciones.

La segunda consideración de importancia es la probabilidad de ruptura de la fibra.

Revestimiento para los cables de fibra óptica.

Existen cuatro tipos de revestimiento, los cuales son básicamente resinas epoxicas:

1. Termofraguado (tipo plástico) preparado para UV.
2. Termoplástico (resina sintética que al calentarse se ablanda y al enfriarse recobra su forma original) preparado con calor.
3. Termofraguado preparado con calor.
4. Combinaciones de los tres.

Estos revestimientos están disponibles en dos tamaños 250 y 500 μm . el revestimiento de 250 μm se utiliza generalmente para construir un separador en tubo holgado (de 1 a 3 mm), y el de 500 μm para cables con separador apretado (de 0'5 a 1 mm). El revestimiento más delgado mejora la resistencia a la compresión, la resistencia a la tracción y la resistencia a las pérdidas por dobleces.

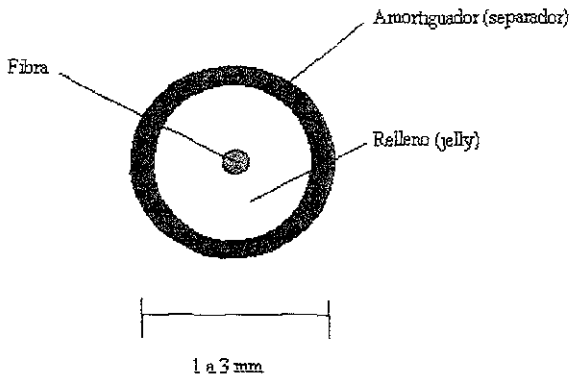
Estructuras separadoras de tubo

En el proceso de fabricación, hay dos posibilidades para el tipo de construcción de la estructura separadora de tubo.

1. Amortiguador apretado, que es comúnmente un plástico duro o semiduro, que se encuentra en íntimo contacto con la fibra recubierta.
2. Amortiguador de relleno, en el cual la capacidad sobredimensionada (vacía) del tubo extruído o ranura del cable se rellena con un compuesto resistente a la humedad para excluir la presencia de agua.

La estructura de tubo ajustado proporciona una mayor resistencia a la compresión y a la tensión. Sin embargo, aumenta la sensibilidad del cable a los efectos de las temperaturas extremas.

La configuración de tubo holgado (relleno) se utiliza principalmente en cables de fibra monomodo para minimizar las tensiones axial y longitudinal en la fibra durante la instalación o por la contracción térmica (o expansión). La estructura de tubo holgado también permite una mayor densidad de empaque de las fibras, En un tubo pueden acomodarse típicamente de 6 a 12 fibras.



Elementos de refuerzo

Para minimizar las características de elongación y contracción del cable, se le agregan elementos de refuerzo.

Las propiedades de estos se indican en la siguiente tabla:

Características selectas de los elementos tensores de los cables ópticos.

TIPO	CARGA DE RUPTURA, LB	DIAMETRO PULG	ELONGACION DE RUPTURA %	PESO LB/1000/PIE
Fibra de vidrio	480	0.045	3.5	1.4
Kevlar	944	0.093	2.4	1.8
Acero	480	0.062	0.7	7.5

Para aplicaciones interiores por lo general se acostumbra una capa de Kevlar que rodea el tubo primario que contiene la fibra. Para aplicaciones exteriores, aéreas o de enterramiento directo, el elemento estructural central es normalmente una combinación de acero, fibra de vidrio epóxica o Kevlar. Sirve como corazón alrededor del cual se trenzan las fibras amortiguadas.

Carga de tracción sobre el cable.

Para prevenir la generación de efectos permanentes en las propiedades de la fibra durante la instalación, la máxima fuerza de tracción debe limitarse alrededor de 182 Kgf (400lb). Esto debe ser adecuado para el cable y la mayor parte de las instalaciones en

ductos. Por ejemplo, una carga de tracción de 13 Kgf (29 lb) es la que se requiere normalmente para tirar de 1 Km de cable de 1.6 cm de diámetro a través de un ducto de múltiples curvas. Pueden utilizarse tubos de polietileno o lubricante para reducir la fricción entre la camisa del cable y las superficies interiores del ducto.

Por lo general, la carga en el extremo del cable del que se tira se hace cada vez mayor durante la instalación.

Tipos de cables

Los cables ópticos se dividen por su uso en:

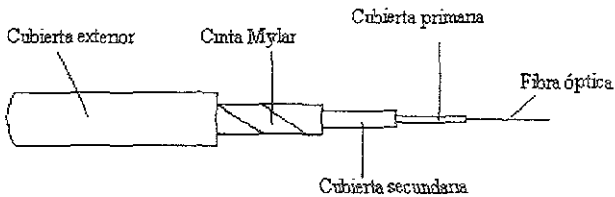
- Cables para interiores
- Cables para exteriores
- Cables especiales

Cables para interiores

Los cables para interiores son los que se usan dentro de los edificios o de la llamada planta interna, estos cables en general deben tener buena flexibilidad y ser no propagadores de la flama, por lo regular son totalmente dieléctricos y contienen una sola fibra.

Los cables monofibra nos sirven para interconectar equipo óptico (jumper óptico) ó bien los utilizamos para rematar las fibras del cable que llega del exterior (pig-tail) en un distribuidor de fibras ópticas.

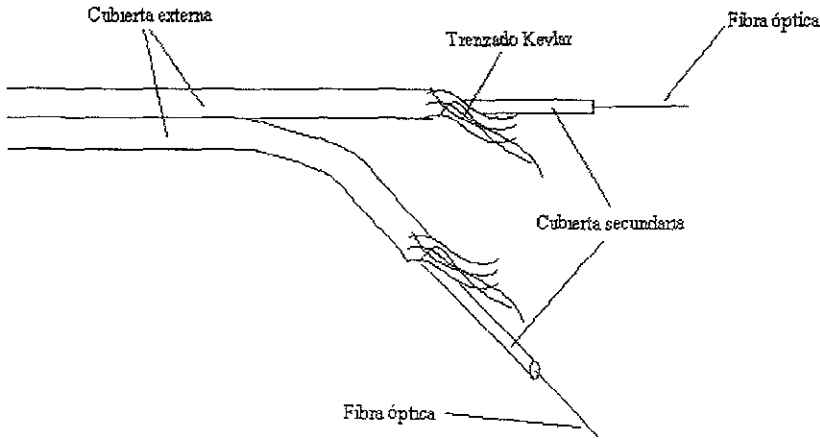
La construcción típica de este tipo de cables monofibra es como se muestra en la siguiente figura.



La siguiente tabla describe los componentes del cable monofibra para interiores.

COMPONENTE	DESCRIPCIÓN
CUBIERTA EXTERIOR	Esta cubierta es de PVC o de polietileno
CINTA MYLAR	Se usa como barrera térmica
ARAMIDA	Sirve como elemento de tensión transversal y longitudinal totalmente dieléctrico
CUBIERTA SECUNDARIA	Mide aproximadamente 1 mm de diámetro
GEL DE PETROLATO	Se usa como elemento inundante dentro de la protección secundaria para bloqueo de humedad.
CUBIERTA PRIMARIA	Mide aproximadamente de 250 μm de diámetro.
FIBRA ÓPTICA	Mide aproximadamente 125 μm de diámetro

Cuando lleva dos fibras (dúplex) su construcción es la de dos cables monofibra unidos por medio de una lengüeta en la cubierta externa.



ESTRUCTURA DE CABLES PARA INTERIORES

En los cables multifibra se da una infinidad de diseños caracterizados todos ellos en tener la cubierta externa de PVC antifuego, y en no llevar armaduras.

Cables ópticos para exteriores

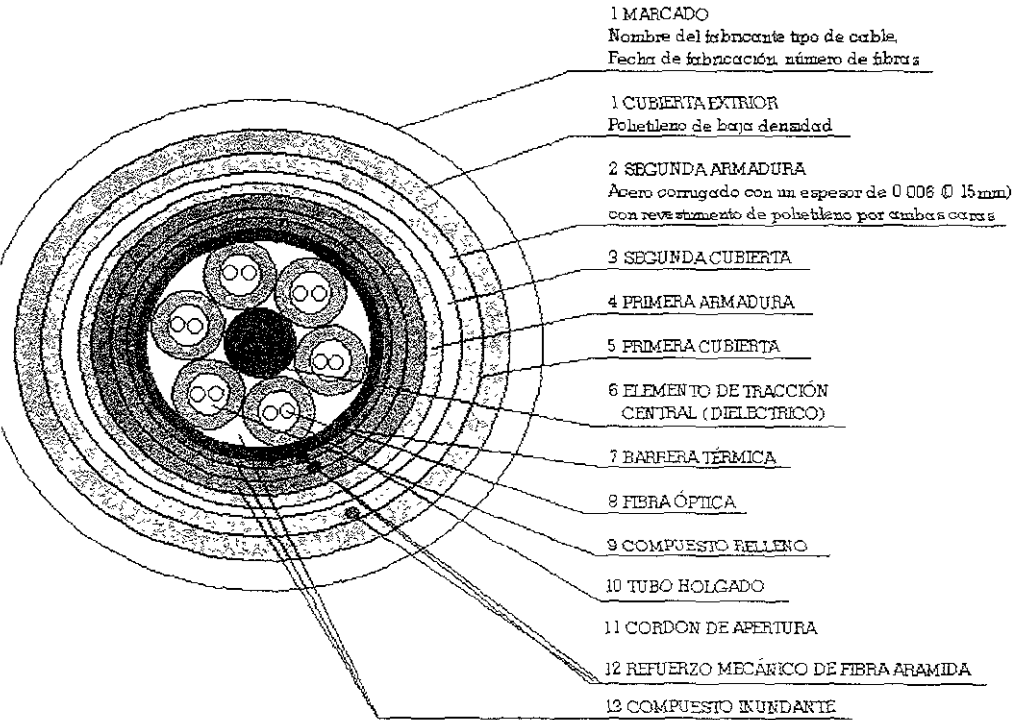
Los cables para exteriores son por lo regular cables multifibra en diferentes capacidades (6, 12, 24, 36, 48, 72, o más fibras ópticas).

Son diseñados para ser instalados en diferentes lugares como:

- En el aire
- Enterrado.
- Conducido por ducto.
- Bajo el agua.

Algunas consideraciones importantes para la instalación y el mantenimiento son: la facilidad de manejo, tiempo de empalme, operaciones de terminación, tiempo de reparación y estabilidad en las características de transmisión.

Los cables ópticos para exteriores tienen básicamente la siguiente construcción.



ESTRUCTURA DE CABLES ÓPTICOS PARA EXTERIORES

Cables especiales

Este tipo de cables se fabrican especialmente para satisfacer alguna demanda específica, con diferentes tipos de estructuras de acuerdo a su uso y condiciones de operación, por ejemplo:

- Cable de núcleo ranurado.
- Cable con elemento de tensión exterior.

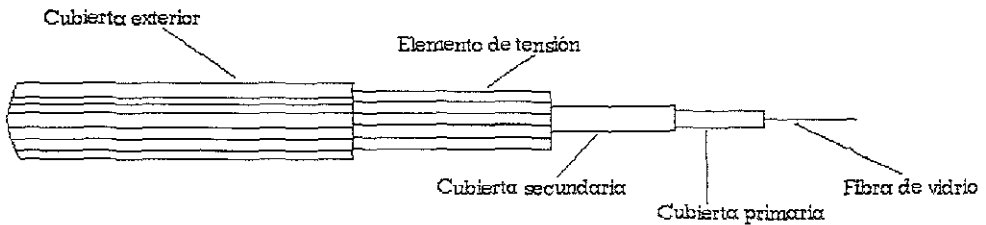
Cable de núcleo ranurado.

Este diseño incorpora al miembro central de tensión una cubierta plástica de gran espesor con ranuras en la periferia (de 6 a 12 ranuras) que van en forma helicoidal. En estas ranuras se alojan las fibras, estas fibras pueden ir con cubierta secundaria de tubo apretado, o bien, únicamente con cubierta primaria, pudiendo ir en cada ranura más de una fibra dependiendo de la densidad de fibras que requieren en el cable. Los espacios libres que no son ocupados por la fibra son llenados con jelly, y posteriormente encintados con mylar, formándose así el núcleo del cable.

La desventaja principal de esta estructura es que se obtienen cables con dimensiones mayores que con la de elemento central, ocasionando que su radio mínimo de curvatura sea más grande y el cable en general es un poco más fácil de preparar para labores de empalme y terminación.

Cable con el elemento de tensión exterior

Este diseño emplea un elemento de tensión externo, el cual envuelve a las fibras, estas pueden encontrarse reunidas por medio de una espiral de plástico, o bien unidas a una cinta plástica formando una estructura rectangular compacta.



ESTRUCTURA DE CABLE CON ELEMENTO DE TENSIÓN EXTERIOR

Las fibras ópticas pueden ir únicamente con cubierta primaria o con cubierta secundaria de tubo apretado. En general este tipo de diseño se emplea cuando se requiere

una muy alta densidad de fibras con dimensiones muy reducidas, o bien cuando requerimos una muy alta resistencia a la tensión.

Sin embargo, este tipo de estructura se emplea frecuentemente en los cables monofibra y dúplex que se usan para la interconexión a los equipos (pig tails y jumpers).

Sobre el miembro de tensión externo se colocan los demás elementos que conforman el cable (cubiertas, armaduras, barreras contra la humedad, etc.).

Cables de fibra óptica usados en TELMEX

Por su construcción los cables se clasifican en:

Identificación TELMEX	Características principales	Nº de fibras
TM1	➤ Núcleo de Tracción (Metálico o dieléctrico)	6
		12
	➤ Armadura sencilla.	18
	➤ Fibra óptica de	24
	➤ Dispersión Normal	36
		72
TM4	➤ Núcleo de Tracción (Dieléctrico)	6
		12
	➤ Refuerzo de fibra Aramida	18
	➤ Con doble armadura	24
	➤ Fibra Óptica Dispersión Normal	36
		72
TM7	➤ Núcleo de Tracción Metálico o no Metálico	6
		12
	➤ Armadura sencilla	18
	➤ Fibra Óptica de	24
	➤ Dispersión Corrida	36
		72
TM8	➤ Núcleo de tracción no Metálico	6
		12
	➤ Refuerzo de fibra Aramida	18
	➤ Con doble armadura	24
	➤ Fibra Óptica	36
		72
	➤ Dispersión Corrida	

- Los cables TM1 y TM4, contienen fibras ópticas monomodo de dispersión normal.
- Los cables TM7 y TM8, contienen fibras monomodo de dispersión corrida.

Los cables a utilizar, contienen tubos holgados con diferente capacidad de fibras ópticas en su interior.

A continuación se detalla la forma en que se distribuyen las fibras, dependiendo del año de fabricación y cantidad.

TM1

Las características de cables de fibra óptica tipo TM1 son los siguientes:

Numero de fibras	Numero de fibras por tubo y de relleno	de Diámetro cable (mm.)	del Peso aprox. (Kg/Km)
6	6 fibras / tubo y 5 de relleno	13.2	170
12	2 fibras / tubo	13.2	170
18	3 fibras / tubo y 3 tubos de relleno		
24	4 fibras / tubo y 6 fibras de relleno	14.9	220
36	6 fibras / tubo	14.9	220
72	12 fibras tubo	17.7	330

TM4

Las características de cable de fibra óptica TM4 son los siguientes:

Numero de fibras	Numero de fibras por tubo y de relleno	de Diámetro cable (mm.)	del Peso aprox. (Kg/Km)
6	6 fibras / tubo y 3 de relleno 6 fibras / tubo y 5 de relleno		
12	2 fibras / tubo	16.2	290
18	6 fibras / tubo y 3 tubos de relleno	17.3	310
24	4 fibras / tubo y 6 fibras / tubo		
36	6 fibras / tubo		
72	12 fibras tubo		

TM7

Las características de cables de fibra óptica tipo TM7 son los siguientes:

Numero de fibras	de Numero de fibras por tubo	de Diámetro del cable (mm.)	del Peso aprox. (Kg/Km)	Longitud del cable en carrete (m)
6	2 fibras / tubo y 3 de relleno	11.5	250	4200
12	6 fibras / tubo y 5 de relleno			
12	2 fibras / tubo	13.0	270	4200
18	6 fibras / tubo y 3 tubos de relleno	13.0	270	4200
24	4 fibras / tubo y 6 fibras / tubo			
36	6 fibras / tubo			
72	12 fibras tubo			

TM8

Las características de cable de fibra óptica TM8 son los siguientes:

Numero de fibras	de Numero de fibras por tubo	de Diámetro del cable (mm.)	del Peso aprox. (Kg/Km)	Longitud del cable en carrete (m)
6	6 fibras / tubo y 3 de relleno	13.5	330	4200
12	6 fibras / tubo y 5 de relleno			
12	2 fibras / tubo	15.5	350	4200
18	6 fibras / tubo y 3 tubos de relleno	18.0	370	4200
24	4 fibras / tubo y 6 fibras / tubo			
36	6 fibras / tubo			
72	12 fibras tubo			

Los cables de fibra óptica que se utilizan en Telmex contienen fibras monomodo de dispersión normal y de dispersión corrida, como se muestra en las tablas anteriores.

Fibra óptica monomodo de dispersión normal

Las características más importantes de la fibra óptica monomodo de dispersión normal, que se encuentra en los cables ópticos TM1 y TM4, se muestran en la siguiente tabla.

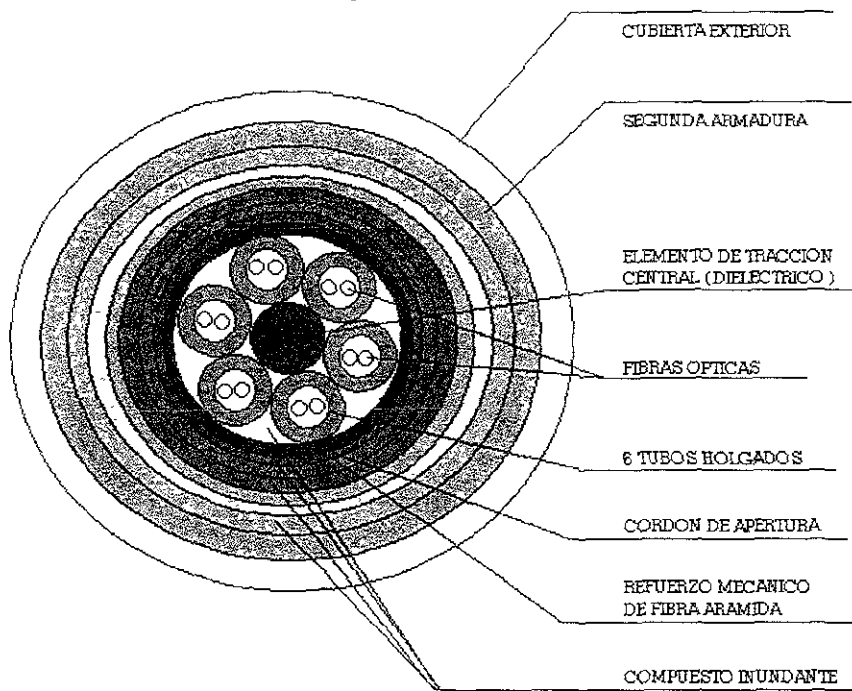
Características	Rango o medida
Atenuación	<0.4dB/Km @ 1300-1310 nm <0.3dB/Km @ 1550 nm
Longitud de onda de corte de fibra	1190 nm < λ_c < 1330nm
Diámetro del modo propagación	9.30+-0.5 μ m @ 1300nm
Longitud de onda de dispersión cero	1301.5nm < λ_o < 1321.5nm
Diámetro del núcleo	8.3 μ m
Diámetro del revestimiento	125.0 +- 2.0 μ m
No circularidad del revestimiento	<2%
Diámetro de protección primaria	250 +-15 μ m
Concentricidad de protección primaria	> 0.70
Índice de refracción	1470 @ 1300 nm

Fibra óptica monomodo con técnica de discreción corrida

Las características más importantes de la fibra óptica monomodo de dispersión corrida, en los cables ópticos identificados como TM7 y TM8, tienen las siguientes características:

Características	Rango o medida
Atenuación	0.25dB/Km @ 1550 nm
Longitud de onda de corte de fibra	1200 nm +- 100nm
Diámetro del modo propagación	8.10+-0.65 μ m @ 1500nm
Longitud de onda de dispersión cero	<2.7 ps (nm.Km) rango de 1525 a 1575nm
Diámetro del revestimiento	125.0 +- 2.0 μ m
No circularidad del revestimiento	<2%
Diámetro de protección primaria	250 +-15 μ m
Concentricidad de protección primaria	> 0.70
Índice de refracción	1470 @ 1550 nm

En TELMEX encontramos, cables para exteriores con la siguiente estructura



Este tipo de cable es llamado comúnmente, cable de tubo holgado, la capacidad varía de 6 a 72 fibras ópticas.

Para evitar confusión en el empalme de cables ópticos, es necesario identificar cada fibra de acuerdo a un código de colores.

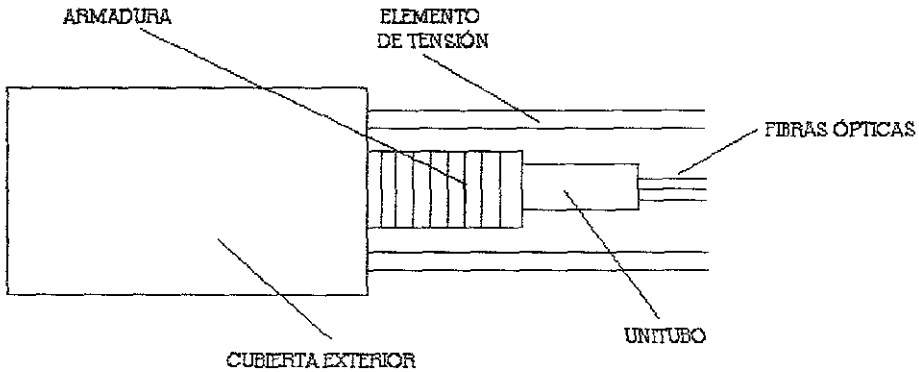
El código de colores varía dependiendo del fabricante y de la estructura del cable.

A continuación se muestra la tabla de código de colores, para los cables de tubo holgado.

Numero de Tubo	Color
1	Rojo
2	Azul
3	Blanco
4	Blanco
5	Blanco
6	Blanco

Cable unitubo

El cable unitubo es de pequeñas dimensiones debido a su estructura. Las principales partes que componen este cable se ven en la siguiente figura.



- Contiene dos elementos de tensión laterales, que le dan soporte y resistencia a la tracción longitudinal y transversal.
- Armadura de tipo corrugado para protección contra roedores.
- La cubierta secundaria consiste de un solo tubo holgado, con diámetro aproximado de 1 cm.
- Como bloqueo contra la humedad se utiliza gel de petrolato.
- En el interior de la cubierta secundaria, se encuentran las fibras ópticas con cubierta primaria e inundadas con gel de petrolato.

Nº DE FIBRA	LX. (A.T.&T)	UNITUBO AL CATEL
1	Gpo. Azul. Azul	Azul
2	Naranja	Naranja
3	Verde	Verde
4	Café	Café
5	Gris	Plata o Gris
6	Blanco	Blanco
7	Gpo. Naranja. Azul	Azul
8	Naranja	Naranja
9	Verde	Verde
10	Café	Café
11	Gris	Plata
12	Blanco	Blanco
13	Gpo. Verde. Azul	Azul
14	Naranja	Naranja
15	Verde	Verde
16	Café	Café
17	Gris	Plata
18	Blanco	Blanco
19	Gpo. Café. Azul	Azul
20	Naranja	Naranja
21	Verde	Verde
22	Café	Café
23	Gris	Plata
24	Blanco	Blanco

Cable óptico submarino

Los cables ópticos submarinos tienden a convertirse en el principal medio de telecomunicación de este siglo, pues proporcionan mayor seguridad que los satélites y las microondas, son inmunes a las interferencias y operan con mayores capacidades y velocidades de transmisión.

En diciembre de 1994 fue puesto en operación el Sistema Trasatlántico de Cable Submarino de Fibra Óptica Columbus II, por medio del cual Teléfonos de México proporciona a los clientes mayor confiabilidad y seguridad en sus comunicaciones de larga distancia internacional, con menores interferencias y mayor calidad, hasta el año 2015.

Este cable submarino es capaz de transmitir señales de voz, datos e imágenes, con una capacidad de 23 mil canales, lo que representa incrementos del 500% en capacidad y velocidad con respecto a los medios disponibles actualmente. Con ello se puede transmitir

Simultáneamente hasta 230 mil llamadas telefónicas y opera a una velocidad de transmisión de 565 Mb por segundo por cada fibra.

Su extensión total es de 12,200 Km. con puntos de amarre en Cancún, México, Estados Unidos, España, Portugal e Italia. Tiene una vida útil de 25 años y una confiabilidad de solo cuatro fallas de diseño en dicho lapso.

Desde junio de 1995 el 65% de tráfico internacional entre México y Europa que anteriormente se manejaba vía satélite, se transmite a través del nuevo sistema de cable submarino de fibra óptica Columbus II.

El Columbus II representa el más ambicioso proyecto multinacional impulsado por una empresa hispanoamericana para proporcionar servicios de transmisión avanzada y satisfacer las necesidades de comunicación desde ahora y en los próximos años.

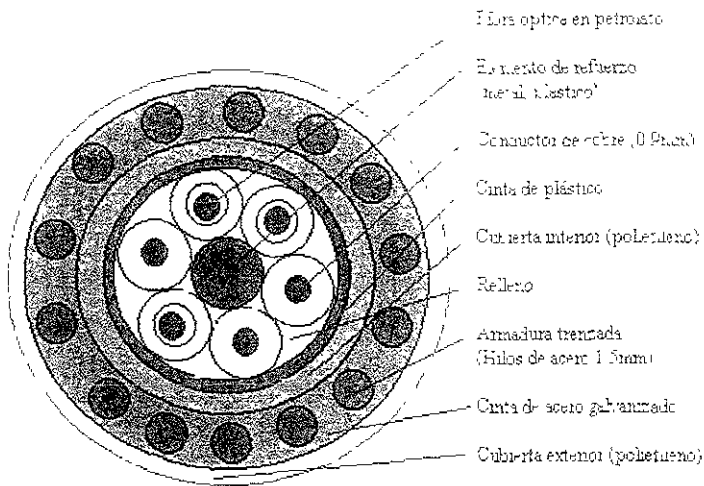
Estructura de los cables submarinos

Los cables submarinos requieren diseños apropiados a las exigentes condiciones mecánicas a que se ven sometidos. De hecho, la estructura del cable depende de que sea para aguas profundas o para la plataforma continental.

Se identifica un núcleo óptico (en este caso tres fibras) alrededor de un elemento central de refuerzo, este núcleo va encerrado dentro de un trenzado de hilos de acero y protegido por una cinta plástica y una cubierta de polietileno. Los hilos de acero se cubren con una cinta de acero, encima de la cual se aplica la cubierta exterior de polietileno.

La tabla reúne algunas características mecánicas exigibles para estos tipos de cables, distinguiendo entre aguas profundas y plataforma continental.

Parámetro	Cable para aguas profundas	Cable de plataforma continental
Resistencia a la tracción	9-11 TM	Casi 8 TM
Elongación máxima	$\leq 0.5\%$	$\leq 0.65\% - 0.5\%$
Radio de curvatura	$\leq 0.75\%$	$\leq 1.25\text{m}$
Carga lateral	$\geq 15 \text{ TM/m}$	$\geq 6 \text{ TM/m}$
Profundidad máxima	7-8000m	



ESTRUCTURA DEL CABLE SUBMARINO

COMPATIBILIDAD DE LOS EMPALMES Y CONECTORES ÓPTICOS

Los conectores son uniones removibles que frecuentemente se emplean para unir a los transmisores y receptores con la fibra óptica. Los empalmes son uniones permanentes que se emplean para unir secciones de fibra óptica. Las características más importantes que deben poseer, tanto los conectores como los empalmes son:

1. Tamaño compatible con las fibras ópticas
2. Alta confiabilidad
3. Atenuación pequeña, repetitividad grande
4. Vida media de los conectores compatible
5. Costo competitivo

Otro elemento pasivo importante que entra a formar parte de los enlaces de varios puntos es el acoplador direccional

Los acopladores direccionales se emplean fundamentalmente en redes locales implementadas con fibras ópticas o para propósitos de monitoreo, y pueden ser pasivos o activos de 4 o más terminales.

CONECTORES

Existe un conjunto de diferentes conectores tanto para fibra monomodo como multimodo. Entre los más usados están los bicónicos, de abrazadera de precisión, de lentes, de abrazadera y de plástico, etc.

Las atenuaciones típicas introducidas por diferentes conectores a las fibras multimodo (IG) y monomodo (MM).

CONECTOR	FIBRA	PÉRDIDAS	COLOCACIÓN
Abrazadera de alta precisión	IG	0.1 DB	En el lugar
	M	0.3 dB	
De lentes	IG	0.8 dB	Fábrica
Bicónico	IG	0.2 dB	En el lugar
	M	0.3 dB	
Bolas	IG	0.7 dB	En el lugar

Empalmes

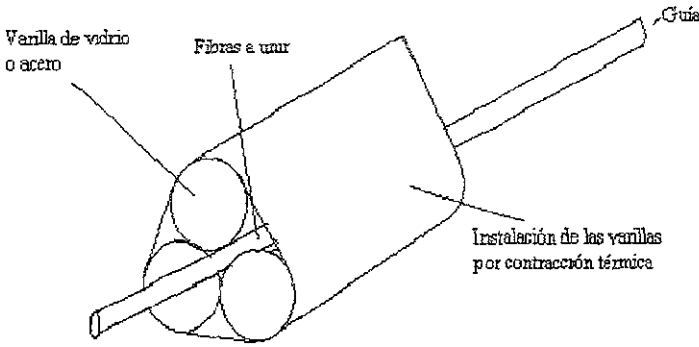
Existen básicamente dos técnicas de empalmes para los cables de fibra óptica: los empalmes mecánicos y los empalmes por fusión.

Empalmes mecánicos

Cuando se tienen enlaces de corta distancia donde se pueden tolerar pérdidas considerables se utilizan empalmes mecánicos, en los cuales las fibras son unidas a través de medios mecánicos, como ranuras en forma de "V", varillas (acero vidrio) o esferas.

El método de varillas es uno de los primeros métodos utilizados de empalmes mecánicos. Por lo general se utilizan tres varillas de acero o vidrio acomodadas según la figura 3.6, para que en el orificio central queden alineadas las fibras a unir.

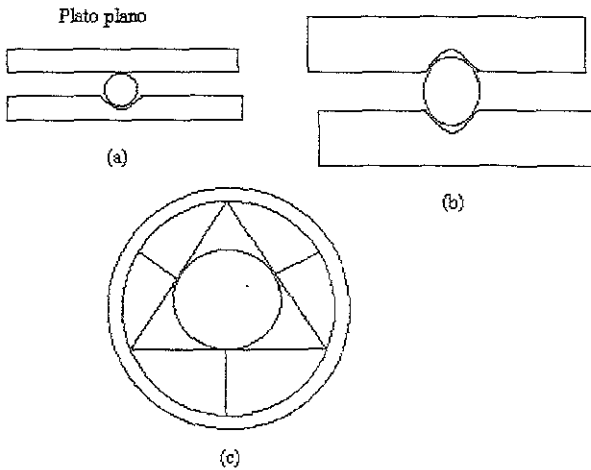
Se puede agregar una sustancia epóxica para adherir las fibras que además actúa como acoplador óptico. Las varillas son de diámetro mucho mayor que el de la fibra y deben tener dimensiones muy precisas con tolerancias menores a $0.04 \mu\text{m}$.



Se tienen otros tipos de empalmes utilizando cuatro y seis varillas, con lo cual se tienen más puntos de alineamiento y menor volumen de empalme.

El método mecánico más utilizado es el de ranura V, en el que las fibras ya cortadas y preparadas se colocan en ambos extremos de una ranura acanalada en forma de V, que alinea las fibras para su unión, y se agrega un adhesivo con un índice de refracción igual al núcleo de la fibra. La unión se logra mediante una tapa que sujete las fibras manteniéndolas en contacto.

El material acanalado puede ser silicón, plástico, material cerámico, acero o aluminio. Las fibras se unen en la mitad del canal y se ponen en contacto con la ayuda de bloques móviles, supervisando la unión ya sea a simple vista o con una lupa. Existen distintos tipos de empalme con el método de ranura "V" el más sencillo utiliza una tapa plana, como se muestra en la figura (a), también puede utilizarse una tapa con otra ranura



en "V", como se muestra en la figura (b), e inclusive existe un diseño con tres secciones

ranuradas, este ofrece una alimentación de la fibra en forma más precisa con la desventaja que requieren más piezas de precisión, lo cual eleva su costo figura (c).

Este método tiene la limitante de unir sólo fibras con diámetros de revestimiento iguales y con una alta concentricidad. Las ventajas del método son: su facilidad su rapidez de elaboración. La pérdida por empalme es de hasta 1dB.

Empalme por fusión

De los métodos no mecánicos el empalme por fusión es el más utilizado y consiste en aplicar calor en una zona específica entre las fibras a unir, suavizándolas y fusionándolas. Las fibras deben de prepararse precisamente en sus extremos quitándoles las cubiertas secundaria y primaria, cortando las caras de los extremos para que estén planas y perpendiculares al eje y limpiando la grasa y polvo. A continuación se monta ya sea en una base ranurada o en sujetadores controlados por microposicionadores accionados por motores o manualmente, con la libertad de poder moverse en las tres direcciones para obtener un alineamiento óptimo, supervisado mediante un microscopio.

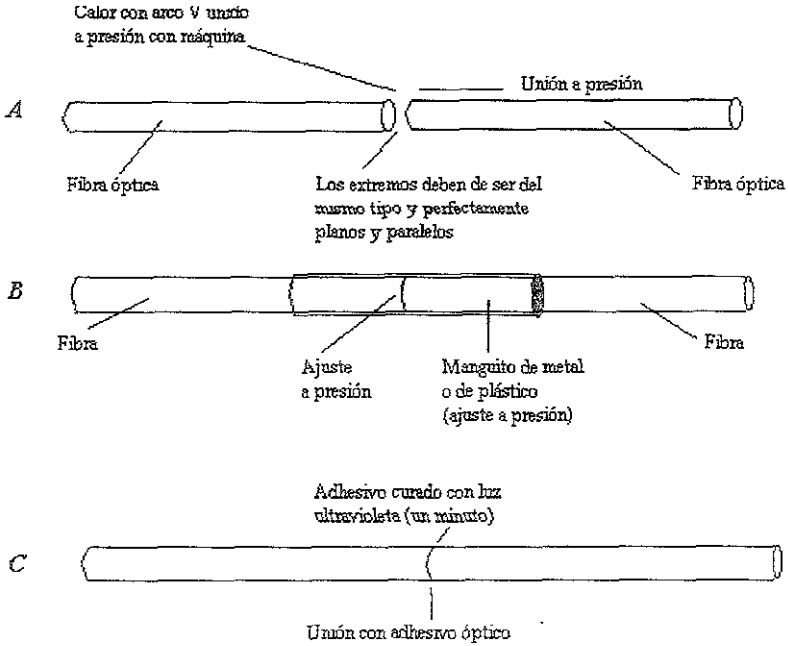
Cuando los extremos de las fibras presentan imperfecciones pueden generarse burbujas de aire y deformaciones del núcleo durante la elaboración del empalme. Para evitarlo, se hace una pre-fusión, la cual consiste en aplicar calor durante un lapso muy pequeño de tiempo, mucho menor que el de la fusión, con lo que se redondean los extremos suavizando su superficie, evitando con esto las imperfecciones. Para aplicar calor a la unión se utiliza principalmente un arco eléctrico aunque también se tiene fusión por gas. Para evitar movimientos indeseables de la fibra, ésta se sujeta por con sistema de bloques móviles y con sujetadores mecánicos.

El tiempo de fusión y el calor aplicado deben estar cuidadosamente controlados para obtener un empalme eficiente. Para la optimización de este método, se alimenta luz en un extremo de una de las fibras a empalmar y en la otra fibra se recoge la luz de la misma forma. Midiéndola y observándose que en donde la potencia óptica recibida sea mayor se tendrá la alineación óptima de las fibras. Este procedimiento puede efectuarse automáticamente sin intervención del operador.

Mediante el método de fusión se logran atenuaciones por empalme entre 0.2 y 0.1 dB, llegando a tener inclusive menos de 0.01 dB para fibras idénticas.

Para los empalmes en planta externa, independientemente del método utilizado, se utilizan cajas de empalme para proteger los empalmes del ambiente externo y al mismo tiempo tener acceso para efectuar algún mantenimiento sobre los empalmes cuando sea necesario. Son altamente resistentes a la humedad, a la corrosión, a esfuerzos mecánicos y a temperaturas extremas, lo cual garantiza duración en los empalmes.

En la siguiente figura se muestran tres métodos para empalmar fibras ópticas. En la parte superior (A) vemos el método de arco descrito anteriormente. Una máquina especial prepara los extremos de la fibra, suministra el arco y a continuación une ambos extremos por fusión molecular. Un manguito cubrirá el empalme, reforzándolo. En el centro (B) tenemos precisamente una unión por presión de dos fibras cuyos extremos han sido cuidadosamente cortados y son perfectamente planos y paralelos. Entonces, un revestimiento metálico cubre la cubierta y el plástico protector de la fibra y mantiene ambos extremos unidos. Este método no es tan bueno como otros, pues pueden existir tirones que separen las fibras. En la parte de abajo (C) se utiliza pegamento óptico para unir los extremos, y después el revestimiento metálico cubre el empalme para dar robustez a la unión.



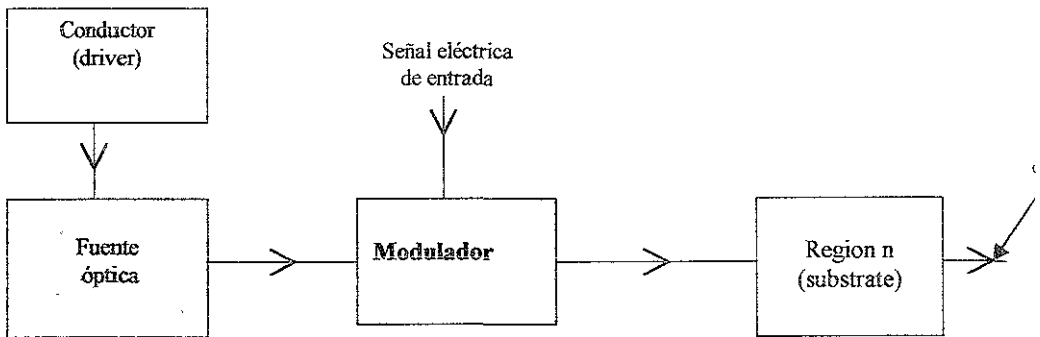
Métodos de empalme de fibras ópticas

CAPITULO V

ELEMENTOS DE UN TERMINAL OPTICO

Transmisores ópticos

La función de un transmisor óptico es convertir una señal eléctrica de entrada en la correspondiente señal óptica de salida que entra a la fibra óptica (canal de comunicación). La figura siguiente muestra el diagrama de bloques de un transmisor óptico. Este cuenta con una fuente óptica, un modulador y un canal acoplador.



Componentes de un transmisor óptico

En los sistemas de comunicación por fibra óptica a menudo se utilizan fuentes ópticas de semiconductores tales como Diodos Emisores de Luz (LEDs) y semiconductores lasers por sus ventajas inherentes tales como alta eficiencia, tamaño compacto, buena rehabilitación, rangos exactos de longitud de onda, pequeña área de emisión compatible con las dimensiones del núcleo de la fibra, y posibilidades de modulación a relativamente altas frecuencias. La señal óptica es modulada por la señal eléctrica obteniendo una onda portadora óptica. Aunque un modulador externo se usa algunas veces se puede prescindir de él debido a que la salida de la fuente óptica semiconductor puede ser modulada directamente por variación de inyección de corriente. El acoplador (coupler) es típicamente un microlens que enfoca la señal óptica sobre un plano entrante a la fibra óptica con la máxima eficiencia posible.

Fuentes ópticas

Entre las diferentes fuentes ópticas que existen, los diodos láser (LD) y los diodos emisores de luz(LED) son los únicos que satisfacen todos los requerimientos exigidos por los sistemas de telecomunicaciones. Actualmente, la instalación de sistemas de

comunicación por fibras ópticas se ha difundido ampliamente debido principalmente a dos factores: enorme capacidad de transmitir información y costo relativamente bajo. Esto es posible por el desarrollo de fibras de vidrio con bajas pérdidas y grandes anchos de banda; desarrollo de dispositivos ópticos de alta calidad y confiabilidad (fuentes ópticas LED, LD, detectores ópticos PIN y APD que más adelante se verán).

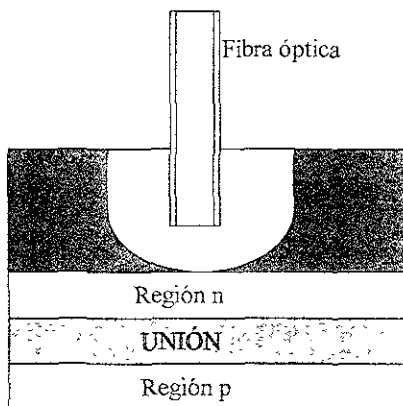
Materiales empleados para fuentes ópticas

Compuesto	Longitud de onda (1×10^{-6} m)	Energía (ev)
AlGaAs	0.8 a 0.9	1.4
InGaAs	1 a 1.3	1.4 a 1.55
InGaAs	0.9 a 1.7	0.73 a 1.35

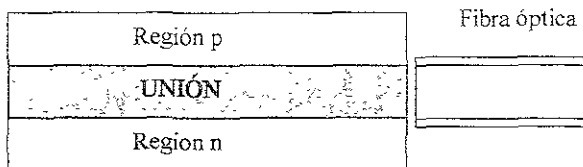
Diodos emisores de luz

Los diodos emisores de luz (LEDs) son fuentes de luz con emisión espontánea (no coherente), son diodos semiconductores p-n que para emitir luz se polarizan directamente, sus características son óptimas para operar en distancias cortas, además son resistentes a los cambios de temperatura y su vida útil es alta en comparación con los diodos láser. Los LED más usados son del tipo SLED y ELED.

SLED : Este tipo de diodos son construidos con una corrosión en el sustrato para evitar que los fotones se escapen. Una fibra es entonces insertada dentro de la abertura del sustrato para coleccionar la luz.



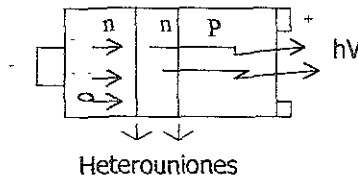
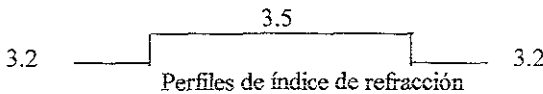
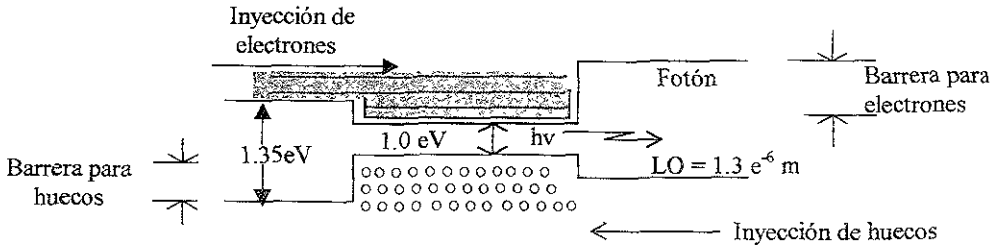
ELED : Este tipo de diodo emisor de luz fuerza a la luz para que escape por la cara axial del sustrato de unión entre la región p y la unión del diodo, por lo que la fibra se conecta en la parte lateral del de la unión como se observa en la siguiente figura.



Para la fabricación de diodos de alta eficiencia que acoplen suficiente energía es necesario que la recombinación electrón-hueco se realice en un área pequeña y que los fotones emitidos se radien en una misma dirección. Esto se logra confinando a los portadores de carga en un área pequeña con barreras de potencial y confinando a los fotones con perfiles adecuados de índices de refracción.

Lo anterior se logra con heterouniones, las cuales son uniones de semiconductores disímboles con diferentes niveles de energía y con índices de refracción diferentes.

Los diferentes niveles de energía crean barreras de potencial tanto para electrones como para huecos, como se muestra en la siguiente figura



Representación de una doble heterounión

Características de operación de los LED

La energía luminosa emitida por los LEDs es proporcional al nivel de corriente de polarización del diodo. Por lo tanto si el nivel de corriente de polarización varía en conformidad con una señal útil y la potencia emitida por el LED será proporcional a la amplitud de la señal.

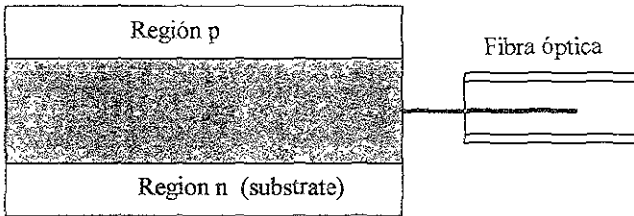
Los LEDs son dispositivos muy robustos y no requieren de circuitería de protección, lo anterior redundando en simplicidad y bajo costo de los transmisores.

Diodos láser

Los diodos láser(LD) son fuentes de emisión estimulada y contienen dos espejos semirreflejantes para formar una cavidad resonante, la cual sirve para realizar la retroalimentación óptica, así como elemento de selectividad de longitud de onda.

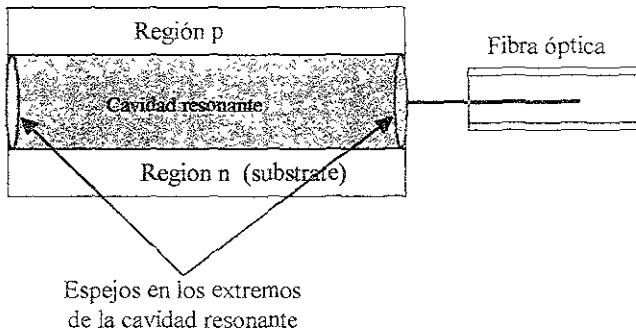
La estructura de un LD es muy similar a un LED. La diferencia fundamental consiste en que la emisión de un LD es siempre de perfil, y sobre éste, las superficies tienen características de espejos semirreflejantes. Cuando el diodo se polariza directamente se inyectan portadores a la zona activa donde se recombinan emitiendo espontáneamente fotones. Algunos electrones en la zona activa son estimulados a pasar a la banda de valencia emitiendo fotones cuya fase y frecuencia son idénticas con las fases y frecuencia de los fotones estimulantes.

La amplificación de la luz mediante emisión estimulada da como resultado una elevada potencia de salida óptica y mejor enfoque de la luz emitida, lo cual permite cubrir mayores distancias en la fibra. Los diodos láser tienen una cavidad resonante en el plano de la unión de las regiones n y p, como se observa en la figura.



Los tipos de diodos láser comúnmente empleados en los equipos terminales ópticos son los Fabri-Perot (FP) y los de Distribución de Retroalimentación (DFB).

Diodo láser FP : Este tipo de láser usa espejos en los extremos de la cavidad resonante lo cual produce un ancho espectral ($\Delta\lambda$) muy pequeño y en consecuencia, la variación de la longitud de onda emitida es mínima, provocando una disminución en las pérdidas por dispersión cromática.



Diodo láser DFB : Este segundo tipo de láser comúnmente utilizado reemplaza los espejos en los extremos con ondulaciones corrugadas que provocan la proyección longitudinal interior de la luz a lo largo de la unión del semiconductor.

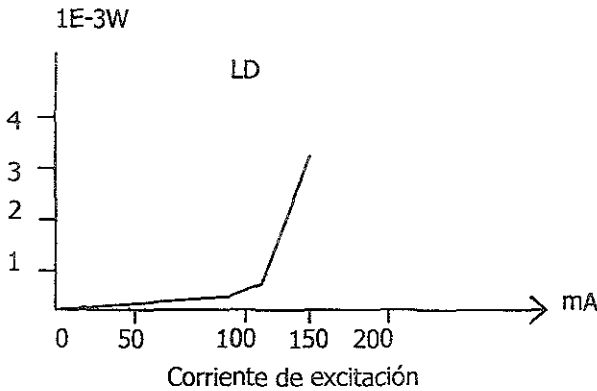
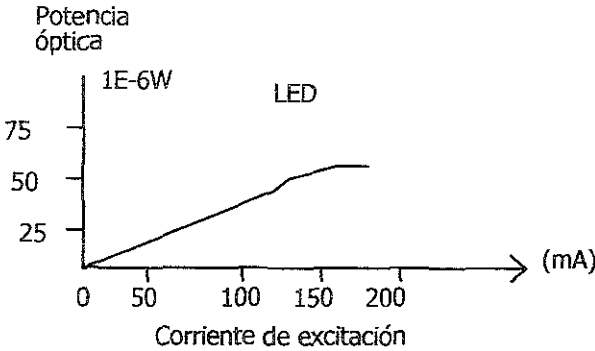
A continuación se muestra una comparación entre el LED y el LASER

CARACTERÍSTICA	LASER	LED
Nivel de potencia emitida	Potencia promedio de salida de 0.5 mW	
Emisión	Coherente	No coherente
Tiempo de conmutación	< 1ns	< 1ns
Eficiencia de acoplamiento	Baja pérdida de acoplamiento	Mayor pérdida de acoplamiento
Tipos y velocidades de modulación	Indicado para sistemas de alta velocidad de modulación y largas distancias	Se utiliza para velocidades de transmisión hasta cuarto orden jerárquico de 140 Mbps en distancias cortas
Longitud de onda	La longitud de onda empleada es de 1550 nm generalmente, ya que presenta la mínima atenuación.	Normalmente este tipo de fuentes emiten longitudes de 1300 nm
Sensibilidad a la temperatura	Sumamente sensible, requiere de monitoreo sistemático para mantener constante la potencia de salida	No es sensible a las variaciones de temperatura
Vida útil	Corta	Larga
Costo	Elevado en comparación con el LED	Bajo
Circuitería	Compleja	Sencilla

Transmisores ópticos

Las fuentes de luz para telecomunicaciones vía fibras ópticas deben ser compatibles con la fibra: pequeñas, fáciles de modular a velocidades utilizadas en los sistemas de comunicación y confiables. Dos tipos de fuentes de luz son compatibles para estas aplicaciones, los diodos emisores de luz (LED) y los diodos láser, como se vio anteriormente. La modulación se realiza variando la corriente de excitación, para lo cual se utiliza un circuito que proporciona una corriente modulada de niveles altos (10mA-100mA). Estos tipos de fuentes de luz proporcionan suficiente potencia óptica (.005 mW-25mW) para transmitir señales a través de las fibras ópticas a varios kilómetros.

En la selección de la fuente óptica compatible con la fibra deben de tomarse en cuenta varias características, tales como: su geometría, su atenuación como función de la longitud de onda, su distorsión de retardo y sus características modales. Cuando se decide seleccionar un LED o un LD se debe hacer un compromiso entre las ventajas y limitaciones de cada dispositivo.



Comportamiento de la potencia óptica contra corriente de excitación a) LED, b) LD

Circuitos de excitación

Los circuitos de excitación para las fuentes de luz mencionadas tienen como función, convertir el voltaje de la señal a transmitir en una corriente modulada con un valor pico adecuado a las características normales de operación de la fuente óptica que se use. Hay muchos circuitos que pueden utilizarse como excitadores de fuentes ópticas y cada uno

muestra ciertas características particulares, por lo que la selección de éstos depende del tipo de sistema (analógico o digital), y del tipo de fuente de luz(LED o LD).

Circuitos transmisores con diodos Láser

Un transmisor láser necesita un circuito de control que mantenga la potencia óptica de salida a un nivel constante. Otras características que debe satisfacer el transmisor son:

- Una razón de extinción (razón de encendido-apagado de los pulsos de luz) mayor o igual a 10 para prevenir una excesiva penalidad en la sensibilidad del receptor.
- Un tiempo de retardo entre la aplicación del pulso de corriente y la respectiva emisión del LD mucho menor que el intervalo entre bits.
- Una amortiguación completa de la oscilación de relajación de los pulsos de luz de salida, debido a la aplicación de los pulsos rápidos de corriente.

Detectores y Receptores ópticos

El propósito del receptor en los sistemas de telecomunicaciones por fibras ópticas, es extraer la información contenida en una portadora óptica que incide en el fotodetector. En los sistemas de transmisión analógica el receptor amplifica la salida del fotodetector y después la demodula para tener la información. En los sistemas de transmisión digital el receptor produce una secuencia de pulsos eléctricos(unos y ceros) que contienen la información del mensaje transmitido.

Fotodetectores

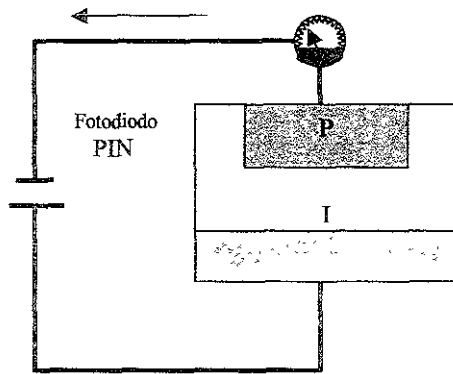
En los sistemas de telecomunicaciones por fibras ópticas, el fotodetector es un elemento esencial. Las características principales que deben tener son:

- 1- Sensibilidad alta a la longitud de onda de operación
- 2- Contribución mínima al ruido total del receptor
- 3- Ancho de banda grande(respuesta rápida)
- 4- Características estables respecto al medio ambiente
- 5- Dimensiones físicas compatibles con la fibra óptica

Existen básicamente dos tipos de fotodetectores de semiconductor, que se emplean en los receptores ópticos. El primero es comúnmente referido como fotodetector PIN, éste genera un sólo par electrón - hueco por fotón absorbido. El segundo se refiere como fotodetector de avalancha (APD), el cual presenta ganancia interna y genera más de un par electrón-hueco, debido al proceso de ionización de impacto, este proceso se llama ganancia de avalancha.

Los fotodetectores PIN, son los más comunes en los sistemas de transmisión por fibras ópticas se aplican en sistemas que requieren de baja velocidad y distancias cortas. Estos dispositivos se forman con una capa de material semiconductor ligeramente contaminado, llamada región intrínseca(i), la cual se coloca entre dos materiales de tipo

semiconductor, una tipo N y otra tipo P. Cuando se le aplica una polarización inversa al fotodetector, se crea una zona desértica (libre de portadores) en la región intrínseca (i) en la cual se forma un campo eléctrico. Un fotón que llegue a la zona desértica, con energía mayor o igual a la del material semiconductor, puede perder su energía y excitar a un electrón que se encuentra en la banda de valencia, para que pase a la banda de conducción. Este proceso genera pares electrón-hueco, que se les llama fotoportadores. El fotodetector se diseña para que la mayoría de los fotones se absorba en la zona desértica y se generen fotoportadores, los cuales se separan debido al campo eléctrico presente en esta región. La colección de los fotoportadores genera un flujo de corriente en el circuito externo del fotodetector, a la cual se le conoce como fotocorriente. Este tipo de fotodetectores permiten detectar señales ópticas en un rango de potencia de -20 a -25 dBm, sin embargo existen equipos que pueden trabajar con potencias mayores.

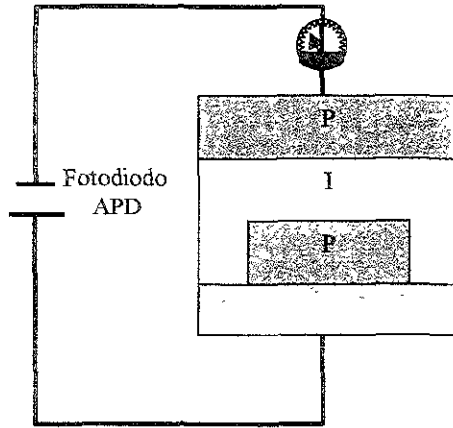


Por su parte los fotodetectores de avalancha (APD) son usados en aplicaciones donde se requiere de gran sensibilidad para largas distancias.

La estructura y operación del fotodiodo APD es muy similar a la del PIN, sin embargo no necesita de un amplificador FET en el modulo receptor, la ganancia interna se consigue mediante la aplicación de un voltaje elevado, de polarización inversa, a través del diodo de unión.

El voltaje produce un campo eléctrico elevado en la capa intrínseca del diodo. Un fotón incide sobre la región intrínseca del fotodiodo y es absorbido produciendo un par electrón-hueco. Un fuerte campo eléctrico aplicado a través del APD acelera al electrón producido. El electrón acelerado se desplaza a gran velocidad, chocando con otras moléculas y liberando otros electrones a su vez, los cuales se desplazan a alta velocidad. Este proceso se conoce como disrupción de avalancha. las desventajas de los APD son que requieren de voltajes elevados y son menos económicos que los PIN.

Los fotodiodos de avalancha empleados comúnmente permiten detectar señales ópticas con potencia dentro del rango de -20 a -35 dBm.



Receptores ópticos para sistemas de transmisión digital

Este tipo de receptores consiste básicamente de un fotodetector, una cadena de amplificación, un circuito de extracción de sincronía y un regenerador. La potencia óptica que incide en el fotodetector se convierte en señal eléctrica, la cual se amplifica para generar una señal de nivel suficientemente grande que pueda ser manejada por los circuitos subsecuentes (circuito recuperador de reloj y regenerador). La señal de salida del regenerador se codifica para ser la réplica del mensaje transmitido o para excitar una fuente de luz y retransmitir el mensaje.

El receptor óptico debe tener la máxima sensibilidad posible, el mayor intervalo dinámico, respuesta amplitud-frecuencia plana e introducir el mínimo de interferencia entre símbolos. También debe proporcionar en su salida un nivel de señal constante, con el fin de tener diferentes distancias entre repetidores y la versatilidad de utilizar fibras ópticas de diferente atenuación o transmisores con variaciones en el nivel de la potencia óptica de salida, además de poder absorber los problemas de envejecimiento de los componentes del equipo, así como los efectos causados por las variaciones de temperatura.

La señal de salida del receptor óptico se compara con un umbral en el periodo de un bit para determinar si existe o no pulso, si está presente un pulso significa que incidió luz en el detector. La probabilidad de que en la salida del receptor se presente un pulso, con nivel mayor al umbral en el intervalo de tiempo de un bit, cuando no le incide luz al fotodetector, más la probabilidad de que cuando haya incidencia de luz en el fotodetector y en la salida del receptor se presente un pulso menor al umbral en el intervalo de tiempo de un bit, se le llama probabilidad de error o tasa de error de bit (BER).

Para determinar la probabilidad de error se debe tomar en cuenta la estadística de la fotodetección (si el fotodetector es un APD, la estadística de la ganancia de avalancha), el ruido térmico del amplificador, la corriente de oscuridad, la corriente de fuga y la interferencia entre símbolos. La señal binaria sin codificación puede aplicarse directamente al enlace óptico, pero se dificulta la restauración del nivel de corriente directa, así como la sincronización

Preamplificadores ópticos

De los bloques que constituyen un receptor óptico, el preamplificador es el más crítico. Este debe convertir los niveles bajos de corriente que proporciona el fotodetector a niveles altos de voltaje de señal analógica o digital, con distorsión tolerable.

Los preamplificadores usados deben diseñarse y optimizarse tomando en cuenta diferentes factores, tales como: sensibilidad, intervalo dinámico, forma de la función de transferencia y ancho de banda.

Amplificador con control automático de ganancia

Los receptores de los sistemas de telecomunicaciones por fibras ópticas para distancias grandes de transmisión, sin repetidores o los que puedan usarse con una gran variedad de tipos de fibras, deben contener un amplificador con control automático de ganancia(CAG), con el objetivo de compensar las variaciones del nivel de potencia óptica que incide en el fotodetector, manteniendo el nivel constante de señal de salida del receptor, para hacer el funcionamiento de los circuitos posteriores al canal lineal del receptor(circuito de decisión, de extracción de sincronía o demoduladores) independientes a dichas variaciones. El amplificador con CAG puede tener una o varias etapas de amplificación de ganancia variable, con el fin de realizar las siguientes funciones:

- a) Compensar los cambios de atenuación por las diferentes distancias entre transmisor y receptor.
- b) Compensar los cambios de atenuación por el empleo de fibras ópticas de diferente atenuación.
- c) Compensar las variaciones del nivel de potencia óptica en la salida de los transmisores
- d) Compensar las pérdidas de los conectores y empalmes de las fibras ópticas
- e) Compensar las variaciones de la potencia recibida debido a fluctuaciones de temperatura.
- f) Compensar el envejecimiento del sistema.

Ya que todas las variaciones de potencia óptica referidas anteriormente tienen un carácter lento, el control automático de ganancia debe ser (inercial) del tipo retroalimentación negativa.

Regeneradores Intermedios

Para sistemas de comunicaciones que utilizan fibras ópticas como medio de transmisión existen tres posibilidades de amplificación y regeneración de la señal, siendo una electrónica y dos ópticas: el amplificador óptico semiconductor y el amplificador óptico con fibra impurificada con erbio (Er^3).

En sistemas de grandes distancias, se utilizan regeneradores intermedios que adecuan la señal óptica, atenuada debido a la distancia.

Regeneradores Opto-Electrónicos

La señal óptica entrante debilitada es convertida en una señal eléctrica en el regenerador, a continuación se regenera y amplifica para luego con una nueva conversión enviarla nuevamente en forma óptica. Es necesario colocar repetidores a intervalos regulares en el camino aproximadamente 80 Km, en los que la atenuación de la fibra haya reducido el nivel de la señal a un valor cercano al mínimo nivel que puede detectar el receptor.

Un regenerador intermedio contiene dos módulos regeneradores separados, uno por cada sentido de transmisión. Cada módulo regenerador consta, fundamentalmente de un receptor óptico y un transmisor óptico.

Los repetidores en los sistemas digitales regeneran la señal en vez de amplificarla. La regeneración implica un detector que determina el nivel lógico de cada bit en la entrada y transmite esta información a un generador que origina el nivel lógico correspondiente en la salida del regenerador. Dado que se genera una señal nueva cualquier ruido de la señal de entrada se elimina. La detección de los niveles lógicos de las señales de entrada se realizan mediante un detector de umbral. Este es un dispositivo que produce un nivel lógico 1 si la señal excede un voltaje umbral predeterminado, y un nivel lógico 0 si la señal de entrada no alcanza este valor.

REGENERADOR ÓPTICO

Actualmente los amplificadores ópticos con fibras impurificadas con erbio presentan grandes ventajas, por lo cual se invierten grandes cantidades de dinero para su investigación. Las principales ventajas que presentan este tipo de amplificadores con respecto a los electro ópticos son: su compatibilidad con sistemas de transmisión que usan fibras monomodo en la tercera ventana, su independencia del estado de polarización de la luz transmitida, bajas pérdidas debidas a la inserción del amplificador en línea, su gran ancho de banda y bajo ruido de amplificación, además de ser transparente a las alteraciones en las tasas de transmisión.

Este tipo de regeneradores a tenido una gran importancia debido a su compatibilidad con WDM. Por lo cual requiere de una atención especial y se comentaran más detenidamente en los capítulos subsecuentes.

CAPITULO VI

MEDICIONES Y PRUEBAS EN UNA RED OPTICA EMPLEANDO UN EQUIPO OTDR (OPTICAL TIME DOMINE REFLECTOMETER)

Una vez que se ha concluido la instalación del cable de fibra óptica se deben realizar ciertas pruebas antes de utilizar el terminal óptico. Dichas pruebas nos permiten evaluar las características del enlace, proporcionándonos datos tales como son:

- Longitud de la fibra
- Pérdida por retorno óptico
- Continuidad óptica del enlace
- Pérdida por empalme
- Pérdidas por conectores
- Pérdida lineal por tramo instalado
- Atenuación del enlace

Existen varios métodos para llevar a cabo dichas mediciones, pero actualmente uno de las más empleadas es el de retrodispersión, empleando el equipo OTDR.

Descripción del OTDR

El Reflectómetro Óptico en el Dominio del Tiempo (OTDR) es una herramienta útil para comprobar la integridad de un enlace de fibra óptica. Este tipo de equipo puede considerarse como un radar óptico unidireccional. El funcionamiento del equipo OTDR consiste en generar un pulso de luz coherente, el cual pasa a través de un divisor de rayos, y posteriormente se introduce dentro de la fibra óptica, el divisor de rayos se emplea para que el pulso no afecte al receptor.

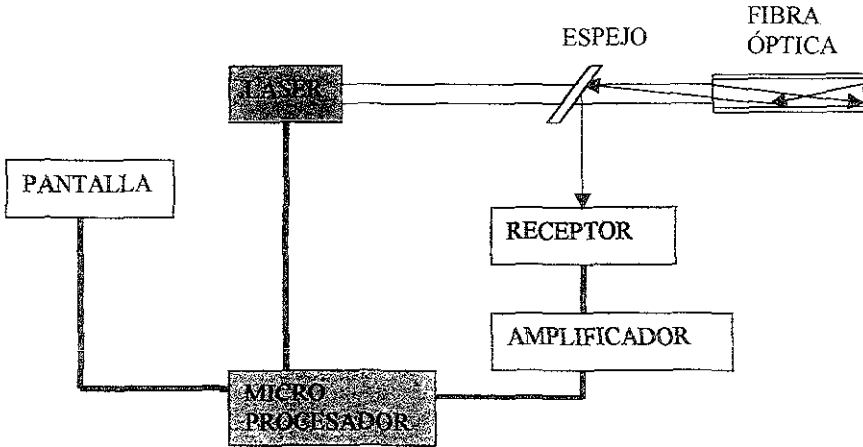
Al viajar el pulso de luz a través de la fibra sufre constantes retrodispersiones provocadas por curvaturas, empalmes, irregularidades, cortes, etc. Dichas retrodispersiones provocan pérdida en la potencia lumínica del pulso, lo cual causa su atenuación.

Cuando el pulso llega al extremo de la fibra ocurre el fenómeno de refracción, sin embargo, parte del haz es reflejado y regresa al equipo incidiendo sobre el divisor de rayos, el cual hace que el pulso llegue al foto receptor, el cual convierte la señal óptica en eléctrica, posteriormente se amplifica la señal y se introduce la información a un microprocesador para que la procese y despliegue los resultados en una pantalla.

Un equipo OTDR consta de las siguientes partes básicas:

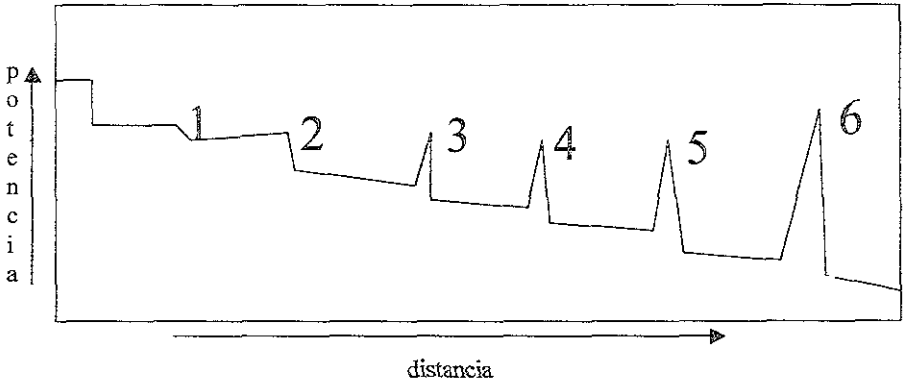
- *Fuente de emisión LASER
- *Espejo divisor de rayos
- *Foto receptor
- *Amplificador
- *Microprocesador
- *Pantalla

diagrama básico de un OTDR



El OTDR determina la potencia del pulso de retorno en función a la distancia, lo cual permite conocer cada una de las características antes mencionadas. Por tal motivo el equipo OTDR es útil para realizar pruebas en enlaces nuevos, y dar mantenimiento a enlaces para comprobar que no se han degradado con el paso del tiempo. Una de las tantas facilidades que brinda el OTDR es que en caso de que suceda un accidente y la fibra se corte, este equipo determina la distancia a la cual ocurrió el desperfecto.

La siguiente figura muestra la forma en que el OTDR muestra los resultados en la pantalla.

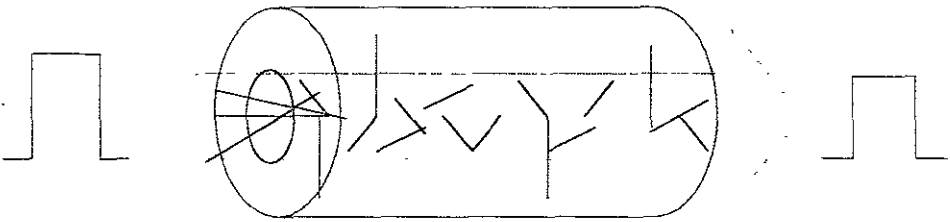


Donde:

- 1. empalme de fusión
- 2. dobléz
- 3. conector
- 4. empalme mecánico
- 5. fisura
- 6. extremo de la fibra

El OTDR es capaz de proporcionar información a cerca de las señales producidas intrínsecamente por la fibra, a este tipo de señales se les conoce como "backscatter". A medida que el pulso luminoso avanza en el interior de la fibra dicho pulso se ve atenuado debido al la dispersión de Rayleigh. Como se vio anteriormente este efecto es producto de pequeños cambios en el índice de refracción del material con el cual esta construida la fibra. Dichos cambios de índice de refracción ocurren a lo largo de toda la fibra óptica.

Una parte de la luz dispersada se regresa al equipo OTDR y de esta manera se calcula el "backscatter" en la siguiente figura se muestra el efecto que tiene este fenómeno en el pulso de luz.



Los equipos OTDR están provistos de detectores de alta sensibilidad, lo cual les permite detectar señales que se encuentran 40 o 60 dB por debajo de la potencia de la señal enviada. La medición del backscatter permite calcular las pérdidas ocasionadas por la dispersión de Rayleigh.

Para realizar las mediciones es necesario conocer algunos datos importantes tales como:

- Índice de refracción de la fibra óptica: este parámetro depende de las características de construcción de la fibra y es proporcionado por el fabricante.
- Cobertura del OTDR: este parámetro se refiere a la distancia que será capaz de mostrar en la pantalla el equipo.
- Rango dinámico: el rango dinámico determina el alcance máximo que tiene un OTDR al realizar mediciones en una fibra óptica. Cuando el equipo OTDR no tiene el suficiente rango dinámico, el nivel de backscatter alcanza el nivel del ruido. A medida que el backscatter se acerca al nivel de ruido la señal pierde definición y no es posible detectar los eventos menos significativos como los empalmes por fusión. Cuando se llega completamente al nivel de ruido las señales no son reconocibles.
- Zonas muertas: se llama zonas muertas a las longitudes de fibra que no pueden ser analizadas por el equipo debido a eventos reflectivos. Las zonas muertas son puntos ciegos ocasionados generalmente por conectores y empalmes mecánicos, los cuales producen reflexiones que tienden a saturar el receptor del OTDR.
- Ancho del pulso: es la duración en el tiempo que tiene el pulso de luz que es introducido a la fibra por el OTDR. El ancho del pulso tiene varios efectos sobre el funcionamiento del equipo, ya que es directamente proporcional al rango dinámico y a su vez, entre mayor es el ancho del pulso mayor es la longitud de la zona muerta, además determina la definición de las gráficas mostradas en la pantalla ya que un pulso largo con una cierta potencia pico tiene más energía que un pulso corto con la misma potencia, lo cual ocasiona que entre más ancho sea el pulso más significativa será la señal que es devuelta al equipo.

La siguiente figura muestra las ventajas y desventajas que se pueden generar a partir de la elección del ancho del pulso. En el cuadro (a) se muestra la pantalla obtenida cuando se introduce un pulso corto, la grafica permite analizar ambos empalmes, pero el ancho del pulso reduce el rango dinámico, lo cual ocasiona que no sea visible el final de la fibra. En el cuadro (b) se muestra la grafica obtenida al introducir un pulso de mayor duración, dicha grafica permite identificar plenamente el final de la fibra, pero ocasiona que la zona muerta sea tan grande que no permite analizar ambos empalmes mecánicos.

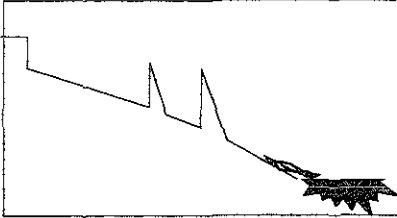


Fig. a

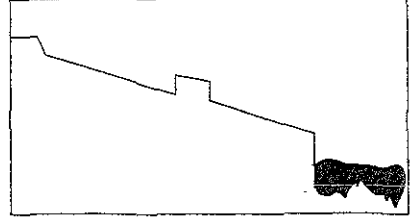
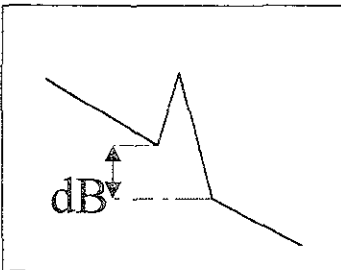


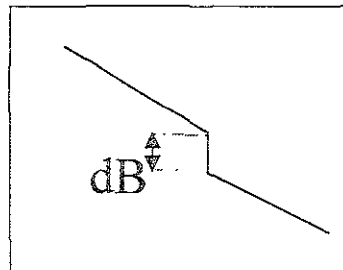
Fig. b

- Tiempo de promediación: se refiere al tiempo que hay que esperar para que el nivel de ruido decaiga y permita realizar mediciones más confiables. Los OTDR envían pulsos a determinado intervalo de tiempo, los resultados cada disparo se promedian para de esta forma en nivel de ruido disminuya a medida que transcurre el tiempo. Dicho tiempo de espera es de aproximadamente un minuto, ya que después de este tiempo las mejoras son prácticamente imperceptibles.

Los elementos y fenómenos tales como dobleces presentes en un enlace de fibra óptica producen pérdidas, pero además de las pérdidas, algunos de ellos como los empalmes mecánicos, los conectores y las fisuras en la fibra producen reflexiones. En cambio los empalmes por fusión y los dobleces en la fibra solo producen pérdidas y no producen reflexiones. Los OTDR grafican con un pico de Fresnel seguido de una atenuación a todos los elementos o fenómenos que producen reflexiones, y con una caída vertical en la potencia a los fenómenos no reflectivos. Ambos tipos de eventos se muestran en la siguiente figura.



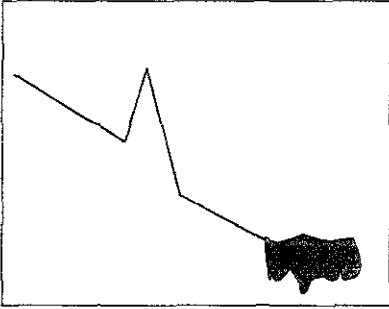
Evento reflectivo



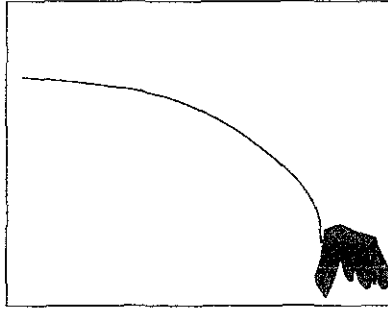
Evento no reflectivo

Identificación del fin de la fibra óptica

El final de un enlace podría confundirse con una ruptura de la fibra, sin embargo se puede diferenciar entre ambos debido al tipo de corte que se produce, es decir, si efectivamente se trata del final de la fibra óptica el corte es perfectamente perpendicular o bien se ha instalado un conector el cual se encuentra cortado y pulido, lo cual produce un efecto altamente reflectivo. En cambio, si el extremo de la fibra se encuentra quebrado es posible que la irregularidad de la superficie disperse la luz y no produzca reflexión, o bien la reflexión es mucho más pequeña que en el caso de un corte perpendicular.



Grafica de un extremo con corte perpendicular o un conector.



Grafica de un extremo con corte irregular.

En forma general los datos que proporciona el OTDR son suficientes para realizar las mediciones necesarias en un enlace de fibra óptica, tales como longitud de la fibra óptica, atenuación de un enlace, atenuación de empalmes, etc.

Capítulo VII

INTERCONEXIÓN DE LA RED FIJA CON LA RED MOVIL

Sin importar que en un futuro se logre la creación de una red de telecomunicaciones basada en fibra óptica con todas las cualidades y ventajas que esto representa, existe un tipo de usuarios a los cuales esta red no será capaz de satisfacer sus necesidades, este grupo de usuarios esta conformado por la gente en movimiento, los cuales requieren de comunicación a todas horas y en el lugar en que se encuentren.

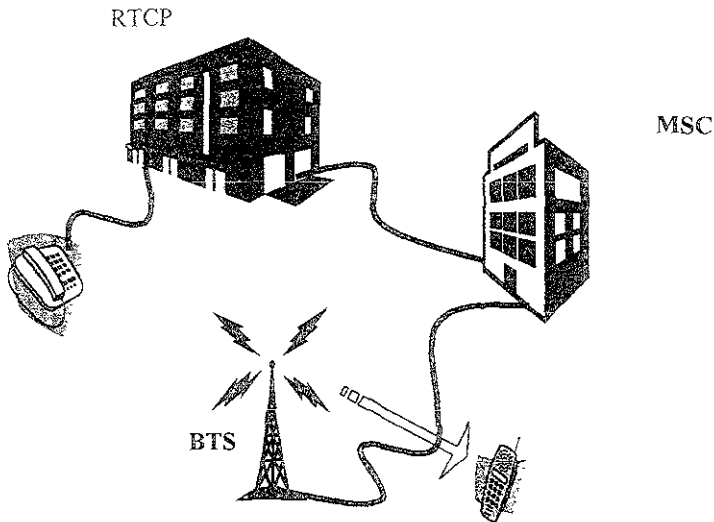
Actualmente existen dos tipos de servicios que proporcionan comunicación móvil de buena calidad, los cuales son: la telefonía celular y los enlaces satelitales.

Telefonía celular: Un sistema de telefonía celular esta compuesto esencialmente por:

- Central de telefonía celular MSC (Mobile Service Center). El centro de comunicación móvil es la parte más importante de un sistema celular, ya que controla todo su funcionamiento. Algunas de sus tareas son; manejo y control de cada uno de los otros elementos del sistema, es decir, radio bases, unidades móviles y enlaces. Establecimiento y supervisión de llamadas en las que intervienen suscriptores celulares. Elaboración, procesamiento y almacenamiento referente al los números de suscriptor, duración de la llamada, origen y destino etc. Da soporte a funciones de radio al manejar; solicitudes de actualización de ubicación del cliente, administración de la movilidad de manera transparente para el cliente (handoff), control de la movilidad aleatoria del cliente (roaming) entre otras. Además es la encargada de proporcionar facilidades tales como; transferencia de llamada, llamadas en espera, correo de voz, etc. Otras de sus funciones son; administración de varios elementos de red tales como tarificación, enrutamiento y mediciones de trafico, así como funciones de seguridad en contra de accesos ilegales a la red.
- Radiobases o Estaciones base: su función básica es comunicar a al central con todas y cada una de las unidades móviles que se encuentran dentro de la cobertura del sistema. Cada radiobase y de acuerdo al tipo de cobertura da servicio a una o más áreas denominadas células, las cuales en función a su tamaño se denominan: Macro células, Micro células y Pico células.

- Teléfonos celulares (equipo terminal) Existe una gran variedad de diseños, pero se distinguen las siguientes categorías:

Estaciones montadas sobre vehiculos
 Estaciones portátiles de bolsillo
 Estaciones fijas (complementan la telefonía fija en zonas de difícil acceso)



En un sistema de comunicación celular, las llamadas viajan sobre ondas de radio a estaciones estratégicamente situadas en una zona geográfica dividida en pequeñas células cuyos radios oscilan entre 1.5 y 15 Km, en cada célula hay una estación básica de baja potencia conectada al receptor transmisor de una estación central de conmutación que se encarga de conectar la señal de radio a la red telefónica pública. Además pasa la señal de un receptor a otro a medida que el vehículo viaja de célula a célula. Una computadora central localiza automáticamente la ubicación de cada teléfono móvil, asigna los usuarios a los canales radioeléctricos disponibles en determinada célula.

Actualmente gracias a la introducción de tecnología digital los sistemas celulares también se emplean para transmitir datos y videotexto. La mayoría de las actuales redes de telefonía celular operan en frecuencias entre 800 MHz y poco menos de 1 GHz, con unos 200 MHz de ancho de espectro

Satélites: el satélite es uno de los medios de comunicación más sofisticados y más caros. Los satélites varían abundantemente en características como en funciones. Su peso varía entre 50 y 200 Kg. Tienen capacidades para manipular de forma simultanea de 250 a 40000 comunicaciones. Su tiempo de vida útil varía de 1.5 a 10 años.

Un satélite está compuesto fundamentalmente por un cuerpo cilíndrico, donde se albergan todos los equipos no solo de comunicación, sino también de navegación. A forma de brazos se encuentran los paneles solares dirigidos hacia la luz del sol, dichos paneles son capaces de generar 2000 Watts o más en caso de ser necesario.

Un satélite de comunicaciones esta integrado por subsistemas con funciones específicas.

- Subsistema de antenas
- Subsistema de energía
- Subsistema de control térmico
- Subsistema de posición y orientación
- Subsistema de propulsión
- Subsistema de rastreo, telemetría y comando
- Subsistema de comunicaciones

En la parte de comunicaciones se definen circuitos de conmutación de frecuencia de subida (tierra satélite) y de bajada (satélite tierra) denominados transponder's, estos circuitos se encargan de recibir y amplificar la señal de subida, y luego conmutarla a la frecuencia de bajada con mayor potencia.

Los satélites de comunicaciones se emplean para dar servicios de voz, datos, televisión, de navegación aérea, terrestre y marítima, climatológicos, de análisis de suelos, militares, etc.

Tipos de satélites:

Geoestacionarios: son los que requieren de mayor precisión y los más costosos en cuanto a su tecnología y a su puesta en orbita, su mayor ventaja es que se mantienen fijos respecto de la estación terrena por lo cual no se requiere una computadora de rastreo, no existen interrupciones en la transmisión, ya que siempre esta en línea de vista, y dada su altura, su área de cobertura es muy amplia.

No-Geoestacionarios

Estos satélites giran alrededor de la tierra a diferente altura de la orbita geoestacionaria, su principal función es la de proporcionar una plataforma en una orbita para el relevo de voz, datos y video entre dos estaciones terrenas. se dividen en LEO (Low Earth Orbit) satélites de orbita baja, MEO (Medium Earth Orbit) de orbita media, y los HEO (Elliptic Earth Orbit) satélites de orbita elíptica

Características de los distintos tipos de satélites

Tipo de satélite	Geoestacionarios		No geoestacionarios	
Clasificación		LEO	MEO	HEO
Altura (Km)	36,000	150 a 500	9,000 a 18,000	5,000 a 36,000
Periodo de rotación	24 horas	1.5 horas	5 a 12 horas	
Tiempo de línea de vista sobre la tierra	24 horas	15 minutos	2 a 4 horas	
Tipo de órbita	Circular, estacionaria, ecuatorial	circular	Elíptica-polar	
Servicios	Voz, datos, video	Voz, datos, radiolocalización	Comunicaciones sobre regiones polares	

Ventajas y desventajas de los enlaces satelitales

La más grande ventaja de la transmisión satelital es su alcance orográfico, insensible a irregularidades de montañas, ríos, quebradas, etc. La transmisión satelital puede llegar a cualquier punto del globo terráqueo sin ningún problema, además de soportar un gran número de comunicaciones de manera simultánea. Sin embargo este tipo de comunicaciones también presentan desventajas, sobre todo relacionadas con las condiciones atmosféricas, las cuales pueden dañar severamente la calidad final de las comunicaciones. Otro aspecto negativo es el retardo que sufren las comunicaciones debido al tiempo que tardan los datos en subir y bajar, por ejemplo un bit que sube a un satélite geoestacionario debe recorrer una distancia de aproximada de 70,000 Km si consideramos que su velocidad es cercana a la velocidad de la luz (300,000 Km/s) dicho bit tardara 0.23 segundos en subir y bajar, si consideramos que un byte asíncrono está compuesto por 10 bits, resulta un retardo de 2.3 segundos por byte, por su puesto gracias a las avanzadas técnicas de multiplexación y compresión de información las comunicaciones satelitales están sofisticadamente mejoradas.

Sistemas de comunicaciones personales(PCS)

La comisión federal de las comunicaciones en Estados Unidos define PCS como "un sistema por el cual cada usuario puede intercambiar información con alguien a cualquier hora, en cualquier lugar, a través de algún tipo de dispositivo y usando un único número", como está existen otras definiciones, pero en general todas convergen hacia el mismo concepto, cuyas características más relevantes son la integración de radiolocalización, la telefonía móvil y la telefonía local inalámbrica dentro de una nueva generación de telefonía celular digital, utilización de un único terminal, un único número de identificación de usuario, facilidades de interconexión de los usuarios tanto a la red pública como a la red inalámbrica sin ningún tipo de limitación.

De acuerdo a la banda de operación y la cantidad de espectro asignado existen dos grandes grupos PCS.

PCS Banda Estrecha: operan en la banda de 900 MHz y utilizan 50 KHz por licencia. Este grupo incluye todos los servicios basados en texto como los paging o bien servicios de correo de voz, es decir mensajería que no requiere de tiempo real.

PCS Banda Ancha: opera en la banda de 1900 MHz y son asignados 50 KHz por licencia. Este grupo se encarga de la telefonía digital celular y telefonía básica inalámbrica, es decir servicios de comunicación en tiempo real. Adicionalmente, los PCS de banda ancha tienen la capacidad de interconexión con otras redes telefónicas, así como también con asistentes digitales personales, permitiendo enviar y recibir datos y mensajes de video en forma inalámbrica.

Otro sistema de comunicaciones personales es el GSM (System for Mobile Communications) actualmente este sistema se emplea para transmitir datos a muy baja velocidad, sin embargo se esta trabajando para proporcionar en corto plazo en una nueva generación de GSM, conocida como GSM phase 2+, y a largo plazo un proyecto mucho más ambicioso, la tercera generación UMTS (Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles). Con GSM phase 2+ serán plenamente operativas aplicaciones como telefonía móvil, acceso a internet, videoconferencia, y otras muchas.

La tercera generación denominada UMTS evoluciona para integrar todos los servicios ofrecidos por las distintas tecnologías y redes actuales GSM, TACS, DECT, RDSI e Internet, utilizando cualquier tipo de terminal, teléfono fijo, inalámbrico o celular, tanto en un ámbito profesional como doméstico ofreciendo una mayor calidad de los servicios y soportando la personalización por el usuario y los servicios multimedia móviles en tiempo real. La velocidad de transferencia de datos que la UIT requiere en su solución IMT-2000 es de:

- 144 Kbps sobre unidades vehiculares.
- 384 Kbps para usuarios móviles
- 2 Mbps sobre terminales fijas

Refiriéndonos a las velocidades que pretenden alcanzarse en aplicaciones para terminales fijas, resulta evidente la imperiosa necesidad de contar con un medio de transmisión físico que sea capaz de proporcionar grandes anchos de banda y altas velocidades de transmisión. Actualmente el único medio capaz de proporcionar dichas facilidades es la fibra óptica, por lo cual resulta evidente que en la medida en que se desarrollen las tecnologías de fabricación de fibras ópticas y de transportación de datos a través de ellas se logran avances significativos en todos los ámbitos de las comunicaciones, incluyendo los sistemas de comunicaciones personales.

En lo referente a la tercera generación (UMTS/IMT-2000) se pretende ponerlo en funcionamiento a partir del año 2005, aunque algunas fases se pondrán en marcha mucho antes, incluso algunas de ellas ya están en marcha. El UMTS/IMT-2000 será 100% digital, proporcionará difusión global y permitirá disponer de una gran variedad de servicios con capacidad multimedia y acceso a internet. Esta tercera generación operará en la banda de 2 GHz y estará basada en WCDMA.

Convergencia

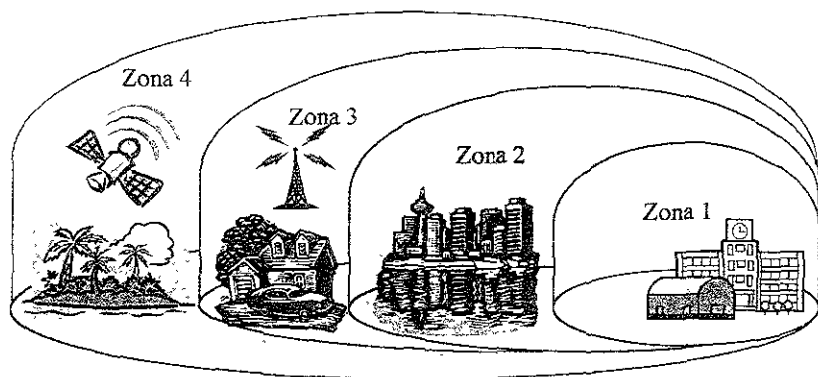
Actualmente se emplean cuatro herramientas básicas para trabajar con la información, el teléfono fijo, el móvil, la computadora personal y la televisión. Cada una de estas herramientas tiene sus propias redes y suministradores. El reto de la convergencia es lograr organizar a la industria de la tecnología de la información para lograr que las distintas redes de comunicación que existen en la actualidad logren integrarse en una gran red, a la cual el usuario pueda acceder de manera sencilla para obtener los servicios y productos deseados a través de una amplia variedad de caminos.

Convergencia fijo/móvil

Las comunicaciones fijas y móviles es un área donde las redes ya han convergido. Hoy en día no hay grandes diferencias entre una central fija y una móvil y ambos conmutadores utilizan la misma red inteligente. Sin embargo el deseo de independencia entre operadores móviles a impedido que se ofrezcan servicios únicos en los cuales sea transparente el uso de ambas redes. Este tipo de servicios son los que se pretenden brindar con los servicios GSM. De esta forma cuando el usuario se encuentre en casa o en la oficina se conecta su teléfono a una estación base de CTS, y cuando se encuentre en el exterior a la red celular móvil. La estación base se conecta a una red digital o a una red analógica fija, mientras que la conexión a la red móvil se llevará a cabo a través de la interfaz de radio GSM. Para lograr esto se requiere que el corazón de la red telefónica esté soportado por la tecnología de red inteligente, la cual a su vez también integrará y armonizará las funciones de tarificación.

De esta manera la integración del IMT con la red RDSI de banda ancha implica una conexión flexible en términos de servicios, señalización y funciones soportadas. Entonces podemos decir que el IMT es una red totalmente integrada, y no una red superpuesta para la explotación de la misma (como los sistemas celulares actuales).

Arquitectura del sistema IMT



zona	Tipo de zona	Tipo de célula
1	Intra muros	Pico célula
2	Urbana	Micro célula
3	Suburbana	Macro célula
4	Global	Geocélula

Como es de esperarse, la red fija atenderá en la medida de lo posible las conexiones entre las BTS de los sistemas móviles, y en su caso la conexión final con el usuario. Para lograr esto se requerirá de enlaces que sean capaces de soportar los millones de llamadas simultáneas que se efectuarán en dicha red, de tal forma que dichos enlaces deberán ser necesariamente basados en tecnologías ópticas, ya que dichos enlaces requerirán de grandes anchos de banda para la transmisión de datos y video que se pretende ofrecer en un futuro no muy lejano.

CAPITULO VIII

¿PORQUÉ SON LAS REDES ÓPTICAS UNA OPCIÓN VIABLE PARA SATISFACER LAS ACTUALES Y FUTURAS NECESIDADES DE LAS TELECOMUNICACIONES?

A medida que se avanza en la creación de nuevas tecnologías para transferir información de un punto a otro del planeta, las necesidades de los usuarios se incrementan, los servicios que demandan los usuarios requieren cada vez mayores anchos de banda, mayor seguridad y transferencia en tiempo real en muchos de los casos. Estos tipos de servicios pueden ofrecerse a través de redes ópticas. A continuación se exponen algunas características de las redes ópticas que sustentan el porque son y una opción viable para satisfacer dichas demandas.

• El gran ancho de banda de la fibra óptica

Una de las característica más importante de los sistemas con fibras es su gran ancho de banda por lo que es indispensable asegurar que todos los componentes tengan suficiente ancho de banda para transmitir la señal requerida de acuerdo a las exigencias del sistema. Las redes de áreas locales típicas requieren fibras con anchos de banda de 20 a 600 MHz*Km. Los sistemas telefónicos con distancias grandes entre repetidores requieren anchos de banda de más de 1000 MHz*Km, los cuales se asocian con fibras de tipo monomodo. En un sistema de transmisión óptica, el ancho de banda del sistema esta limitado por el equipo terminal, ya que la fibra tiene una respuesta en frecuencia bastante mayor.

La reciente explosión del tráfico en internet implica que el volumen del tráfico de datos junto con el tráfico de voz excederán la capacidad de transmisión convencional para los próximos años. La red de telecomunicaciones deberá poder resolver el paradigma del cambio, de una red de voz a una red céntrica de datos. El primer y más importante requerimiento de las redes de comunicaciones futuras será proporcionar la gran capacidad de ancho de banda que se demandará. En suma, no sólo es el incremento en el volumen de tráfico en la comunicación de datos, también los requerimientos de nuevos servicios deben ser más tangibles. Nosotros utilizamos el servicio de internet todos los días, tanto como en e-mail como en transferencia de archivos. Estos servicios son relativamente tolerantes al retraso y a las pérdidas. Sin embargo en el futuro, servicios que requieren gran ancho de banda y muy bajo retraso en la transferencia de información deberán de ser transmitidos a través de este tipo de redes. El incremento de heterogeneidad del tráfico, altos niveles de calidad del servicio, requerimientos de movilidad de información, necesidad de protocolos para un mejor acomodo de la red serán requeridos.

Actualmente la tecnología de multiplexación por división de tiempo(TDM) puede transmitir a una alta velocidad de transmisión 10Gbps, sin embargo las redes ópticas pueden operar la tecnología WDM la cual tienen una capacidad de transmisión de más de 40Gbps(particularmente en Norte América)

De acuerdo con lo planteado anteriormente la fibra óptica resulta el medio más adecuado para soportar todo el tráfico que en un futuro se demandará, estamos hablando de: teléfono, televisión, internet, video conferencia etc; esto es, la integración de servicios para viajar por un mismo medio de comunicación. Una comparación de la capacidad de transmisión de la fibra óptica con respecto a otros medios de comunicaciones se presenta a continuación:

MEDIO DE TRANSMISIÓN	VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN	ANCHO DE BANDA	SEPARACION DE REPETIDORES
Par trenzado	4Mbps	3MHz	2 a 10 Km
Coaxial	500Mbps	350MHz	1 a 10 Km
Fibra óptica	2Gbps	2GHz	10 a 100Km

La capacidad de transmisión en la fibra óptica se especificada por el producto ancho de banda-distancia en MHz por Km. Los efectos de distorsión limitarán el producto ancho de banda-distancia aproximadamente a 20MHz * Km. En la fibra de índice graduado el índice de refracción puede ser seleccionado cuidadosamente así que el ancho de pulso es minimizado a una operación específica, esta puede tener un producto ancho de banda-distancia tan alto como 2.5GHz * Km o incluso mayores.

En la actualidad las fibras ópticas se encuentran como medio de transmisión en troncales entre subestaciones telefónicas. Las fibras ópticas pueden ser seleccionadas por una gran variedad de anchos de banda como se muestra a continuación.

Material	Diámetro del núcleo (E ⁻⁶ m)	Ancho de banda (MHz/Km)
Silicio	50 monomodo	> 1000
Silicio	50 multimodo	600
Silicio	62.5 multimodo	400
Silicio	85 multimodo	200
Silicio	100 multimodo	100
PCS	200	25
PCS	300	20

PCS(Fibra con núcleo de silicio y recubrimiento de plástico)

Un ejemplo de la gran demanda de ancho de banda que se espera para los años próximos esta dado por el uso de enlaces de telecomunicaciones entre Estados Unidos, España y América Latina, el trafico entre estas regiones se ve limitado por la capacidad, y fluye e tan solo varios centenares de megabites actualmente, sin embargo el crecimiento estimado de la demanda por banda ancha entre estas regiones está entre el 75 y el 87% anual, y se espera que el trafico de larga distancia en América Latina tenga un crecimiento superior al 200% hasta el 2003.

Esta expectativa de demanda ha alentado la elaboración de tres propuestas distintas para cables submarinos con capacidad de terabits, conectando a Latino América con Europa y Norte América. La telefónica de España y Tyco han juntado sus fuerzas para instalar un anillo de fibra óptica de 1.28 terabites, por el valor de US\$900 millones. La global crossing está desarrollando el South American Crossing, un anillo similar de fibra que se conectará a la reja de Global Crossing del hemisferio norte, y tendrá un costo de mil millones de dólares. La tercera propuesta esta dada por GlobNet quien en estos momentos esta tendiendo sus cables de fibra óptica entre España, Estados Unidos, Brasil, Argentina y Chile. El proyecto de mil millones de dólares esta a cargo de Alcatel.

Al igual que en esta región se espera que la demanda de ancho de banda se incremente en todo el mundo a medida que las compañías que ofrecen servicios de telecomunicaciones ofrezcan servicios tales como; videoconferencia, videoteléfono, televisión bajo demanda y en general todos los servicios de banda ancha.

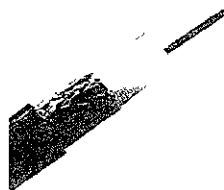
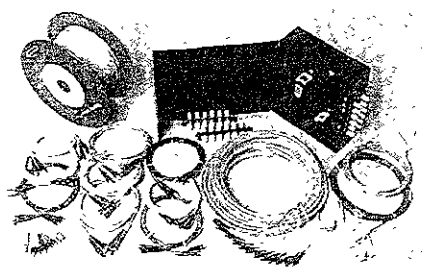
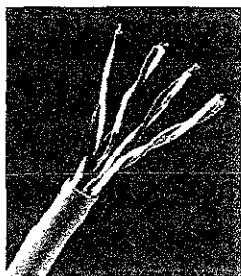
- **La atenuación de las redes de fibra óptica:**

Uno de los principales obstáculos a los cuales se ha tenido que enfrentar el hombre para lograr transmitir información a través de grandes distancias ha sido la atenuación de las señales. La atenuación es la perdida de potencia que sufre la señal al viajar desde el dispositivo emisor, hasta el receptor; dichas perdidas son el resultado de la potencia que se absorbe en el medio de transmisión o que se pierde antes de llegar al receptor, conforme se absorbe potencia en el medio de transmisión, la señal se debilita y disminuyen las posibilidades de que la señal sea interpretada correctamente por el equipo de recepción.

Cada tipo de conductor tiene sus ventajas e inconvenientes; no existe un tipo ideal. Las principales diferencias entre los distintos tipos de conductores radican en la anchura de banda permitida y consecuentemente en el rendimiento máximo de transmisión, su grado de inmunidad frente a interferencias electromagnéticas y la relación entre la atenuación de la señal y la distancia recorrida.

En la actualidad existen básicamente tres tipos de cables factibles de ser utilizados para el cableado de redes de comunicación.

- **Par Trenzado**
- **Coaxial**
- **Fibra Óptica**



Cada uno de ellos puede representar una buena opción para realizar transferencia de información; sin embargo, si tomamos en cuenta solo la característica de atenuación por unidad de distancia, resulta evidente que la fibra óptica es el medio de transmisión que ofrece las mayores ventajas

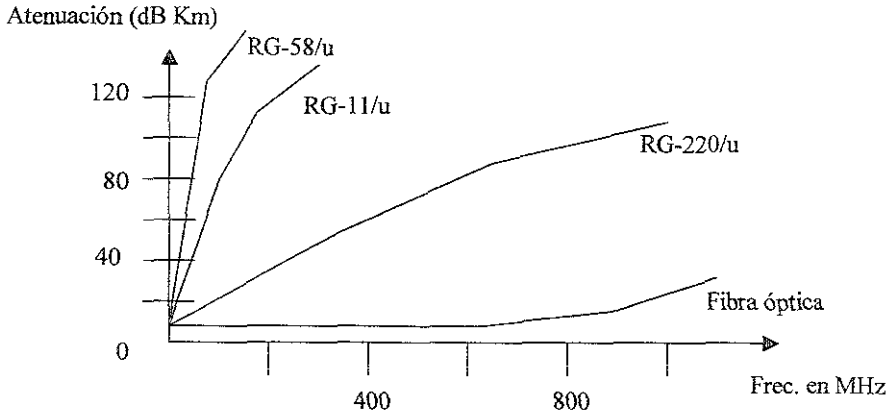
La atenuación es un problema que se acentúa principalmente en las comunicaciones de larga distancia, aun cuando el problema puede ser solucionado mediante la incorporación de repetidores, dichos equipos representan grandes inversiones económicas tanto para su instalación como para su mantenimiento. Los repetidores amplificadores se colocan a lo largo de todo el trayecto, el espaciamiento entre dichos repetidores depende de la potencia que se pierde por unidad de longitud.

Comparadas con el cobre, las fibras ópticas permiten que las distancias entre repetidores sean más grandes. Por ejemplo, en un enlace para dispositivos RS-232 (puerto serial) la distancia máxima entre dos nodos es de 15.2 mts. transmitiendo a una velocidad de 19200 Bps. , Una línea de fibra óptica puede transmitir a esa velocidad hasta una distancia de 2.5 Km. esto significa que la distancia lograda con la fibra es 164 veces mayor que la de su equivalente el cobre.

Al igual que en la atenuación, la distancia máxima que puede alcanzarse está muy relacionada con el tipo de fibra. En las versiones sencillas se logran distancias típicas de dos Km entre el transmisor y el receptor, con fibras y equipos más sofisticados las distancias pueden ir hasta los 2.5km. sin repetidor. Aplicaciones de laboratorio han permitido alcanzar distancias de 111km. a 5 Gbps. sin la necesidad de los repetidores.

En el siguiente cuadro se muestran las características de atenuación típica de los diferentes medios de transmisión y la distancia a la cual se deben colocar los repetidores.

Medio de transmisión	Distancia entre repetidores	Atenuación
Par trenzado	2 a 10 Km	190db/Km
Cable coaxial	1 a 10 Km	
Fibra óptica	10 a 100 Km	Hasta 0.1 db/Km



Comparación de la atenuación entre cables coaxiales y fibra óptica en función de la frecuencia

La atenuación que se presenta en las fibras ópticas depende principalmente del tipo de fibra y de la longitud de onda que se emplee. La siguiente tabla muestra los valores de atenuación de los dos medios físicos utilizados más comúnmente por TELMEX.

Medio de transmisión	Tipo de fibra y atenuación	Frecuencia (MHz)
Par convencional	Digital ≤ 10 dB Analógico ≤ 8 dB	0.1
Fibra óptica	Fibras monomodo de índice escalonado (dispersión normal) $\lambda = 1300$ nm atenuación ≤ 0.4 dB/Km $\lambda = 1550$ nm atenuación ≤ 0.3 dB/Km	70
Fibra óptica	Fibra monomodo de índice triangular (dispersión corrida) $\lambda = 1550$ nm atenuación ≤ 0.25 dB/Km	< 3000

La siguiente tabla muestra los valores especiales de atenuación de la fibra óptica

Longitud de onda	Atenuación típica en dB/Km
850 nm	2.06
1300 nm	0.41
1380 nm	0.51
1550 nm	0.22

Especificaciones de atenuación.

- Atenuación normal (dB/Km) a 1550 nm ≤ 0.25
- Atenuación con doblez (dB/Km) ≤ 0.05

Es la atenuación inducida a 100 vueltas de fibra alrededor de un mandril de 40 mm de diámetro a 1550 nm.

- Atenuación en función de la longitud de onda (dB/Km) ≤ 0.05

La atenuación obtenida para el intervalo de longitud de ondas $1525 \leq \lambda \leq 1575$ nm, no debe exceder la atenuación a 1550 nm.

- Atenuación de inserción de terminales (db) ≤ 0.7

El valor incluye la pérdida del conector de 0.5 dB y del empalme terminal de 0.2 dB

*El valor mínimo absoluto de atenuación que se obtenido es de 0.1 dB/Km a 1.5 μ m

En este aspecto, la fibra óptica resulta ser una opción altamente rentable, ya que debido a sus características, la atenuación de las señales que viajan en su interior resulta ser considerablemente menor a la que se presenta en los medios de conducción metálicos. Además las atenuaciones inducidas debido a variaciones del medio ambiente son mínimas.

Prueba ambiental a 1550 nm	Atenuación inducida (dB /Km)
Dependencia de la temperatura Entre -60 y 95 °C	≤ 0.03
Calor húmedo temperatura entre -10 y 85 °C y humedad relativa del 98 %	≤ 0.1
Inmersión en agua a temperatura de 23 °C	≤ 0.05
Envejecimiento con calor temperatura de 85 °C	≤ 0.05

Distancia Umbral

Conforme la señal avanza por el medio va perdiendo fuerza hasta llegar al punto en que si se desea transmitir a mayor distancia debe colocarse un repetidor, un dispositivo que le vuelva a dar potencia para seguir avanzando. Un repetidor de fibra es aquel que toma una señal de luz, la convierte a señal eléctrica, la regenera y la coloca en un dispositivo de emisión de luz para que se siga propagando. Los avances en la tecnología de los dispositivos ópticos ha permitido crear amplificadores en los cuales no es necesario convertir la señal óptica en eléctrica para lograr amplificar la señal, uno de estos equipos es el amplificador de fibra óptica dopada con erbio, del cual se hablara más adelante.

• Dimensiones e inmunidad a interferencias de las redes ópticas

Una de las características más notoria de la fibra óptica es su tamaño, que en la mayoría de los casos es de revestimiento 125 micras de diámetro, mientras el núcleo es aun más delgado. La cantidad de información transmitida es enorme, si se compara peso contra cantidad de datos transmitidos se puede observar por ejemplo, una comunicación telefónica que se realiza a través de cables tipo TAB, los cuales tienen un grosor de 8 cm. Transmite 2400 llamadas simultáneas; en comparación las fibras ópticas alcanzan las 30.720 llamadas simultáneas. El primer cable coaxial que unió los dos lados del Atlántico, tendido en 1955, correspondía a 48 líneas telefónicas. Un solo par de fibras ópticas, que transfiere la información en forma de impulsos de luz, transmite simultáneamente cerca de 500.000 comunicaciones telefónicas (empleando avanzadas técnicas de multiplexación) de un continente a otro, es decir a una distancia de 6.000 a 10.000 km.

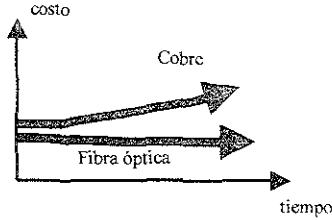
-Inmunidad a las Interferencias y seguridad

El uso de medios transparentes para la propagación de ondas electromagnéticas en forma de luz hace que la fibra óptica no necesite de voltajes ni de corrientes, esto lo convierte en un medio de comunicación 100% inmune a todo tipo de interferencias electromagnéticas a su alrededor y, por lo tanto, es un medio de comunicación altamente confiable y seguro. Este es uno de los principales factores que motivaron su uso militar ya que para poder obtener información de ella hay que provocarle un daño, daño que podría detectarse fácilmente con equipo especializado. Esto no sucede con el cobre basta con dejar el cobre al descubierto para extraer la información.

El hecho de no necesitar corrientes ni voltaje hace que la fibra óptica sea idónea para aplicaciones en donde se requiere de una probabilidad nula de provocar chispas, como el caso de pozos petroleros y las industrias químicas, en donde existe la necesidad de transportar la información a través de medios explosivos.

• Costo de las redes a base de fibra óptica

La materia prima para la fabricación de la fibra óptica es muy abundante (es el 30% de la superficie terrestre), lo cual lleva los costos sistemáticamente a la baja según se mejoran los procesos de fabricación, en cambio los precios del cobre dependen fundamentalmente de las reservas. De hecho el precio de los cables de fibra óptica han ido disminuyendo progresivamente desde su nacimiento ya que su coste es casi inversamente proporcional al volumen de producción.



A pesar del bajo precio de la fibra óptica, es cierto que el precio de los componentes necesarios para la implementación de una red óptica tales como; emisores, receptores, amplificadores, conectores y acopladores, resulta ser demasiado alto.

Sin embargo la tecnología en la fabricación de componentes para aplicaciones ópticas se desarrolla día a día, lo cual prevé una disminución en los precios a medida que la tecnología avance y la demanda de componentes aumente.

La implementación de redes a base fibras ópticas resulta ciertamente costosa de inicio, a pesar de esto, actualmente resulta ser la opción más adecuada para realizar enlaces, debido a que su tiempo de vida es de 10 a 15 años, a diferencia de los enlaces realizados con cobre cuyo tiempo de vida oscila entre los 3 y 6 años. Además la capacidad de transmisión de la fibra puede elevarse a medida que las necesidades lo demanden con solo sustituir los elementos de transmisión y recepción, o bien añadiendo equipos de multiplexación.

A continuación se hacen algunas comparaciones en cuanto a costos de instalación de algunos medios de transmisión y componentes empleados en enlaces de la UNAM.

EMPRESA	ENLACE	MATERIAL	CANT	UNID	PRECIO UNIT.	COSTO	COSTO TOTAL DEL ENLACE (con mano de obra)
AMYCO	Inst. de ecología	Cable poligel 50 prs. Cal.24 CONDUMEX	400	mts	3.94	1,326.00	
		Regleta 66M 25 prs	2	pz	13.13	26.26	
		Regleta 66M 50 prs	1	pza	16.88	16.88	
							Total
GNOSIS	Inst. de ecología	Cable poligel 50 prs. Cal 24. Essex Sealpick	400	mts	45.68	18.272	
		Regleta 66M 25 prs	2	pz	195.63	195.63	
		Regleta 66M 50 prs	1	pz	240	240	
							Total
NEEPS	Centro de instrumentos	Cable poligel 50 prs. Cal 24. Essex Sealpick	320	mts	39.00	12,480	
		Regleta 66M 50 prs	2	pz	140.00	280	
							Total
CSP	Centro de instrumentos	Poligel 100 prs categoría 3 NORDX/CDT	400	mts	97.68	39,072	
		Regleta 66M 50 prs	2	pz	768.00	1,536	
							Total
NST	Temixco	Fibra óptica de 24 hilos multimodo LUCENT	80	mts	10.11	808.80	
		Fibra óptica de 4 hilos multimodo LUCENT	450	mts	2.94	1,323	
		Conector multimodo	96	pz	9104	867.84	
		Panel de dist. para 24 hilos	3	pz	247.78	743.34	
		Panel de dist. con seis acopladores	6	Pz	70.45	422.7	
					Total	USDS10,125	

EL FUTURO DE LA FIBRA ÓPTICA

Hoy en día es espectacular la forma en que la fibra óptica ha ganado terreno en el área de las telecomunicaciones, sus enormes ventajas en comparación a los cableados de cobre y las transmisiones satelitales la hacen ser actualmente la mejor opción para realizar enlaces de larga distancia, en la actualidad, la mayor parte de las comunicaciones intercontinentales se realizan a través de cables ópticos submarinos que, depositados en el fondo de los océanos tejen una verdadera red alrededor del planeta. De este modo, las fibras ópticas han sustituido completamente a los cables coaxiales. Y, para el usuario, un signo tangible de esta mutación a las fibras ópticas en las comunicaciones telefónicas intercontinentales fue la desaparición en 1988 del tiempo muerto de 0,4 segundos, debido al enlace vía satélite. Sin embargo la real explotación de las fibras ópticas están todavía en camino.

Resultaría utópico pensar que en un futuro cercano se logrará tener conexiones de fibra óptica hasta el hogar, ya que la red instalada de cobre no puede ser sustituida en corto y tal vez ni a mediano plazo. Sin embargo la espina dorsal de las telecomunicaciones si estará constituida por fibra óptica a muy corto plazo, y para que el grueso de la población pueda beneficiarse de dicha estructura se emplearan técnicas que dupliquen la capacidad de los cables de cobre instalados en la última milla. Una de dichas tecnologías es ADSL.

La línea digital de suscriptor asimétrica (Asymmetric Digital Subscriber Line - ADSL), es una nueva tecnología para módems, convierte las líneas telefónicas existentes de par trenzado en rutas de acceso para comunicaciones de multimedia y de datos a alta velocidad. ADSL transmite más de 6 Mbps a un suscriptor y hasta 640 Kbps más en ambas direcciones. Tales velocidades amplían la capacidad de acceso existente por un factor de 50 veces o más sin necesidad de un nuevo cableado.

ADSL puede literalmente transformar la red pública de información existente desde una red limitada a transmisión de voz, texto y gráficos a bajas resoluciones a un sistema poderoso capaz de traer multimedia, a los hogares de todos

ADSL jugará un papel importante durante los próximos diez o más años a medida que las compañías telefónicas ingresen a nuevos mercados para transmitir información a alta velocidad sin verse en la necesidad de sustituir el cableado de la última milla. El nuevo cableado de fibra para banda ancha tardará talvez décadas en llegar a todos los usuarios potenciales. Sin embargo, el éxito de estos nuevos servicios ofrecidos a alta velocidad dependerá de su capacidad para alcanzar a tantos suscriptores potenciales como sea posible durante los primeros años.

Un circuito de ADSL conecta un módem de ADSL en cada extremo de una línea telefónica de par trenzado creando tres canales de información, un canal de entrada de alta velocidad, un canal duplex de velocidad media y un canal de servicio telefónico estándar (Plain Old Telephone Service - POTS). El canal POTS se divide a partir del módem digital mediante filtros, garantizando de esta manera un servicio POTS ininterrumpido, incluso si

falla la ADSL. El canal de alta velocidad oscila entre 1,5 y 6,1 Mbps mientras que las velocidades duplex varían entre 16 y 640 Kbps. Cada canal puede ser submultiplexado para formar canales múltiples de baja velocidad.

Los módems de ADSL entregan velocidades de datos congruentes con las jerarquías digitales norteamericana y europea y se pueden adquirir con diversos rangos de velocidad y capacidad. La configuración mínima ofrece 1,5 o 2,0 Mbps de entrada y un canal duplex de 16 Kbps; otros modelos transmiten a velocidades de 6,1 Mbps y 64 Kbps en duplex. Productos con velocidades de entrada de hasta 9 Mbps y velocidades duplex de hasta 640 Kbps están disponibles desde 1996. A medida que la tecnología ATM y los requisitos del mercado maduren, los módems de ADSL aceptarán el transporte de ATM con velocidades variables y compensación para el manejo de ATM. Las velocidades de entrada de datos dependen de una serie de factores, incluyendo la longitud de la línea de cobre, el calibre del alambre, presencia de conexiones

Los módems de ADSL han sido probado con éxito en varias compañías telefónicas y se han instalado cientos de líneas para efectuar diversas pruebas tecnológicas en Norteamérica y Europa. Varias compañías telefónicas están planificando pruebas de mercado utilizando ADSL, especialmente para aplicaciones de video bajo pedido, pero incluyendo aplicaciones tales como compras personales, juegos interactivos y programación educacional. El interés en aplicaciones computacionales crece, particularmente para el acceso a alta velocidad a los recursos de Internet. De tal forma que se espera un despliegue masivo de servicios basados en ADSL en el futuro cercano.

Otra alternativa para aprovechar de manera más eficiente las altas velocidades que se generarán con una espina dorsal óptica, es el tendido de cable coaxial en la última milla, el cual ya poseen varias casas habitación que cuentan con servicios de televisión por cable.

Mientras esto ocurre, se espera que las investigaciones enfocadas a crear dispositivos ópticos capaces de conformar una red 100% óptica generen los resultados esperados. Uno de los logros en cuanto a este tema es el amplificador de fibra dopada con erbio. Hasta la llegada de los amplificadores de fibra dopada con erbio no existía un dispositivo capaz de amplificar señales ópticas, el proceso para amplificar las señales que viajaban por la fibra óptica consistía en realizar la conversión óptica a eléctrica, realizar la amplificación de manera electrónica y volver a hacer la conversión a señal óptica. Los regeneradores optoelectrónicos tienen la desventaja de ser muy costosos además de limitar el desempeño del sistema, ya que cada regenerador opera con un formato de modulación predeterminada y una sola longitud de onda.

Por su parte, los amplificadores de fibra dopada con erbio realizan la amplificación de la señal sin necesidad de realizar conversiones ópticas a eléctricas, lo cual hace posible que se amplifiquen de manera simultánea todas las señales con diferentes longitudes de onda que viajen en el interior de la fibra.

El funcionamiento de los amplificadores de fibra dopada es el siguiente: La señal óptica entrante es emitida al aislador a través del acoplador que es la interfaz física. El aislador en la entrada/salida del amplificador óptico suprime las oscilaciones de amplificación óptica debidas al reflejo de la luz de las conexiones de la fibra óptica. La señal óptica es enviada a la fibra dopada con erbio y amplificada, la señal óptica amplificada es combinada con la salida óptica del láser de bombeo por medio de un multiplexor WDM.

Los iones de erbio emiten luz con una longitud de onda de 1.53 a 1.56 μm y los amplificadores construidos con este material poseen un ancho de banda del orden de los 3 THz pudiéndose enviar 10 señales con diferentes longitudes de onda simultáneamente. La ganancia de estos amplificadores es muy alta, las versiones experimentales exceden los 40 dB, y las unidades comerciales brindan entre 20 y 30 dB de ganancia promedio. Estos amplificadores poseen varios metros de fibra dopada, convirtiendo un medio de transmisión pasivo en un medio de amplificación.

En la fibra dopada con erbio el factor de amplificación es insensible a la polarización de la señal incidente (la polarización caracteriza la dirección en la que vibra el campo eléctrico asociado a la onda luminosa). Este es un hecho esencial, ya que el estado de polarización de las señales se modifica de forma aleatoria a medida que se propagan por la fibra. Además, el amplificador no deforma las señales, las amplifica idénticas. Esta propiedad subsiste en condiciones extremas de funcionamiento. Por ejemplo, con una potencia de entrada demasiado elevada disminuye la ganancia pero la señal no se distorsiona, a diferencia del caso de los amplificadores electrónicos.

A los beneficios ya mencionados, de los amplificadores dopados con erbio (insensibilidad a la polarización y ausencia de distorsión) se añaden la compatibilidad con las fibras estándar (sin reflexiones parásitas), las escasas pérdidas en las conexiones, el ruido mínimo, la insensibilidad a la temperatura entre $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Según las aplicaciones, la zona de ganancia explotable alrededor de la longitud de onda de $1.5\text{ }\mu\text{m}$ se extiende de 100 a 3.000 GHz. Aumentar el caudal haciendo pasar varias longitudes de onda por una misma fibra. La carrera hacia los altos caudales también se ha beneficiado del desarrollo de técnicas de multiplexado y de conmutación. El multiplexado consiste en transportar por un mismo soporte físico, en este caso la fibra óptica, las señales destinadas a un gran número de abonados. La conmutación es una operación de direccionamiento a nivel de la red global, gracias a la cual cada destinatario recibe al final de la línea la información que se le envía.

En las próximas generaciones de cables ópticos, el aumento del caudal se garantizará por medio de la técnica de multiplexado en longitud de onda, también conocido por su denominación americana WDM (Wavelength-Division Multiplexing). La cual consiste en enviar varias señales de diferentes longitudes de onda simultáneamente por la misma fibra. El multiplexado y demultiplexado en longitud de onda se efectúan por medio de componentes ópticos pasivos, de modo similar a la descomposición y la recomposición de los colores del arco iris por un prisma. El multiplexado en longitud de onda también abre perspectivas de direccionamiento óptico en las redes. De esta manera, las comunicaciones se podrán dirigir de una vez por todas en tal o cual dirección según su

longitud de onda. Por ejemplo, en las redes con encrucijadas, algunos países recibirán las longitudes de onda cortas y otros las largas: un direccionamiento automático de gran sencillez. Todas las grandes redes a instalar se basan en la técnica del WDM.

La técnica de DWDM (Dense Wave Division Multiplexing) se basa en la existencia de ciertos rayos láser capaces de disparar bandas múltiples de luz a través de una sola fibra óptica, cada banda de luz tiene su propio color (longitud de onda) diferente a las demás. Los primeros sistemas de este tipo dividían a la fibra en ocho colores diferentes, los sistemas comerciales actuales permiten aumentar la capacidad de la fibra en 16 y hasta 32 veces. Cada color diferente es capaz de completar o transportar hasta 120 mil llamadas, los sistemas más novedosos son capaces de romper la fibra en 128 colores, fabricantes como Lucent han estado haciendo pruebas en sistemas han llegado a producir hasta 1,022 colores, en pocas palabras, una sola línea de fibra óptica puede ahora transportar de 120 mil llamadas hasta el impresionante número de 12 millones. Los expertos confían en que este número puede llegar a los 100 millones en los próximos años.

Cuando se alcanzan caudales de más de 10 Gbit/s a distancias del orden 10.000 km aparecen otras dificultades. En primer lugar las fibras presentan una propiedad inherente a la materia transparente: la de dispersar los colores, esta propiedad constituye un inconveniente. Como sabemos la velocidad de propagación de la luz en la materia transparente depende de la longitud de onda. El índice de refracción óptico (cociente entre la velocidad en el vacío y la velocidad en el medio material) también es por lo tanto función de la longitud de onda, y ésta es la razón por la que un prisma desvía con ángulos diferentes los rayos de diferentes colores. En una fibra óptica, este efecto de dispersión cromática tiene como consecuencia el aumento de la anchura de los impulsos. Por lo tanto se pueden llegar a mezclar con los impulsos vecinos, provocando errores de detección. Aunque la dispersión cromática resulta aceptable a los caudales citados más arriba, este inconveniente pesa doblemente a muy altos caudales. Cuanto más elevado es el caudal, más breves son y más próximos están unos de otros los impulsos. Y como los impulsos muy breves contienen más componentes que los largos, tienden a ensancharse más, con lo que aumenta la superposición entre impulsos sucesivos. Por lo tanto la dispersión cromática limita muy pronto el caudal.

Análogamente, las fibras no transmiten exactamente a la misma velocidad los modos de polarización diferente. Y a consecuencia de la interferencia de polarización debida a las fibras, los impulsos están constituidos por una mezcla aleatoria de polarizaciones. Los bits transmitidos terminan por desdoblarse causando errores de detección.

El segundo problema importante es un efecto que se podría llamar dispersión no lineal. A partir de cierto nivel de intensidad, el índice de refracción del medio empieza a variar en función de la intensidad. Por lo tanto las intensidades pequeñas no viajan a la misma velocidad que las grandes. Pero la intensidad no es constante en las transmisiones ópticas. En el modo NRZ, una señal luminosa no dibuja un prisma perfecto, sino más bien una envolvente que es una aproximación y que presenta una variación continua de intensidad cuando el símbolo transmitido pasa de «0» a «1» e inversamente. Existe una forma de escapar de este dilema: es mediante el uso de un rogallo de la naturaleza llamado solitón. Se trata de un impulso muy breve que conjuga idealmente la dispersión cromática

y la dispersión no lineal neutralizándolas. El solitón es una señal cuya intensidad y longitud de onda media se han calculado de forma que los efectos de dispersión (variación de la velocidad de propagación debida a la longitud de onda de una parte, y debida a la intensidad de otra) se compensan.

Después de unas predicciones visionarias que datan de más de veinte años y de los primeros experimentos en fibras ópticas en 1980, las comunicaciones de muy alto caudal por solitones (20-100 Gbits/s) son ahora objeto de una intensa investigación. Pero la utilización de solitones implica algunos desarrollos técnicos, relativos por ejemplo a los dispositivos de emisión (impulsos muy breves), y al filtrado necesario para controlar exactamente la frecuencia central del solitón, muy sensible al ruido introducido por los amplificadores. Estas técnicas se dominan, pero su introducción en las comunicaciones se ha retrasado hasta ahora por una simple razón: los sistemas convencionales (NRZ) no han dejado de progresar gracias, no a la utilización de caudales cada vez más elevados (hemos visto que el límite es de 10 Gbits/s), sino a la técnica del multiplexado en longitud de onda.

Así, laboratorios norteamericanos y japoneses han demostrado la posibilidad de transmitir en NRZ más de veinte longitudes de onda a 5 Gbit/s, es decir un caudal total de 100 Gbit/s, a 10.000 kilómetros. En contraste, el esfuerzo de investigación y desarrollo dedicado a los sistemas con solitones es sensiblemente menor, de ahí un progreso a una ligera distancia: «solamente» ocho canales a 10 Gbit/s (80 Gbit/s) para la misma distancia. En los sistemas multiplexados en longitud de onda, una ventaja decisiva de los solitones sobre el NRZ es el caudal básico: con una sola longitud de onda se pueden alcanzar 10 Gbit/s e incluso 40 Gbit/s. Además, estos valores son directamente compatibles con los caudales estándar de las futuras transmisiones terrestres. Finalmente, hay técnicas experimentales que permiten aumentar la distancia de transmisión sin degradación. En los laboratorios de NTT se han hecho circular 10 Gbit/s por una fibra en bucle durante un cuarto de hora sin deformación de la señal un tiempo que corresponde a un recorrido de 180.000.000 kilómetros y que solamente es limitado por la electrónica de sincronización. En Alcatel, también se ha demostrado este potencial para 20 Gbit/s, con repetidores aún más espaciados (140 km en vez de los 45 km necesarios en NRZ). En el mercado de las comunicaciones submarinas, los solitones se presentan así como una alternativa muy prometedora.

Fenómenos físicos fundamentales imponen límites a los rendimientos de los amplificadores ópticos. Los problemas que limitan el caudal (tanto en modo NRZ como en modo solitón) no vienen solamente de las fibras. Los amplificadores ópticos también tienen sus límites impuestos por fenómenos físicos fundamentales. Se trata en primer lugar de las fluctuaciones erráticas de la intensidad de la señal. Estas se deben a los fotones inevitablemente emitidos por los átomos de erbio de las fibras dopadas, además de los que contribuyen a la amplificación de la señal. Este «ruido» parásito de emisión espontánea se acumula a lo largo de todo el enlace. Es la causa del límite de 10 Gbit/s sobre 10.000 km mencionado anteriormente. Se puede disminuir por filtrado óptico. También aquí tienen los solitones una ventaja, ya que soportan un filtrado relativamente severo. Entonces es posible una transmisión de 20-40 Gbit/s a 10.000 km por un solo canal de longitud de onda. Los caudales citados más arriba, de 80-100 Gbit/s, ya demostrados en el

laboratorio, equivalen a varios millones de conexiones telefónicas simultáneas en una sola fibra. Estos caudales, que están muy por encima de las necesidades del mercado ¿pero, por cuánto tiempo? abren perspectivas prácticamente ilimitadas a las futuras «autopistas de la información».

La diferencia entre las actuales redes de comunicaciones y las redes diseñadas con cables de fibra óptica son enormes. Con un solo hilo de fibra óptica se podrá tener acceso a Internet hasta mil veces más rápido que con la línea telefónica actual, veremos

una televisión de forma interactiva y dispondremos de novedosos servicios de telefonía básica, en la cual se nos permita un contestador de voz para cada miembro de la familia.

Y es que el cable de fibra óptica, representa una tecnología de avanzada que permite transmitir una cantidad de información prácticamente ilimitada, y un costo mínimo de operación, sin importar si ésta se envía a cortas o a largas distancias. Las ventajas de la fibra óptica con respecto al hilo de cobre que usan actualmente muchas empresas de telecomunicaciones en todo el mundo, no se limitan a la rapidez: también ofrece mejor calidad. Por ejemplo, si con el cobre se pueden transmitir 14.400 conversaciones telefónicas a la vez, la fibra óptica permite, simultáneamente, hasta tres millones y medio de llamadas sin interferencias eléctricas ni de radio. Sin embargo, a pesar de estas múltiples ventajas, en una gran cantidad de países. La penetración del cable de fibra óptica es todavía muy escaso, ya que hace falta desplegar una infraestructura que requiere tiempo e importantes inversiones, las cuales no se recuperarán rápidamente, lo que hace que muchas empresas del ramo, no se decidan a invertir en estos cambios tecnológicos.

Ahora bien, lo que sí está claro, es que en los próximos diez años la inversión en cuanto a la tecnología óptica será millonaria; y la implementación de esta tecnología permitirá nuevas oportunidades de negocio: muchas empresas con poco capital, podrán desarrollar nuevos servicios que lleguen a millones de personas, todo esto gracias a los desarrollos en las tecnologías para la implementación de redes ópticas.

CONCLUSIONES

Las redes de fibra óptica son hoy en día la opción predilecta de los prestadores de servicios de comunicaciones de larga distancia debido a que entre otras cosas ofrece,

- Un ancho de banda superior a cualquier otro medio de transmisión, lo cual da facilidades para establecer un gran número de comunicaciones de manera simultánea
- Bajo tiempo de retardo, el retardo que existe en este tipo de redes es muy inferior al que presentan los sistemas satelitales, además de que las transmisiones a través de fibras ópticas presentan muy bajas distorsiones.
- Los gastos por operación de las redes ópticas son inferiores a los costos de operación de los sistemas satelitales, además de que su tiempo de vida es superior.
- Las atenuaciones que se presentan en las redes ópticas son muy inferiores a las que presentan las redes de comunicaciones construidas con otros medios de transmisión, lo cual permite realizar conexiones intercontinentales empleando muy pocos repetidores intermedios.

Estas y otras ventajas adicionales hacen que en la actualidad prácticamente todas las nuevas redes de comunicaciones de larga distancia sean proyectadas con fibra óptica como medio de transmisión, ya que además de todas las actuales ventajas que representa la implementación de una red óptica, las nuevas tecnologías y las investigaciones en el campo de las transmisiones ópticas permiten prever que con el simple hecho de reemplazar los equipos terminales se podrá acceder todos los futuros adelantos tecnológicos que dicho campo experimentará

Por su parte las comunicaciones en ambientes empresariales, es decir de grandes consorcios o compañías internacionales que manejan grandes cantidades de información también habrán de cambiar su infraestructura de comunicaciones poco a poco hasta llegar a tener redes ópticas, esto seguramente requiera de tiempo, sin embargo a medida que los prestadores de servicios de comunicaciones ofrezcan conexiones a mayores velocidades y con mayores anchos de banda dichas empresas se verán forzadas a renovar sus sistemas de comunicación, ya que de lo contrario quedarán en desventaja ante sus

competidores, y aunque por su puesto en sus inicios dichas redes tendrán que fusionarse con cables par trenzado de alta calidad y coaxiales, la espina dorsal de los sistemas estará sustentada por equipos y terminales ópticos.

Las zonas residenciales serán seguramente las últimas en ser dotadas con redes ópticas, esto debido a que la actual infraestructura esta constituida prácticamente en su totalidad por tendido de cables de cobre, además de que la demanda de servicios de conexiones de alta velocidad y grandes anchos de banda será notoriamente inferior a la que se puede esperar en ambientes empresariales, entre otras causas por los costos. Sin embargo se han desarrollado técnicas que permiten elevar significativamente las capacidades de los hilos de cobre, a tal punto que se pueden brindar servicios de alta velocidad mediante su utilización, una muestra de dichas técnicas es ADSL.

Es muy cierto que los avances en comunicaciones ópticas han sido enormes, sin embargo la real explotación de las redes ópticas esta todavía muy lejos de ser la optima. En el futuro cercano habrán de desarrollarse mejores fuentes y detectores ópticos, lo cual habrá de incrementar la capacidad de las fibras ópticas en un factor superior a 1000. los chips ópticos darán mayor velocidad a las computadoras y al equipo de conmutación y los avances en las técnicas de multiplexación por división de longitud de onda y la transmisión de solitones permitirá que las fibras ópticas manejen anchos de banda prácticamente infinitos y muy bajas atenuaciones.

La evolución de las redes de telecomunicaciones al ideal de redes totalmente ópticas se vislumbra compleja, sin embargo esta podría darse en un futuro no muy lejano

GLOSARIO

SIGLAS

ADSL	Línea Digital de Subscriptor Asimétrica
AMI	Alternate Mark Inversion
ANSI	American National Standarization institute
AN	Apertura Numérica
ATM	Asynchronous Transfer Mode
B-ISDN	Red Digital de Servicios Integrados de banda Ancha
BSC	Base Station Controller
BSS	Base Station Subsystem
BTS	Base Tranceiver Station
CCITT	Comité Consultivo Internacional de Telefonía y Telegrafía
CDMA	Acceso Múltiple por División de Código
CRC	Chequeo de Redundancia Cíclica

CTM	Compañía Telegráfica Mexicana
CV	Circuito Virtual
DCE	Equipo de Comunicación de Datos
DECT	Servicios de Comunicación Personal Inalámbrica
DEP	Densidad espectral de potencia
DLCI	Identificador de Conexión de Enlace de Datos
DTE	Equipo Terminal de Datos
DWDM	Dense Wavelength Division Multiplexing
DWDM	Demultiplexor WDM
EIA	Electronic Industries Estándar
FDDI	Interfaz Distribuida de Datos por Fibra Óptica
FTP	Foiled Twisted Pair (par trenzado forrado)
GSM	System for Mobile Communications
HEO	Elliptic Earth Orbit
IMT-2000	International Mobile Telecommunications 2000

ITU	International Telecommunications Union
LAN	Red de Area Local
LAPD	Link Access Protocol by Channel D
LASER	Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation
LCN	Número de Canal Lógico
LD	Diodo Laser
LED	Diodo Emisor de Luz
LEO	Low Earth Orbit
LP	Línea Privada
MEO	Medium Earth Orbit
MSC	Mobile Service Center
NNI	Network to Network Interfaz
NRZ	No retorno a cero
OTDR	Reflectometro Óptico en el Dominio del Tiempo
PAD	Paquete Ensamblador/Desensamblador

PCM	Pulse Code Modulation
PCS	Sistema de Comunicación Personal
PDU	Protocol Data Unit
PSTN	Red Telefónica de Conmutación Pública
RDSI	Red Digital de Servicios Integrados
RZ	Retorno a cero
SCT	Secretaría de Comunicaciones y Transportes
STP	Shielded Twisted Pair (par trenzado blindado)
SVC	Circuito Virtual Conmutado
SVP	Circuito Virtual Permanente
TACS	Total Access Communications System
TDM	Multiplexaje por División de Tiempo
TDMA	Acceso Múltiple por División de Tiempo
UMTS	Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles
UNI	User to Network Interface

UTP	Unshielded Twisted Pair (par trenzado no blindado)
WAN	Red de Área Amplia
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access
WDM	Wavelength Division Multiplexing
WDM	Multiplexaje por División de Longitud de onda

DEFINICIONES

Atenuación

Reducción de la potencia lumínica de señales ópticas entre dos secciones transversales de un conductor de fibra óptica. Depende de la longitud de onda. Sus causas principales son dispersión y absorción así como pérdidas de luz en conectores y empalmes. Se le define con:

$$-10 \log P(L_1)/P(L_2), \text{ en dB.}$$

$P(L_1)$ potencia lumínica en la sección 1 a la longitud L_1

$P(L_2)$ potencia lumínica en la sección 2 a la longitud L_2

Atenuación por inserción

Atenuación ocasionada por la inserción de un componente óptico en un tramo de transmisión (p. Ej. Por conectores o acopladores).

Bit

Unidad de información en sistemas de transmisión digitales. El bit es la unidad de computo para señales binarias y refleja la transición entre dos estados, usualmente denominados 0 o 1. En la electrónica digital los bits se representan por pulsos. Un grupo de 8 bits se denomina usualmente byte.

Codificación

Conversión de señales de información para transmisión como elementos de señales de pasos (velocidad de paso). A cada elemento de señal se le puede asignar diferentes valores o estados. Así, una señal binaria tiene dos estados (bit), una señal ternaria tres estados, una señal cuaternaria cuatro estados, etc. Algunas codificaciones típicas son señales binarias.

Códigos de línea

Se utiliza durante el proceso de codificación de las señales ópticas previamente a la propagación de las mismas a través de las fibras ópticas.

Coefficiente de atenuación

Se trata de la atenuación de un conductor de fibra óptica uniforme en estado estacionario y referida a la longitud (unidad dB/Km).

Coefficiente de Poisson

Relación entre las variaciones del diámetro y la longitud de un cuerpo sometido a tensión mecánica, también denominado coeficiente transversal.

Diafonía

Interferencia de conversaciones entre dos circuitos telefónicos

Dispersión

Principal causa de atenuación en un conductor de fibra óptica. Originada por fluctuaciones microscópicas de la densidad del vidrio, que desvían de su dirección una parte de la luz conducida al punto que abandona el conductor de fibra óptica. La dispersión se incrementa hacia las longitudes de ondas cortas, de acuerdo a la ley de Dispersión de Raleigh.

Dispersión de guía de ondas

Dispersión que describe, respecto de parámetros de materiales independientes de las longitudes de onda, la dependencia del tiempo de recorrido del grupo de un determinado modo respecto de las dimensiones del conductor de fibra óptica y de la longitud de onda. Tiene particular importancia para conductores de fibra óptica monomodo; es ocasionada por la dependencia de las longitudes de onda de la distribución de la luz del modo fundamental entre el núcleo y el recubrimiento.

Dispersión de modos

La dispersión en un conductor de fibra óptica provocada por la superposición de modos con diferentes tiempos de recorrido e igual longitud de onda.

Dispersión en el material

Dispersión originada por el índice de refracción n de un material en función de la longitud de onda. Esta relación de dependencia la describe la dispersión del material $M_0(\lambda)$. Para la mayoría de los materiales de las fibras ópticas M_0 se convierte en cero a una determinada longitud de onda λ_0 en las proximidades de 1300 nm. La longitud habitual para M_0 es ps/nm km.

Dopado

Agregado de pequeñas cantidades de determinado material a una sustancia pura para modificar en pequeña medida las características de ésta. P ej. se alcanza el alto índice de refracción del núcleo de un conductor de fibra óptica añadiendo dióxido de germanio a la sustancia básica, dióxido de silicio.

Emisión espontánea

Se produce cuando en la banda de conducción de un semiconductor se encuentra un exceso de electrones. Estos, con la emisión de un fotón por cada electrón, ocupan espontáneamente lugares libres de la banda de valencia. La radiación resultante no es coherente.

Emisión estimulada

Se produce cuando los fotones existentes en un semiconductor excitan a los portadores de carga en exceso para efectuar una recombinación radiante, es decir a emitir otros fotones. La luz emitida tiene la misma longitud de onda y fase que la luz incidente, o sea es coherente (se produce radiación coherente).

Emisor

Subconjunto (parte de un equipo terminal) que se realiza en la técnica de comunicaciones ópticas para transformar señales eléctricas en ópticas. Se compone de un diodo emisor (diodo láser o diodo emisor de luz) con pigtail, conector y amplificación, así como otros circuitos electrónicos. En particular en diodos láser se requiere un fotodiodo con amplificador con amplificador regulado para controlar y estabilizar la potencia de radiación, asimismo en muchos casos se utiliza un termosensor y un enfriador por efecto Peltier, para estabilizar la temperatura de régimen. Por lo general las principales partes del emisor se agrupan para formar un conjunto compacto, el módulo emisor

Índice de refracción

Factor que expresa la reducción del valor de la velocidad de la luz en un material ópticamente denso con respecto al vacío. El índice de refracción es, en los materiales ópticos (salvo en el vacío) una función de la longitud de onda.

Longitud de onda

Periodo en el espacio de una onda plana o sea la distancia o espacio recorrido por una oscilación completa. En las telecomunicaciones ópticas se emplean ante todo longitudes de onda en las gamas de 0.8 a 1.6 micrometros.

Modos

Número de trayectorias que pueden seguir los pulsos de luz en el interior de una fibra óptica.

Multicanalización

Transmisión de varias señales en un canal único.

Reflexión

Cambio de dirección que experimenta una partícula o una onda cuando choca con un obstáculo.

Refracción

Cambio de dirección que experimenta la luz y en general cualquier onda cuando pasa de un medio a otro.

Bibliografía

- Sistemas de comunicaciones con fibra óptica
Iglesias
- Sistemas de transmisión por fibra óptica
Raúl Nazar Gutiérrez
- Diplomado en telecomunicaciones
Alcatel University México
- Emerging Communications Technologies
Uyless Black
- Redes de Computadoras Protocolos, Normas e Interfaces
Uyless Black
- Manual de Redes de Alta Velocidad
- Sistemas de Comunicaciones por Fibras Ópticas
Hildeberto Jardón
Roberto Linares
- Optical Fiber Transmission
E.E Basch
- Revista TelePress Latinoamérica
Año 10, # 71, Abril del 2000
- Consultas en internet

<http://www.portalgsm.com>

<http://www.tid.es/presencia/publicaciones/coms1d>

<http://www.unquindio.edu.co/infocade/amplific.htm>

<http://citel.upc.es/users/buran/buran9/canada/canada.htm>

<http://www.alcon.laguna.vol.mx/metodologia/fibra/fibraopt.htm>