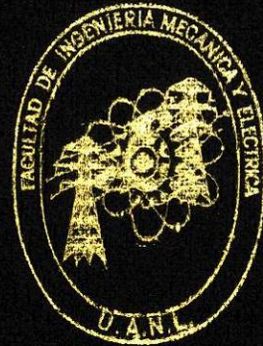


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
Y ELECTRICA



FIBRAS OPTICAS

TESINA

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO EN ELECTRONICA Y COMUNICACIONES

PRESENTA

EDUARDO GUERRA JUAREZ

ASESOR: ING. LEOPOLDO R. VILLARREAL JIMENEZ

CD. UNIVERSITARIA

FEBRERO DE 1996

T

QC448

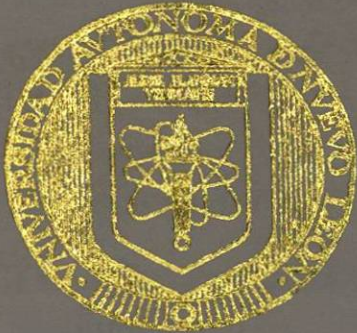
G8

C.1



1080072262

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
Y ELECTRICA



FIBRAS OPTICAS

TESINA

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO EN ELECTRONICA Y COMUNICACIONES

PRESENTA

EDUARDO GUERRA JUAREZ

ASESOR: ING. LEOPOLDO R. VILLARREAL JIMENEZ

CD. UNIVERSITARIA

FEBRERO DE 1996

T
9C448
T78

FECHA: 9 Dic. 1997
DONADO POR: Biblioteca
"Ing. Guadalupe E.
Cedillo Garza."
UANL FINE BIBLIOTECA



ÍNDICE

TEMA:	PAGINA:
INTRODUCCIÓN	
Elementos De Un Sistema De Comunicación.	1
Historia De Las Comunicaciones.	1
Ventajas En El Uso De Las Fibras Ópticas	3
Aplicaciones De Las Fibras Ópticas	5
CONCEPTOS BÁSICOS DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN.	
Componentes Fundamentales De Un Sistema De Comunicación.	6
Un Enlace Óptico.	7
TÉCNICAS DE SEÑALIZACIÓN.	9
Modulación.	11
Ancho De Banda.	13
TÉCNICAS DE MODULACIÓN.	14
MODULACIÓN ANÁLOGA EN FIBRAS ÓPTICAS.	19
TRANSMISIÓN DIGITAL.	22
Técnicas De Modulación Digital.	22
Modulación Por Pulsos Codificados.	24
COMPONENTES DE UN SISTEMA ÓPTICO BASADO EN PCM.	25
Ventajas y Desventajas de PCM.	26
TÉCNICAS DE MULTIPLEXAJE.	27
MODOS DE TRANSMISIÓN.	30
MEDIOS DE COMUNICACIÓN.	32
INSTALACIÓN DE CABLE ÓPTICO.	
Introducción.	34
Instalación En Ductos.	34
Instalación En Subductos.	35
Inmersión.	37
Instalación Manual.	38
Instalación Mecanizada.	43
Instalación Directamente Enterrado.	44
Instalación Aérea.	46

Instalación Submarina.	47
Instalación En Interiores.	48
PRESUPUESTO DE UN ENLACE	49
Presupuesto De Atenuación	49
Presupuesto Del Ancho De Banda	53
DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA ALCATEL.	
Introducción.	55
Alcances Orientativos.	56
Multiplexación Y Demultiplexación.	57
Transmisión Por Fibra Óptica.	58
Sistema De Emisión.	58
Sistema De Recepción.	60
Sistema De Supervisión.	62
Características Particulares Sobre La G.821 A 8 Mbit/S.	63
Protección Eléctrica.	64
Tipos De Alimentación.	65
Resumen De Datos Técnicos.	66
PERSPECTIVAS DE LA FIBRA ÓPTICA.	68
¿Como Y Cuando Las Estructuras De Alta Velocidad Funcionarán?	69
Geometría 101: Estudio De Los Parámetros De La Fibra Óptica.	70
La Fibra Óptica Va Hacia La Ofensiva.	73
BIBLIOGRAFÍA.	74

Mis Agradecimientos:

A Dios:

Que me ha dado fuerza, entusiasmo y muchas ganas para seguir adelante en mi vida; por concederme la salud y vida durante mis estudios.

A mis padres:

Sr. Octaviano Guerra Muñiz.

Sra. Rosa María Juárez Treviño.

Que con su apoyo insuperable han hecho realidad un sueño de toda mi vida. Gracias por enseñarme a estudiar, inculcarme el hábito de estudio y enseñarme que el éxito se logra con mucho esfuerzo.

A mis hermanos:

Ma. de los Angeles, Irma leticia

Miguel Angel y Manuela de la Paz

Que de una u otra manera siempre estuvieron pendientes de mi y aunque algunas veces se desesperarón, en todo momento me apoyarón.

A los Catedráticos:

Que supieron transmitir sus conocimientos y me enseñaron algo tan valioso que no se paga con nada; la disciplina y perseverancia.

A mis compañeros:

Que siempre estuvieron dispuestos a sacrificar su tiempo para tenderme la mano cuando los necesité.

A mis amigos:

Porque siempre pude contar con su apoyo.

Y a todas aquellas personas que de una u otra manera me ayudaron durante mi carrera. Y en la realización de la presente tesina.

.....A todos Gracias

INTRODUCCIÓN

ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN

Un sistema de comunicación consta básicamente de tres elementos:

- ◆ Transmisor
- ◆ Medio de comunicación
- ◆ Receptor



■ Elementos de un Sistema de Comunicación

Si faltara alguno de estos elementos, no sería posible la comunicación entre los puntos que se desea enlazar.

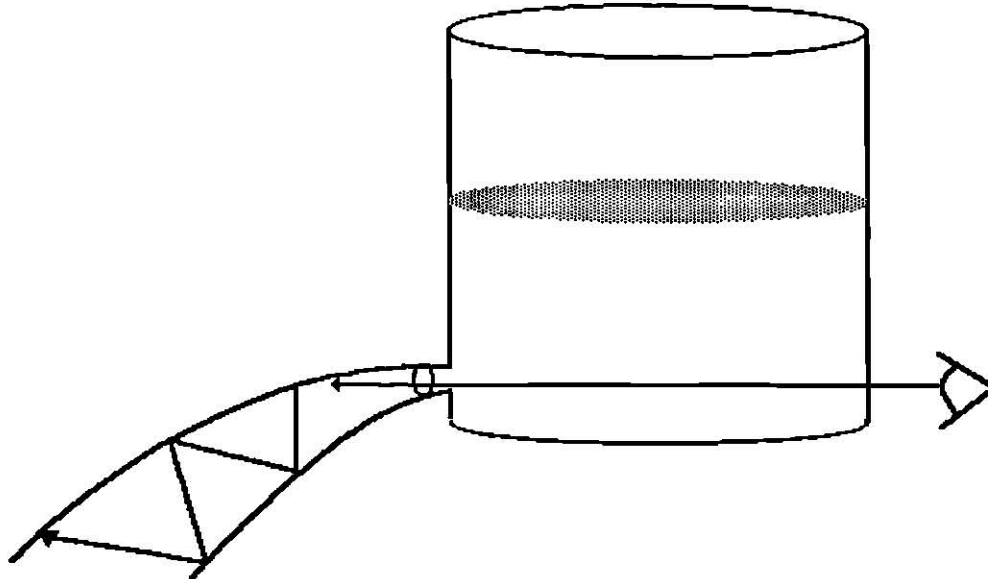
Tanto transmisores como receptores han tenido una evolución muy dinámica, desde que se descubrió la telegrafía y la radiocomunicación. También, el aprovechamiento de los medios de comunicación (Alambres, Cables, Atmósfera, etc.) se ha desarrollado en forma considerable, con la creación de técnicas de modulación y una electrónica cada vez más rápida.

HISTORIA DE LAS COMUNICACIONES ÓPTICAS

La comunicación usando la luz, se remota a la prehistoria. El hombre primitivo, utilizando antorchas podía comunicarse a distancias.

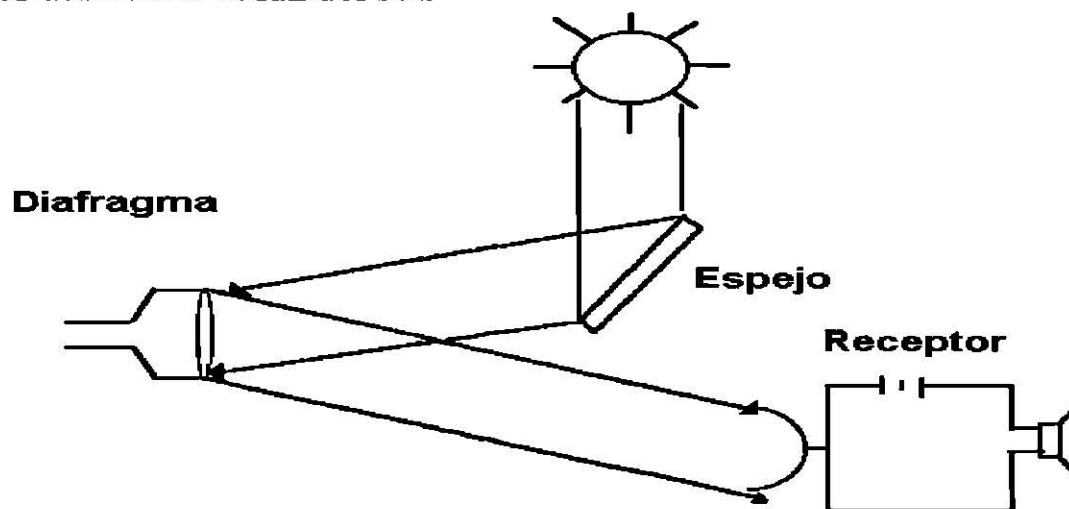
Sin embargo, fue hasta 1790 en Francia que **Claude Chape** utilizando lamparas, formalizó el uso de un telégrafo óptico logrando cubrir una distancia de 200 Kms. en un lapso de 10 minutos.

En 1870 en Inglaterra, **John Tyndall** propone que la luz pueda guiarse a través de un medio transparente, lo que demuestra más tarde, logrando conducir un haz de luz por un chorro de agua.



■ Experimento de Tyndall

En 1889, el físico **Alexander Graham Bell**, diseñó y construyó un aparato mediante el cual pudo transmitir audio hasta una distancia de 200 metros utilizando la luz del sol.



■ Fotófono de Graham Bell

Fue hasta el siglo XX, en 1934, que se hizo el primer intento de conducir la luz con fines de aplicación. **Norman French**, en EE.UU. construyó un teléfono óptico y logra transmitir a distancias muy cortas utilizando barras de vidrio rígidas.

En 1958, **A. Schalow** y **C. H. Towne** inventan el Rayo Láser. Dos años después, **T. Malman** desarrolla la primera aplicación del Láser, y en 1962, se desarrollan el Láser Semiconductor y los Fotodiodos Semiconductores.

Al contarse ya con una luz con características especiales como la del Láser, **Charles Kao** y **G. Hokman**, sugieren que se utilice la fibra óptica como medio de comunicación. Para esto, debería de lograrse una atenuación en la fibra como de 20 dB/Km contra los 100 dB/Km que se tenían en el año de 1966.

Es hasta el año de 1970 que la compañía *Corning Glass* logra fabricar una fibra óptica con un nivel de atenuación de 20 dB/km. En 1972, el nivel de atenuación de la fibra óptica fabricada entonces llegó a alcanzar los valores de 4 dB/km.

En 1973, la Armada de EE.UU., le da la primera aplicación militar a la fibra óptica, instalando un sistema telefónico utilizando fibra óptica a bordo de un barco. En 1976 se instala en Alemania una red de servicios integrados (ISDN) con una cobertura de 2.1 Km.

Ya en 1987, se ha logrado fabricar fibra óptica con niveles de atenuación muy bajos del orden de 0.16 dB/Km y con excelentes perfiles de índices de refracción, lográndose por consecuencia, anchos de banda muy grandes.

VENTAJA EN EL USO DE LAS FIBRAS ÓPTICAS

La fibra óptica con respecto al cobre, representa una serie de ventajas muy importantes y significativas para los requerimientos de las necesidades actuales, estas son:

- ◆ Alta capacidad de transmisión de información
- ◆ Baja atenuación
- ◆ Inmune a interferencia electromagnética

- ◆ Alto nivel de seguridad
- ◆ Dimensiones pequeñas
- ◆ Ligera
- ◆ Flexible
- ◆ No radiante

La alta capacidad de información, la determina el gran ancho de banda, del cual se puede disponer en una fibra óptica. Llegando en algunos tipos de fibra hasta los 500 Ghz/Km. Su baja atenuación, hasta de 0.16 dB/Km, la hace un medio de comunicación muy eficiente. Esto nos permite hacer la siguiente comparación:

	Numero de canales	Velocidad de Transmisión (Mbps)	Distancia entre Repetidores (Kms)
Multipar	30	2.048	1.54
Coaxial	1920	139.264	4.65
Fibra Óptica	30	2.048	9.00
Fibra Óptica	1920	139.264	10.00
Fibra Óptica	1920	139.264	25.00

Como la fibra conduce luz no corrientes eléctricas, es 100 % inmune a todo tipo de interferencia electromagnética, haciéndola un medio de comunicación altamente confiable. El no conducir electricidad, la hace muy útil, en ambientes de alto riesgo como en pozos petroleros, minas, etc. ya que elimina toda posibilidad de producir incendios o explosiones.

Es un medio que ofrece un nivel de seguridad muy alto, ya que no es posible en la actualidad, obtener alguna derivación dadas las dimensiones pequeñas de la fibra, así como la técnica para elaborarla. La fibra óptica en si, es demasiado ligera, alcanza un peso promedio de 1.4 Kgs/Km. Aunque ya cableada aumenta considerablemente su peso, aun así, nos permite economizar tiempo y horas hombre para su instalación.

	Multipar	Coaxial	Cable Óptico
Peso en Kgs.	20600	18620	350
Horas/Hombre	800	400	88

Peso y Horas hombre que se manejarían en un enlace de 3.5 Km.

Su flexibilidad la hace fácil de instalar, aun ya cableada; todas estas características, hacen de la fibra óptica un medio de comunicación con características no encontradas en el cobre. no queremos decir con esto, que

pueda sustituir en un momento dado al cobre, pero si es muy importante el avance de su aplicación en la actualidad.

APLICACIONES DE LA FIBRA ÓPTICA

En la siguiente tabla se muestra claramente la tendencia en la aplicación de la fibra óptica. Cada área ha tenido desde sus inicios un avance importante en su desarrollo, como lo manifiesta la aparición de prototipos tecnológicos diversos.

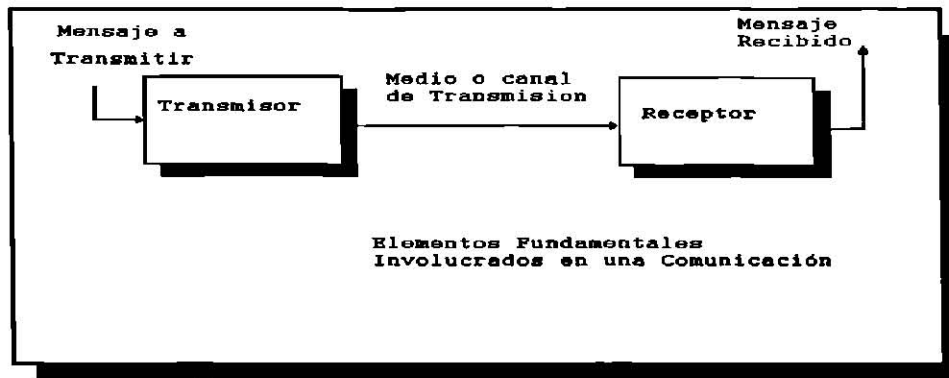
Aplicaciones De La Fibra Óptica

Aplicación:	
Telecomunicaciones	66 %
Industria Militar	16 %
Redes de Área Local	11 %
Industrias	5 %
Otros Usos	2 %

CONCEPTOS BÁSICOS DE COMUNICACIÓN CON FIBRAS ÓPTICAS

COMPONENTES FUNDAMENTALES DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN

Para que pueda entablarse una comunicación, se requieren de cuatro elementos fundamentales, tales como se muestran en la figura.



Un mensaje (la información) a ser comunicado, un transmisor del mensaje, un medio ó canal de comunicación por el cual el mensaje será enviado y un receptor, que se encarga de recuperar el mensaje.

Estos elementos fundamentales pueden estar presentes en muchas formas diferentes dependiendo del sistema que se trate.

Par que la comunicación sea efectiva el mensaje debe de ser entendible, de tal forma que el receptor sea capaz de interpretarlo correctamente.

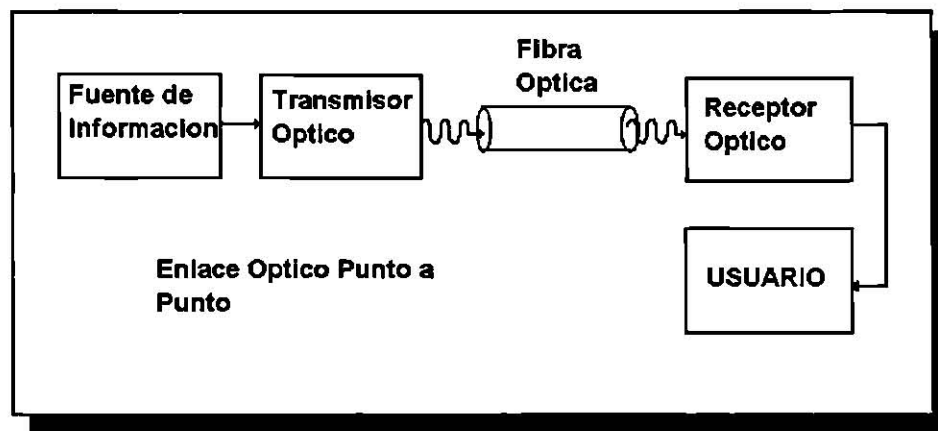
El medio ó canal de comunicación puede ser definido como una trayectoria por la transmisión eléctrica o electromagnética entre dos o mas estaciones. Este puede consistir en un solo alambre, cable de fibra óptica, líneas coaxiales o la atmósfera. De cualquier forma el objetivo de todos es transportar información de un punto a otro distante.

La capacidad de cada una de estas trayectorias par llevar información será diferente. La determinación de la capacidad del canal en términos de la proporción de datos es una parte del problema de diseño.

El desempeño global del sistema depende de las limitaciones de cada uno de los elementos en forma independiente. La componente con las características mas pobres, dará la característica global del sistema de comunicación. Lo que esto quiere decir, es que de nada sirve si nuestro canal tenga una gran capacidad, si el receptor no es capaz de reproducirlas con fidelidad, o que, nuestro transmisor pueda responder a señales muy rápidas si el canal las atenuará.

UN ENLACE ÓPTICO

El enlace óptico mas simple es una conexión punto a punto de un transmisor y un receptor usando una fibra óptica, como se ilustra en la siguiente figura.



El diseño de un enlace óptico relaciona muchas variables respecto a las características tanto de la fibra óptica, la fuente de luz, fotodetector, como la de los circuitos involucrados.

El diseñador debe de escoger cuidadosamente las componentes para asegurar que el nivel de desempeño del sistema sea mantenido por arriba del requerido sin sobre especificar las características de las componentes.

Los requerimientos claves a considerar en un sistema son principalmente:

- La distancia de transmisión deseada
- La velocidad de transmisión de datos o el ancho de banda del canal
- La proporción de bits erróneos (**BER=** bits error rate)

Par cubrir estos requerimientos es necesario seleccionar las características de las componentes entre las siguientes:

Fibra Multimodo ó Monomodo

Características:	MONOMODO	MULTIMODO
Tamaño del núcleo.	10/125	62.5/125
Perfil del índice de refracción del núcleo.	$g = \alpha$	$g = 2$
Ancho de banda.	GHz	100 MHz
Atenuación.	0.3 dB/Km	3 dB/Km.
Apertura numérica.	0.12	0.26

Fuente de Luz, LED ó Diodo LÁSER

Características:	LED	LÁSER
Longitud de la onda emitida.	850 nm	1300 nm
Ancho espectral.	50 nm	4 nm
Potencia de salida.	6 dBm	0 dBm
Área efectiva de radiación.	100 nm	100 nm
Patrón de radiación.	.3	.1

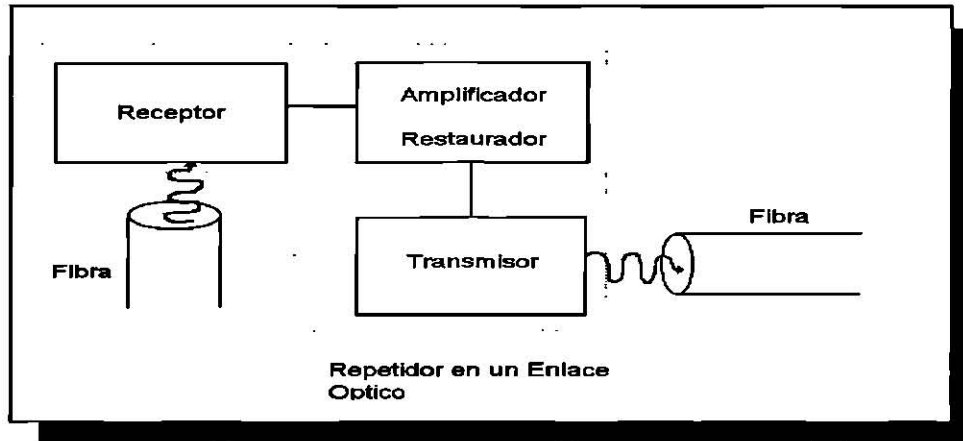
Detector Óptico Fotodiodo PIN ó Fotodiodo de Avalancha APD

Características:	PIN	APD
Respuesta.	100 MHz	GHz
Longitud de onda de operación.	850 nm	1300 nm
Velocidad.	100 Mbps	140 Mbps
Sensibilidad.	39 dBm	50 dBm

El diseño del receptor es inherentemente mas complejo que el transmisor ya que éste tiene que ampliar y reconstruir la señal que ha sido degradada en el transmisor al recibirla el fotodetector.

Cuando una señal óptica ha viajado una cierta distancia por una fibra, la señal se atenúa y distorsiona a tal grado que se requiere de un repetidor en la línea de transmisión para amplificar y reconstruir la señal. Una de las metas del diseñador de un enlace es la de conseguir distancias más largas entre repetidores pues cada uno de estos agrega un costo al enlace. Un repetidor óptico consiste de un receptor y un transmisor colocados juntos.

La sección del receptor detecta la señal óptica, la convierte en una señal eléctrica la cual es amplificada, restaurada y pasada a la entrada eléctrica de la sección del transmisor, este convierte la señal eléctrica de nuevo en una señal óptica, y la envía otra vez, ya restaurada y amplificada, como se ilustra en la figura.



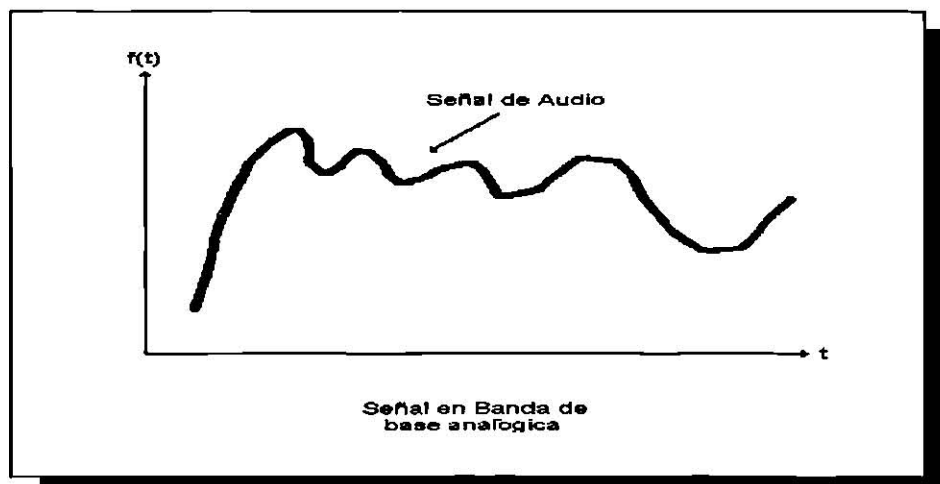
TÉCNICAS DE SEÑALIZACIÓN

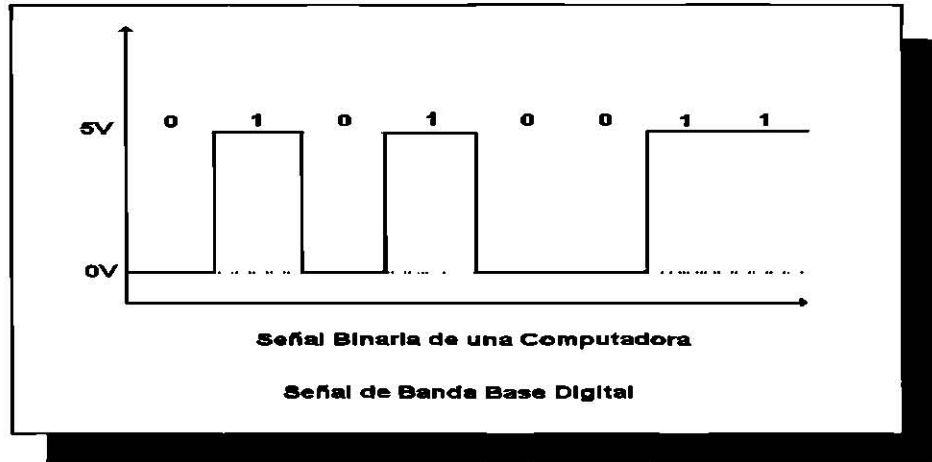
Un mensaje o información puede transmitirse como señales eléctricas usando dos técnicas.

- Como banda base (ó de origen)
- Montándolas en una portadora modulada (modulación)

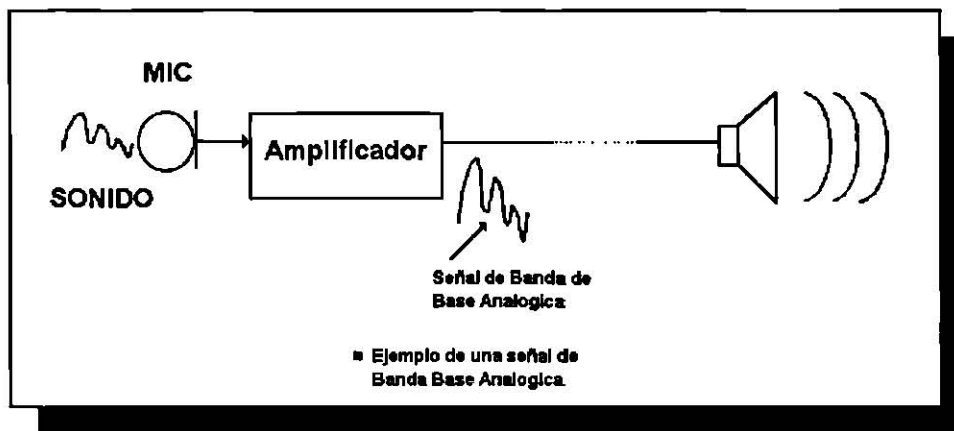
Señalización de Banda Base

Cuando la señal es transmitida en la forma que es generada ú originada en la fuente. Las señales de banda base pueden ser analógicas y digitales como se muestran en la siguiente figura.

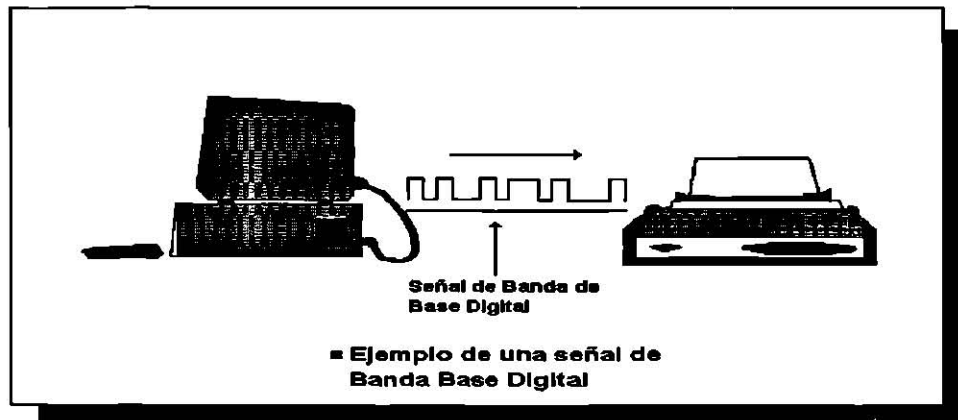




A.- SEÑAL ANALÓGICA.- Una que es continua en el tiempo, o sea que existe par cualquier instante; por ejemplo una señal de audio o vídeo. Un ejemplo de una señal de banda base analógica podría ser cuando se transmite un señal de audio del amplificador de potencia a una bocina, como en el siguiente dibujo.



B).- SEÑAL DIGITAL.- Es aquella que solo existe en algunos valores de tiempo. Como ejemplo de una señal de banda base digital podemos pensar en la señal que transmite una computadora a alguno de sus periféricos, como se ilustra en la figura.



La Transmisión de una señal en banda base tiene la ventaja de que la señal se transmite tal como es generada, por lo tanto no se requiere de una circuitería compleja par adaptar la señal al canal de transmisión.

Sin embargo tiene los siguientes inconvenientes:

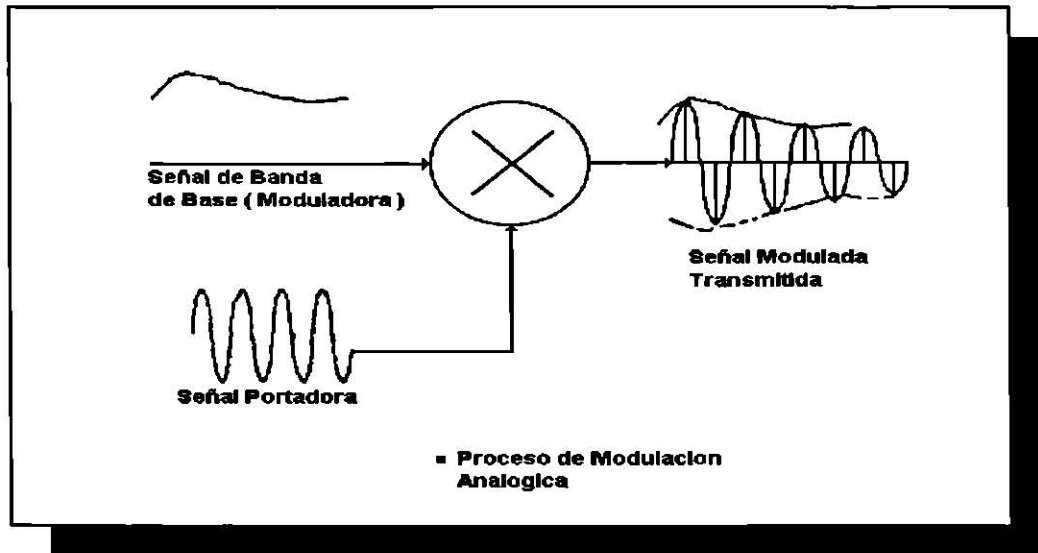
- El canal debe de ser compatible con la señal a transmitir
- La señal ocupa todo el canal de comunicación
- La señal es atenuada rápidamente por los efectos capacitivos, inductivos y resistivos del canal y por lo tanto se requieren repetidores muy cercanos.
- En el caso de señales analógicas, la interferencia y ruido afecta directamente al mensaje.

MODULACIÓN

Par reducir los problemas mencionados, se utiliza otra técnica de señalización que consiste en montar la señal de banda base en una señal portadora de alta frecuencia y enviar esta señal al canal.

Esto se hace para poder aprovechar mejor un canal, proteger el mensaje del ruido pasándola a bandas mas altas de frecuencia y aumentar la distancia a la se puede mandar el mensaje.

Modular quiere decir variar algunas de las características de una señal de alta frecuencia, llamándola portadora, de acuerdo a una señal moduladora, que sería el mensaje, de banda base. Este proceso se ilustra en la siguiente figura.



Las características de la señal portadora que pueden ser variadas son:

- Amplitud (Amplitud modulada)
- Frecuencia (frecuencia modulada)
- Fase (Modulación por fase)

Como ejemplo para entender la diferencia entre una técnica de señalización y otra, imaginaremos lo que pasaría si todas las estaciones de FM en una ciudad, transmitieran sus mensajes en banda base.

Ya que todas generan señales de música o sea con frecuencias entre 20 Hz y 20 KHz aproximadamente, el ancho de banda necesario para transmitir esta señal sería de solo 20 KHz. Pero como todas las estaciones están transmitiendo en la misma banda, las señales se interferirían unas con otras perdiéndose todo el mensaje. Otro inconveniente es que para poder radial señales como estas se necesitaría una potencia inmensa.

Par resolver estos problemas se usa una banda mucho más ancha que va de 80 a 108 Mhz y a cada estación se le asigna una frecuencia dentro de esa banda, ahora cada estación modulará esa señal portadora con su mensaje (moduladora) y transmitirá su señal sin interferir a las estaciones vecinas dentro de la banda de FM.

ANCHO DE BANDA

Los distintos medios físicos que se usan en telecomunicaciones, varían considerablemente en sus capacidades de transmisión. Por ejemplo, un cable coaxial puede transmitir mucha más información que un sencillo par de alambres.

Un enlace de transmisión digital se diseña por una proporción de bits dada y nos referimos a su capacidad en términos de un número de bits por segundo.

Por otra parte un enlace analógico puede llevar distintas proporciones de datos, aquí nos referimos a su capacidad en términos de ancho de banda. El ancho de banda, es uno de los términos más importantes en las telecomunicaciones, se refiere a la gama de frecuencias que puede transmitir un canal.

Si la frecuencia más baja que puede transmitir un canal es f_1 y la más alta f_2 , entonces el ancho de banda del canal será $f_2 - f_1$ y se expresa en hertz.

El ancho de banda de un canal telefónico es de aproximadamente de 3000 Hz y puede transmitir frecuencias entre aproximadamente 300 Hz y 3300 Hz.

A menudo, por medios electrónicos se sube la banda de frecuencias; por ejemplo a 80300 Hz y 83300 Hz. Para que la señal pueda transmitirse por determinados canales, más sin embargo, esto no cambia el ancho de banda que sigue siendo de 3 KHz. Así pues el ancho de banda no nos dice nada sobre la frecuencia de transmisión, sino sólo nos indica la gama de frecuencias.

La capacidad para transmitir información es proporcional al ancho de banda. Si tratamos de enviar datos con un ancho de banda, en una proporción demasiado alta, se volverán demasiado confusas e incapaces de interpretar.

CAPACIDAD MÁXIMA DE UN CANAL

La capacidad teórica máxima de un canal depende de varios factores. La ley de Shannon expresa que la capacidad máxima de un canal de ancho de banda W (en Hertz) es :

$$C = W \log_2(1 + S/N)$$

Donde:

C= Capacidad máxima del canal en bps

W= Ancho de banda del canal en hertz

S= Potencia de la señal

N= Potencia del ruido térmico.

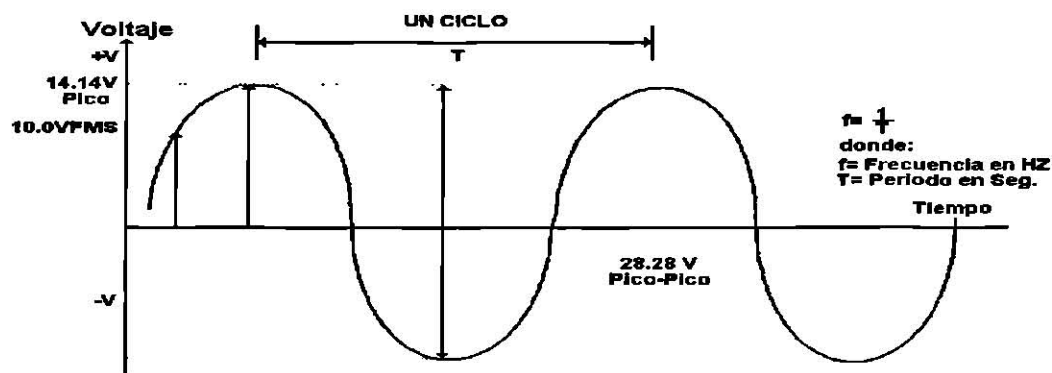
Este limite teórico nunca podrá sobrepasarse a menos que se aumente el ancho de banda del canal disponible ó bien la relación señal a ruido.

TÉCNICAS DE MODULACIÓN

MODULACIÓN ANALÓGICA.

En las técnicas de modulación analógica, la información o mensaje modulará o variará alguna de las características de una onda senoidal, llamada portadora, para que el mensaje sea transportado en las variaciones de esa característica.

Las características mas importante de una onda senoidal son: su amplitud, su frecuencia, ó su fase, como se ilustran en la siguiente fig.



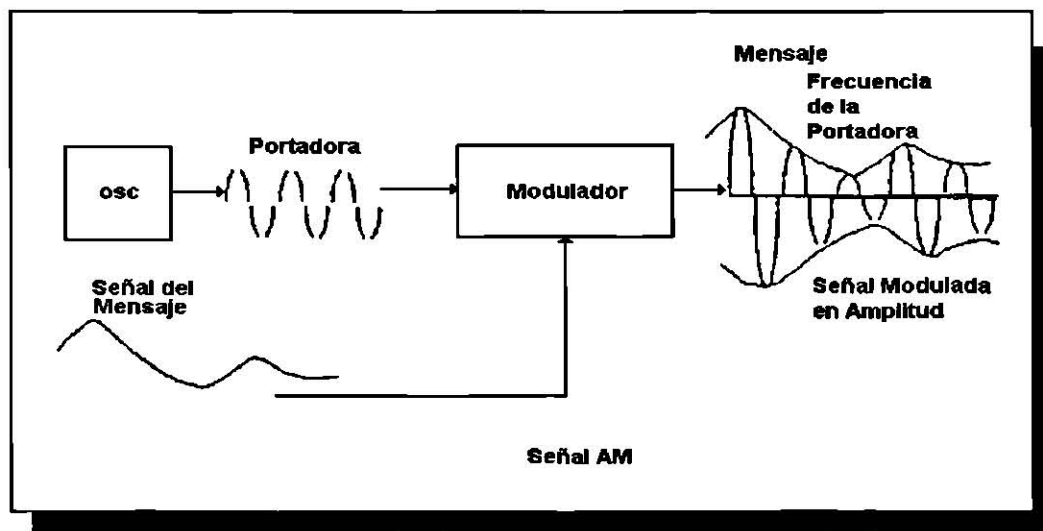
Dependiendo de que característica varíe la señal moduladora (la señal de información) la modulación puede ser:

- ◆ Modulación de Amplitud
- ◆ Modulación de Frecuencia
- ◆ Modulación de Fase

a).- **Modulación de Amplitud (AM).**- Cuando la amplitud de la onda portadora es la que varia par enviar el mensaje se le llama amplitud modulada AM.

En el transmisor va existir un oscilador que genera la onda senoidal portadora (par una estación de radio de AM su frecuencia tiene que estar dentro de la banda de AM que es de los 535 a 1500 Khz, que es muchas veces mayor que las frecuencias de audio de 20 Khz), que será enviada junto con el mensaje al modulador.

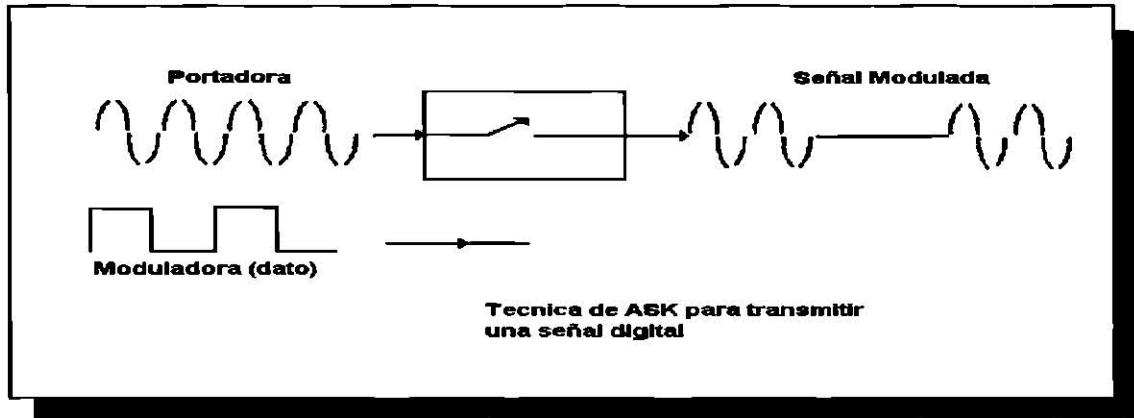
El proceso de modulación requiere la multiplicación de la portadora y la señal moduladora. Como se ilustra en la siguiente figura.



VENTAJA: En el proceso se involucran sistemas simples como amplificadores, osciladores.

DESVENTAJA: El proceso de multiplicación introduce un par de bandas laterales. Como consecuencia el ancho de banda de RF es el doble de la frecuencia del tono modulante. Como la información está en las variaciones de la amplitud de la portadora es muy susceptible a efectos de ruido externo.

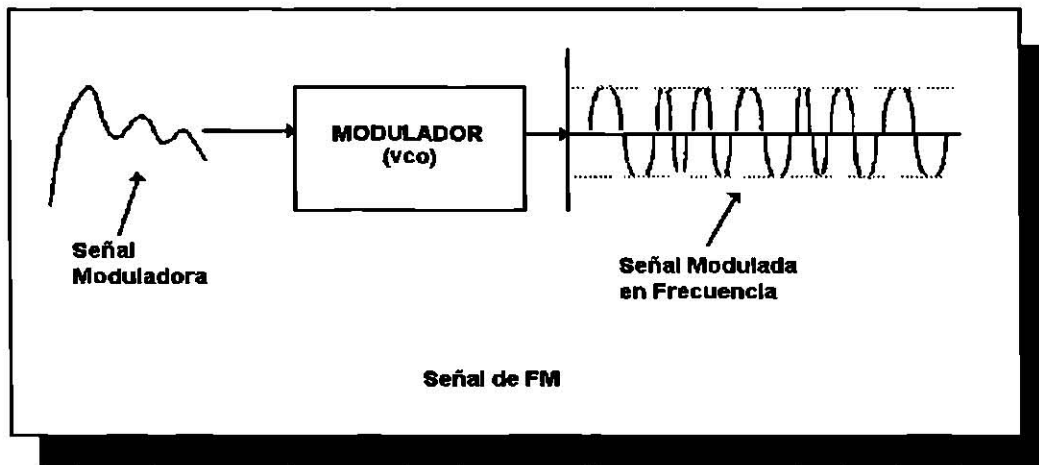
B). ASK(Amplitude Shift Keying).- Modulación por cambio de amplitud, actualmente la modulación por amplitud no es usada para transmitir señales de banda base digitales, porque es muy susceptible a interferencia de ruido eléctrico, el cual puede producir errores en el receptor de datos, sin embargo en un principio se usó y ha esta técnica se le conoce como ASK. Cuya representación explicativa se muestra en la siguiente figura.



En esta técnica de modulación, cuando la señal de banda base es uno lógico se deja pasar la portadora y cuando la señal corresponde a un cero lógico se impide el paso de la portadora.

C). **Modulación Por Frecuencia(FM).**- En sistemas de FM, el modulador debe de convertir la señal eléctrica que contiene la información en variaciones de la frecuencia de la onda portadora y no su amplitud como en el caso de AM. O sea que de la frecuencia de la portadora a cambiar de acuerdo a la amplitud de la banda base del mensaje.

Se requiere un oscilador controlado por voltaje VCO, que será operado por la señal moduladora (ó mensaje). El demodulador es un discriminador tal como un circuito PLL. Este dispositivo genera la misma señal eléctrica que fue usada para modular el VCO del transmisor. En la siguiente figura se muestra como varia la frecuencia de la portadora suponiendo una moduladora senoidal.

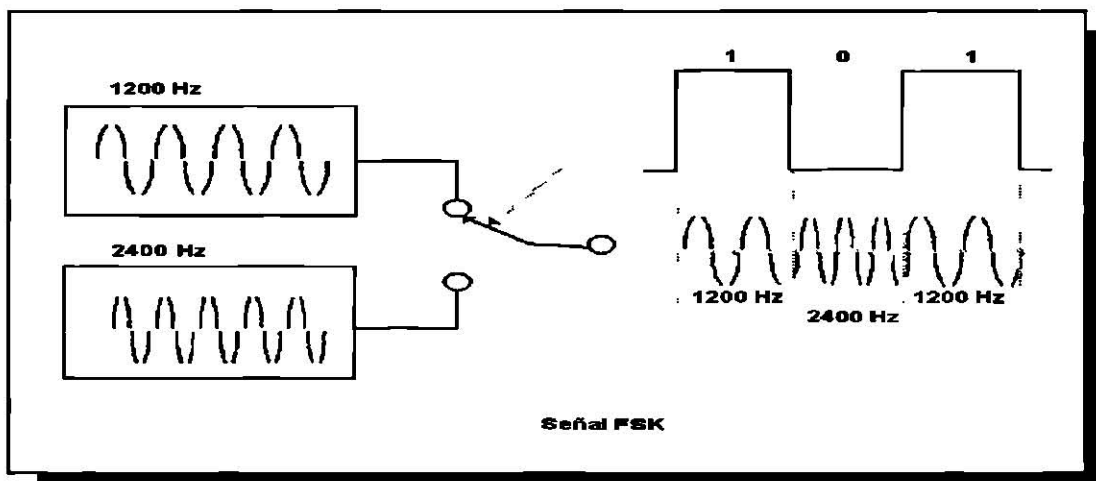


La técnica de FM tiene ventajas sobre la de AM, en que es mejor su desempeño contra el ruido y mejora la necesidad de potencia. La señal mandada en FM tiene mayor protección contra el ruido ya que la información va en las variaciones de la frecuencia y no en las variaciones de la amplitud, que es más afectada por la interferencia. Por esta razón en transmisión de audio de alta fidelidad siempre se prefiere FM.

El ancho de banda necesario en un sistema de FM es generalmente mayor que en un sistema de AM y se halla determinado por la amplitud de la onda moduladora. Se dice que una señal está totalmente modulada cuando se ha desviado (\pm) 75 KHz de la frecuencia portadora. Puesto que la amplitud de la señal en FM no varía, el transmisor puede operar con el máximo rendimiento continuo de potencia.

D).-FSK (Frequency Shift Keying).- Modulación Por Cambio De Frecuencia-
- Así como en el caso de modulación por amplitud, también se pueden modular señales de datos digitales usando técnicas de modulación de frecuencia. Esta técnica es conocida como FSK y es muy utilizada en MÓDEM's así como en grabación de datos en cinta magnética.

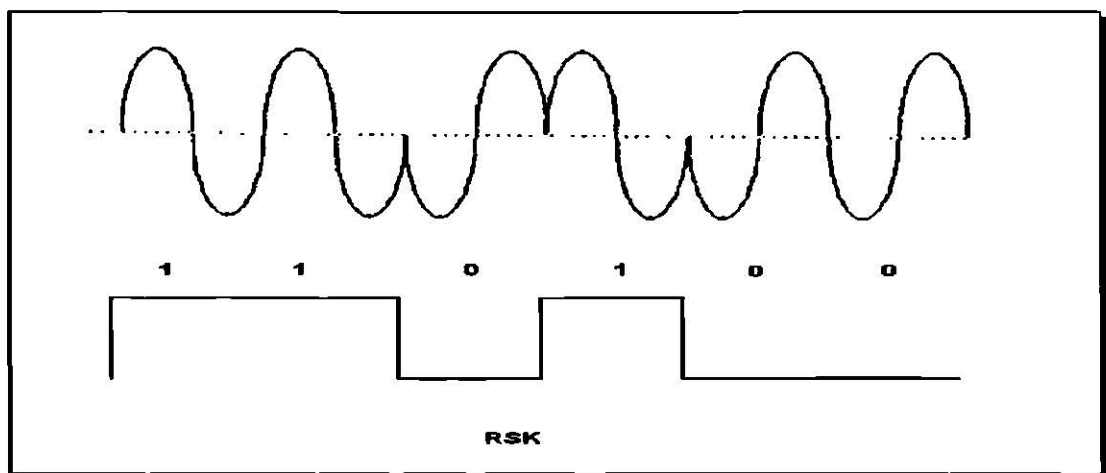
Esta técnica consiste en generar dos señales portadoras en vez de una sola, una con frecuencia f_1 y la otra con frecuencia f_2 , se enviara alguna de las dos dependiendo de que si el dato corresponde a uno ó dos lógico a FSK también se le conoce como modulación por tonos, en la siguiente ilustración se ve este proceso muy simplificado.



Para comprender mejor esta técnica de modulación, vamos a dar un ejemplo de su uso; si queremos usar un canal telefónico para transmitir datos a baja velocidad con módems de 300 bauds, utilizando esta técnica, lo que se hace es dividir la banda del canal telefónico en dos subbandas, para transmitir en ambas direcciones simultáneamente. La separación es implementada cuando un módem se pone en el modo "original" y el otro el de "respuesta", con un interruptor cada módem llamado en el modo de "respuesta". Nótese que el módem que "origina" trasmite "ceros" (espacios) a 1070 Hz y "unos" (marcas) a 1270 Hz. El módem de "respuesta" también transmite ceros y unos pero a 2025 Hz y 2225 Hz, respectivamente. FSK es un método fácil y económico de modulación que trabaja muy bien para canales telefónicos. No se recomienda transmitir a mayores velocidades porque se requiere un mayor ancho de banda usando esta técnica.

E) Psk De Phase Shift Keying --Modulación Por Cambio De Fase.- Esta técnica consiste en variar la fase de una portadora con la amplitud de la señal del mensaje que es la portadora. Es muy poco para transmitir señales analógicas puesto que la circuitería para realizarla es muy compleja. Sin embargo es la favorita para la transmisión de datos a alta velocidad.

La modulación PSK bifásica consiste en originar un desplazamiento de 180 grados de la portadora cuando la señal binaria, moduladora, de banda base cambia de estado. Si la señal binaria no cambia de estado la portadora mantendrá su fase, como se ilustra en la figura



MODULACIÓN ANÁLOGA EN FIBRAS ÓPTICAS

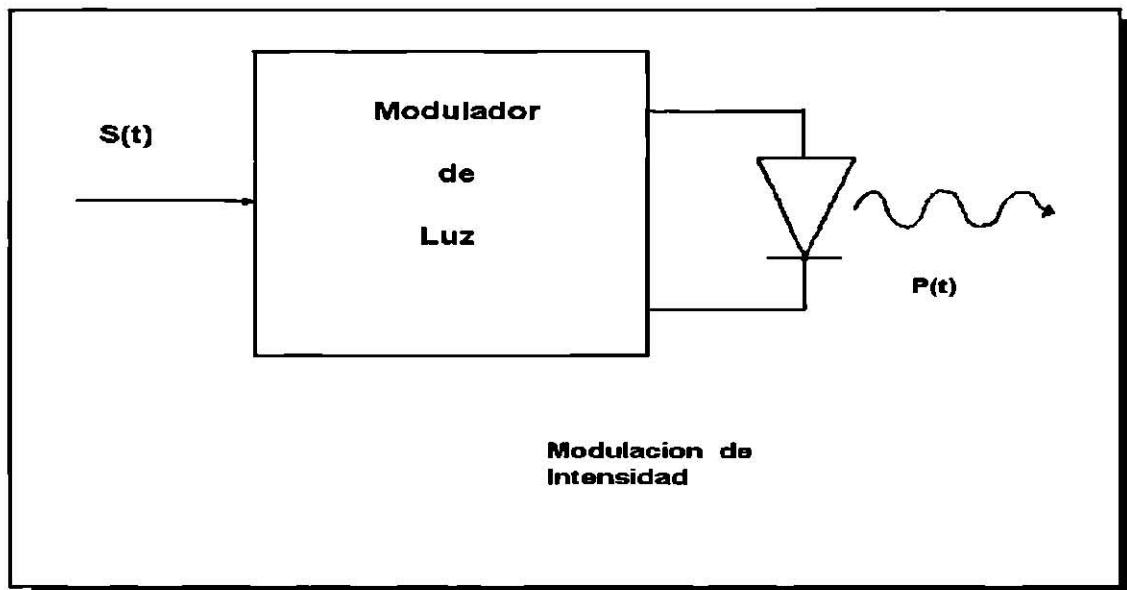
Hay una variedad de formatos de modulación que pueden ser usadas con LEDs y LÁSERs en un sistema de fibras ópticas. Las formas mas comunes de modular para transmitir señales en forma digital y analógica son PCM y modulación por intensidad (IM) respectivamente.

Los sistemas con fibras ópticas son diseñados principalmente para señales digitales, sin embargo, en varias situaciones se puede aplicar para transmitir señales analógicas.

MODULACIÓN DE INTENSIDAD (IM)

Los sistemas de transmisión analógicos por fibras ópticas están diseñados principalmente para la transmisión de señales de vídeo. Son muy atractivos para esta aplicación, dada la simplicidad de sus circuitos y a su bajo costo en comparación con las terminales de vídeo digitales.

La técnica análoga mas simple es usar modulación de amplitud o de intensidad de la fuente (IM). En este esquema la señal eléctrica variante en el tiempo $s(t)$ es usada para modular directamente una fuente óptica, variando en torno a un nivel de polarización adecuado, la corriente que circula por la fuente óptica. El punto de operación esta definido por la corriente de polarización I_B , como se muestra en la figura.



La potencia óptica transmitida $P(t)$ es de la forma :

$$P(t) = P_t(1 + mS(t))$$

Donde:

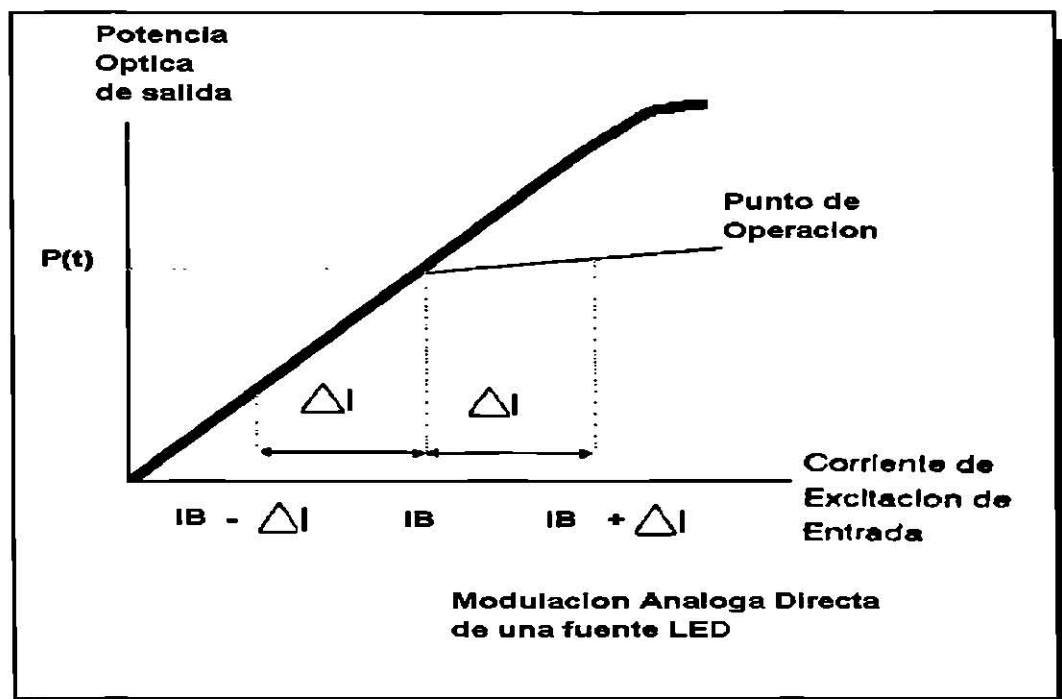
P_t = La potencia óptica promedio transmitida.

$S(t)$ = La señal de modulación análoga.

m = Índice de modulación $m = \Delta I / I_B$

Si I_B es la variación de la corriente alrededor del punto de operación. Para no introducir distorsión en la señal óptica, la modulación debe de ser restringida a la región lineal de la curva de salida de la fuente de luz, como se ilustra en la siguiente figura.

También si $\Delta I / I_B$, la proporción mas baja de la señal llega a cortarse y producir una gran distorsión. De esta forma la amplitud de la señal de entrada es convertida directamente a variaciones de amplitud del haz de luz que entra a la fibra óptica.



La señal de información puede transmitirse directamente en forma de banda base o incorporarse en una portadora eléctrica por medio de una modulación de amplitud (AM-IM) o de frecuencia (FM-IM).

Las características no lineales de la fuente de luz afectan la calidad de la transmisión en las técnicas de modulación de banda base IM y AM-IM.

Las fuentes LEDs que existen en mercado, solo permiten obtener la alta calidad propia de los estudios cuando se utilizan índices de modulación bajos; esto se traduce en una menor distancia entre los repetidores, ya que la potencia de la señal obtenida es baja. Existen técnicas para compensar las no linealidades de las fuentes de luz.

Una de las desventajas de la modulación analógica es que, requiere una relación señal - ruido muy alta (mayor a 40 dB), en el receptor. Otra es que son muy susceptibles a la distorsión armónica debido a la no linealidad en las características de la fuente de luz.

TRANSMISIÓN DIGITAL

La ventaja mas importante de la transmisión digital es notaria cuando se manejan señales débiles. Todos los detectores tienen un ruido interno inherente que afecta a las señales que entran al detector en un mayor o menor grado.

Ya que los pulsos digitales están presentes o ausentes, ellos pueden ser detectados con bajo probabilidad de error aun en la presencia de un ruido significativo. Por ejemplo son una relación de señal a ruido de 21 dB solamente de un pulso en un billón se perderá en el ruido de fondo. Para señales análogas, por lo tanto, cualquier ruido tiende a distorsionar el mensaje; por lo tanto para que la señal sea satisfactoriamente reproducida, la relación señal ruido debe de ser mayor de 21 dB. Típicamente una relación de 60 dB, es requerido, esto es que la señal debe de ser un millón de veces mayor que la señal de ruido.

La mayor tolerancia de ruido de los sistemas digitales significa que las señales digitales pueden ser transmitidas mas lejos antes de que requieran amplificación. Otra ventaja de la transmisión digital cae en lo fácil que los pulsos digitales pueden ser detectados y regenerados.

TÉCNICAS DE MODULACIÓN DIGITAL.

En estas técnicas, no se modula una portadora continua si no lo que se hace es discretizar la señal analógica y enviar una cadena de pulsos, cuyas características serán enviadas por la señal de mensaje. Por esta razón también se les llama modulación por pulsos.

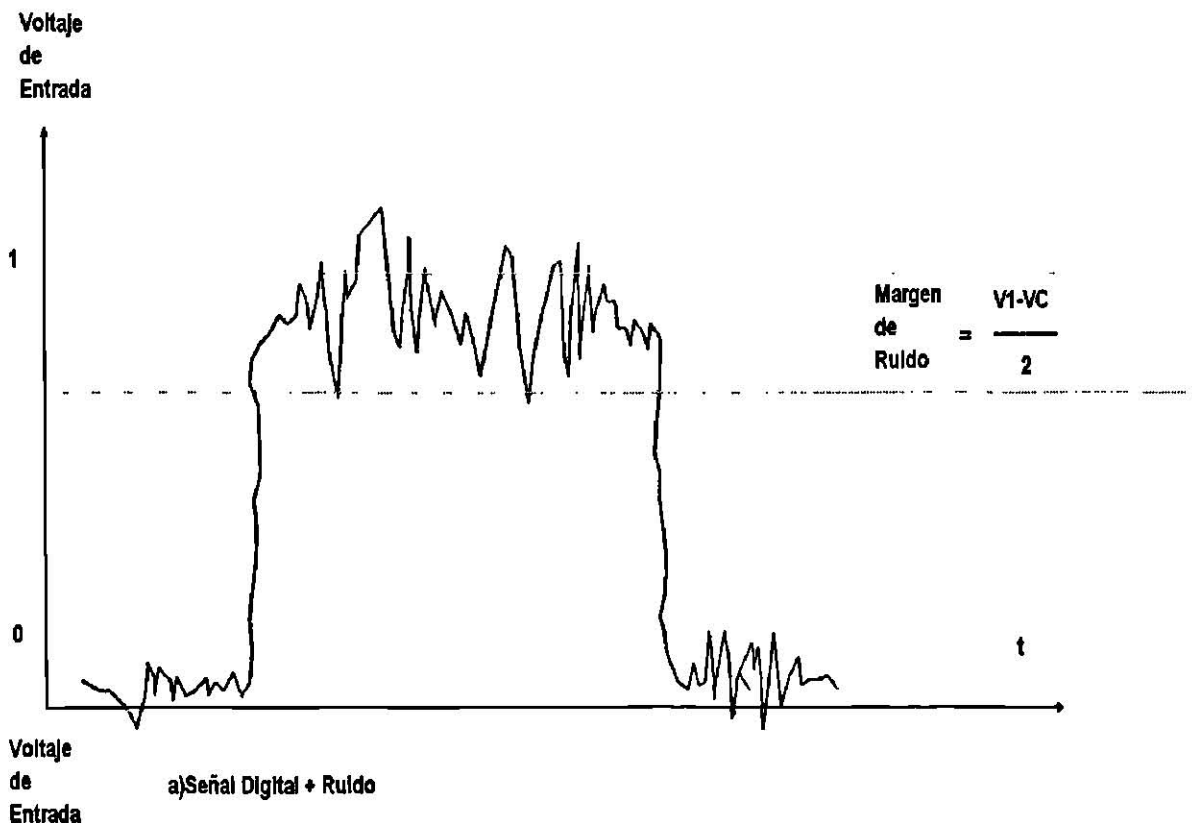
Los tipos de modulación por pulsos mas usados son:

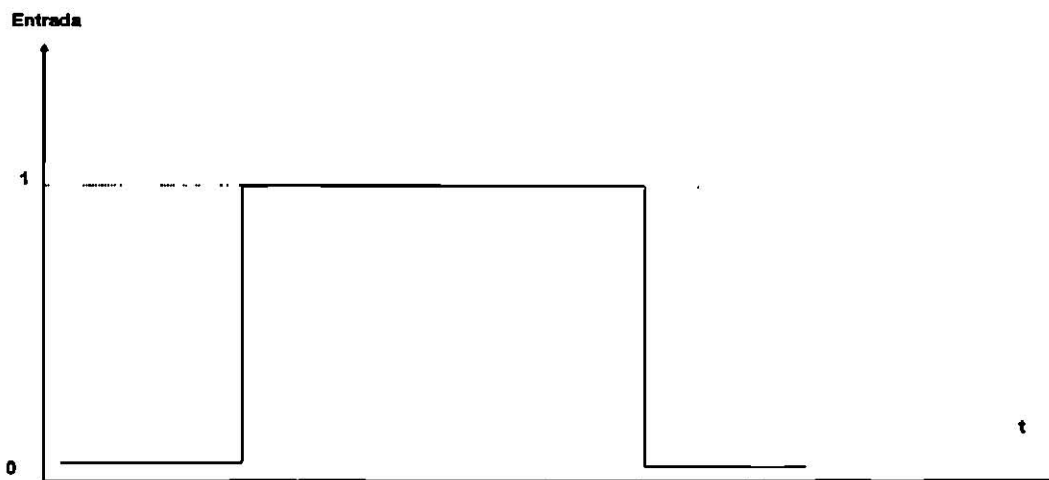
- ◆ PAM (modulación por amplitud de pulsos)
- ◆ PWM (modulación por ancho de pulsos)
- ◆ PPM (modulación por posición del pulso)
- ◆ PCM (modulación por código de pulso)

Para comunicaciones ópticas la técnica preferida es la de PCM. Cuando la amplitud de los pulsos es variada para representar información análoga, el método es llamado modulación por amplitud del pulso mejor conocido como PAM. Este método es muy susceptible a interferencia de ruido eléctrico. La señal analógica muestreada a una frecuencia de al menos el doble de la frecuencia máxima del mensaje a discretizar, esta es la frecuencia de muestreo f_s (ó de Nyquist), para poder recuperarlo en el receptor sin pérdida de información.

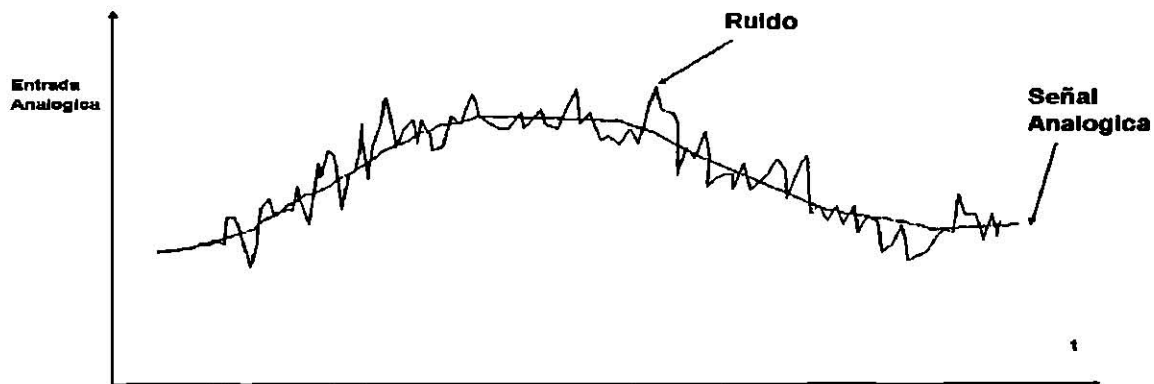
El segundo método llamado, PWM ó modulación por ancho de pulso, la información es representada variando el ancho de los pulsos. Estas dos técnicas son usadas en equipo de conmutación telefónica tal como un PBX.

En PPM, se varia la posición de los pulsos dentro de un grupo de pulsos (trama) para representar la información. Si ahora se toma una señal PAM y las amplitudes de las muestras son codificadas a señales binarias representarlas por pulsos de amplitud constante, los cuales se transmiten, hemos obtenido una señal en PCM. De esta forma se resuelve el problema de susceptibilidad a ruido de una señal PAM.





b) Señal Digital Recuperada de Ruido



c) Señal Analógica + Ruido

Efectos del Ruido en Señales Electrónicas

MODULACIÓN POR PULSOS CODIFICADOS (PCM)

La codificación digital está siendo adoptada para sistemas comerciales de comunicación con onda de luz porque tiene muchas ventajas sobre codificación analógica ó de amplitud.

En PCM, la amplitud ó altura de la forma de onda de entrada es muestreada electrónicamente a intervalos regulares. Para exactitud en la

representación de la onda debe de ser muestreada al doble de la componente de frecuencia mas alta de la señal. Entonces una señal de voz, cuya máxima

frecuencia de 4 Khz, debe de ser muestreada a 8000 veces por segundo. Las alturas de las muestras individuales son codificadas en una secuencia de dígitos binarios 0's y 1's. Para transmitir un uno puede ser representado por un pulso y un cero por la ausencia de pulso.

En un sistema típico de voz a la altura de la forma de onda de cada punto se le asigna un valor entre 0 y 255, el cual requiere de una secuencia de 8 bits. ($2^8 = 256$). Por lo tanto, para muestrear una onda de voz por un segundo, el sistema digital requiere de 64000 bits (8000 muestras en un segundo, de 8 bits cada una). Aunque los pulsos de luz son degradados al pasar por la fibra óptica, los pulsos pueden ser limpiamente regenerados para reconstruirlos en su forma original fielmente.

COMPONENTES DE UN SISTEMA ÓPTICO BASADO EN PCM

Los componentes principales de un sistema PCM son:

1. - **Filtro Pasa Bajas.**- La señal analógica se pasa por un filtro pasa bajas con el fin de limitar su banda, para asegurarse de que no existan componentes de frecuencia mayores que f_{max} . Esto se hace para evitar empalmes al momento de muestreadas.
2. - **Circuito Muestreado/Retenedor (S/H).**- Tiene dos funciones: muestrear la señal a una frecuencia de al menos el doble de la frecuencia máxima de la señal analógica f_s mayor igual a $2 f_{max}$. Ó sea discretiza la señal analógica en señales de PAM. El retenedor (HOLD) "congela" las señales por un instante de tiempo suficiente para que el convertidor análogo digital termine la conversión de la muestra a código binario.
3. - **Convertidor Análogo Digital.**- Su función es cuantizar las muestras convirtiéndolas a un código binario.
4. - **Transmisor Óptico.**- Aquí la fuente de luz es modulada por la señal binaria y el haz de luz es acoplado a la fibra óptica.

5. - **Receptor Óptico.**- En el otro extremo de la fibra, la luz es capturada por el receptor en donde el Fotodiodo convierte la señal de luz en una señal eléctrica binaria.
6. - **Convertidor Digital Analógico.**- Toma la señal binaria y la convierte en una señal equivalente PAM.
7. - **Muestreador Retenedor (S/H).**- Este circuito elimina componentes de ruido introducidos en el proceso de reconversión.
8. - **Filtro Paso Bajas.**- Elimina las componentes de alta frecuencia generadas en el muestreo. Analiza la señal para recuperar finalmente la señal analógica continua limpia.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE PCM

Las ventajas principales de PCM son las siguientes:

- I.-Las señales digitales toleran grandes cantidades de atenuación o distorsión sin desagradar severamente la información ya que el receptor solo tiene que realizar dos niveles de decisión. Esto generalmente se traduce en incremento en la distancia entre repetidores.
- II.-Esta técnica es idónea para trabajar con fuentes de luz como LEDs y LDs ya que las no linealidades de la fuente no afectan a la señalización de dos niveles.
- III.-Facilidad de multiplexar el equipo en el tiempo abatiendo los costos.

Las desventajas mas importantes del PCM son:

- Se requiere un ancho de banda mucho mayor que la señal misma.
- Se requiere equipo especial para adaptados a canales analógicos existentes, y para hacer la conversión de analógico a digital.
- El codificado, el procesamiento de las señales analógicas aumentan el mecanismo de ruido que es muy distinto al existente en sistemas analógicos.
- Es más costoso que su contraparte analógico.

TÉCNICAS DE MULTIPLEXAJE

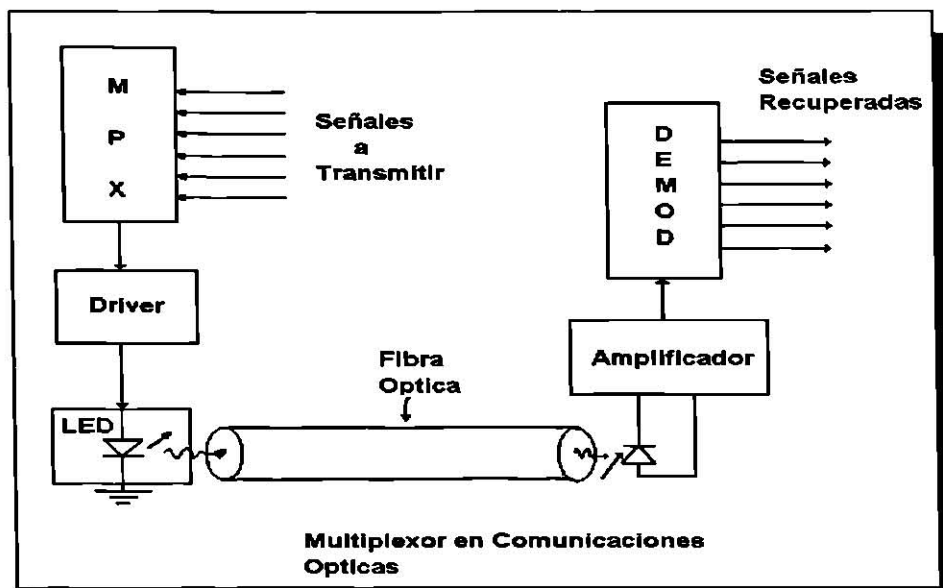
La implementación de un canal de comunicación es muy costosa, este costo puede reducirse en lugar de que un solo usuario utilice todo el canal, ampliando la capacidad del canal, varios usuarios pueden compartir las facilidades del canal.

Multiplexaje o multicanalización es una técnica que permite que varios mensajes sean transmitidos simultáneamente sobre una trayectoria común. Para dividir la trayectoria física se usan básicamente dos técnicas, a saber:

- Multiplexaje por división de frecuencia (FDM)
- Multiplexaje por división de tiempo (TDM)

Además hay otra técnica, que es de uso exclusivo para comunicaciones ópticas, Multiplexaje por división de longitud de onda. Esta última, es una derivación de FDM.

El multiplexor combina las entradas de varios canales de información a una sola fuente señal compuesta, la cual es usada para modular el LED ó el LÁSER semiconductor, como se ilustra en la siguiente figura.



MULTIPLEXAJE POR DIVISIÓN DE FRECUENCIA (FDM)

El espectro de frecuencia representado por el ancho de banda disponible de un canal puede ser dividido en proporciones de ancho de banda mas pequeños, en donde a cada porción se le asigna una de varias fuentes de señal. Este es el principio en que se basa el FDM.

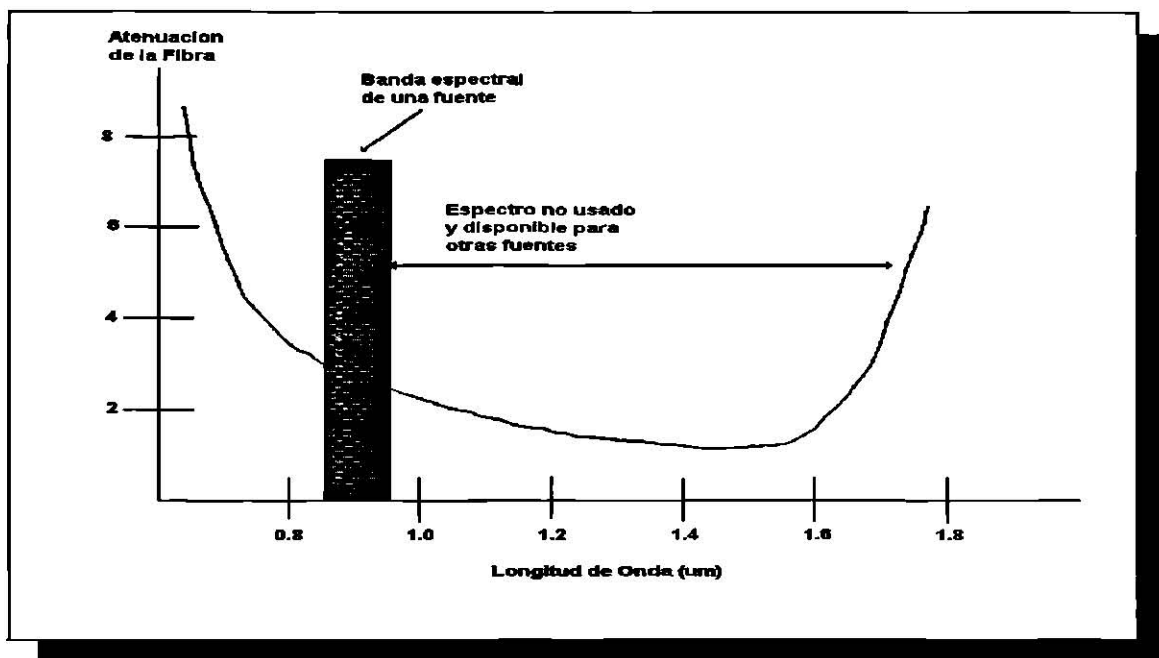
Esta técnica de multiplexaje tiene la desventaja de que se requiere unas bandas extralibres entre subcanal y subcanal para evitar que se interfieran. A estas bandas se les llama bandas de guarda, que limitan la banda útil para enviar información.

MULTIPLEXAJE POR DIVISIÓN DE TIEMPO (TDM)

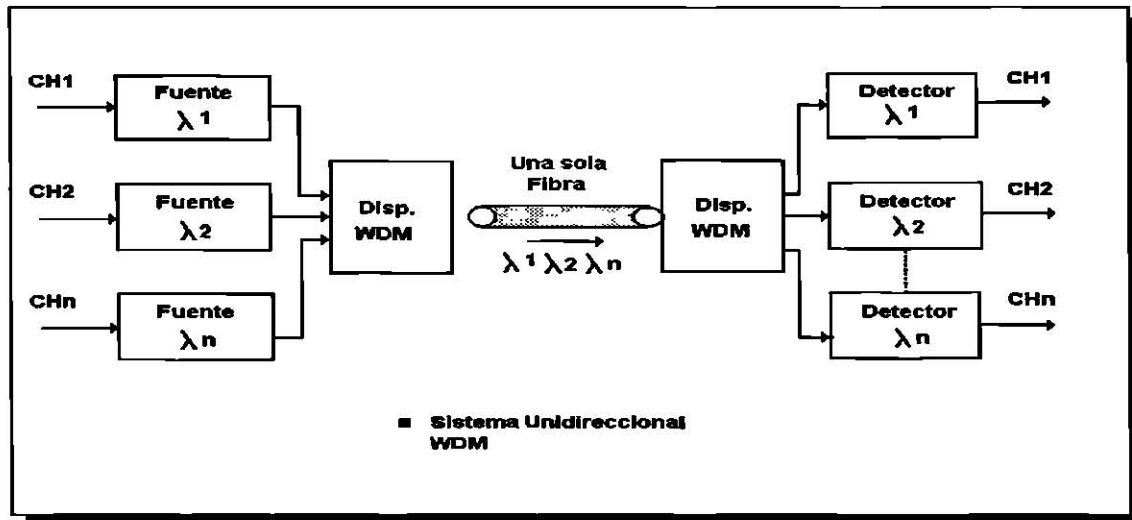
En ésta técnica lo que se hace es compartir en intervalos de tiempo asignados a cada canal en donde cada usuario utiliza toda la banda por un instante de tiempo. Es el método mas utilizado en sistemas digitales.

MULTIPLEXAJE POR DIVISIÓN DE LA LONGITUD DE ONDA (WDM)

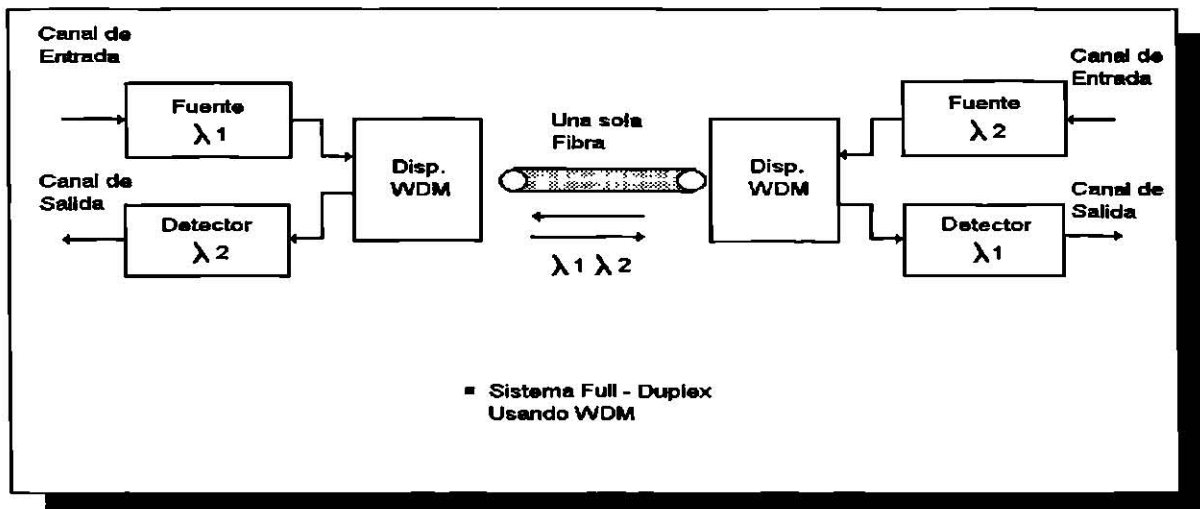
Esta técnica es exclusiva para usarse en comunicaciones ópticas. En un enlace estándar punto a punto una línea de una sola fibra tiene una fuente óptica en su extremo transmisor y un fotodetector en el extremo receptor.



Señales de diferentes fuentes de luz. Ya que una fuente de luz tiene anchos espectrales relativamente estrechos, solamente una pequeña parte del espectro disponible de la fibra óptica se está ocupando para transmitir información. Con las técnica de WDM se hace uso simultáneo de muchos canales espectrales, utilizando varias fuentes de luz, con λ apropiadas para el espectro de la fibra óptica, de donde cada fuente puede mandar mensajes independientemente sin interferirse, como se muestra en la siguiente figura.



Inclusive se puede aprovechar la misma fibra para transmitir en modo bidireccional, usando dos o mas longitudes de onda simultáneamente en direcciones opuestas, como se aprecia en la siguiente figura.



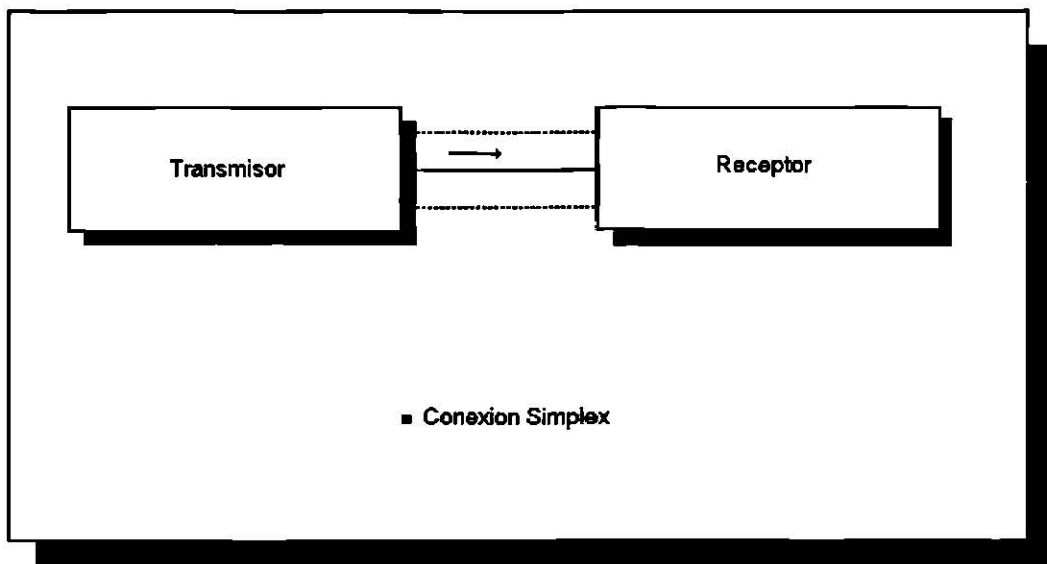
Los equipos multiplexores y demultiplexores son ópticos, y bastante complejos.

MODOS DE TRANSMISIÓN

Los modos de transmisión en un sistema de comunicación nos dice la forma que será utilizado en el canal.

Los modos de transmisión pueden ser :

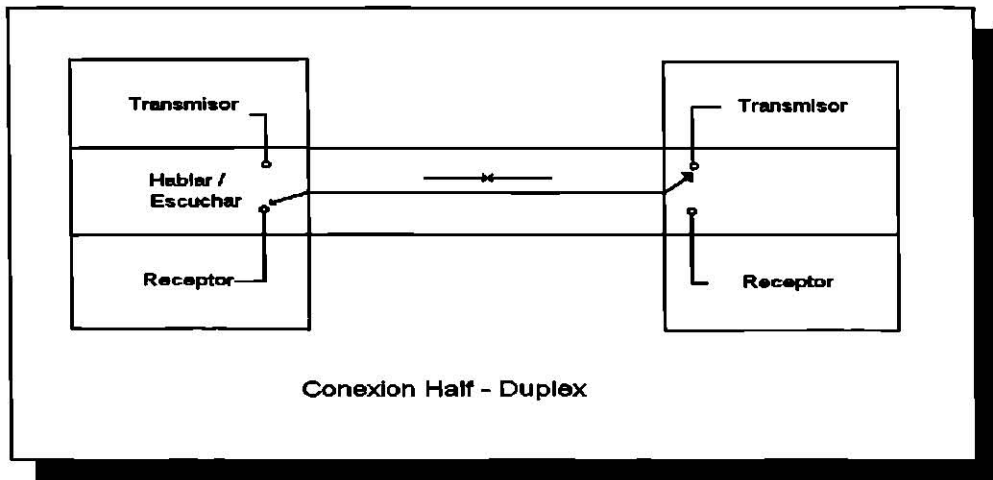
1.- SIMPLEX: Cuando el canal se usa para transportar información exclusivamente en un sentido, esto es que siempre se hará de transmisor a receptor sin que se puedan invertir. Este modo esta ilustrado en la siguiente figura.



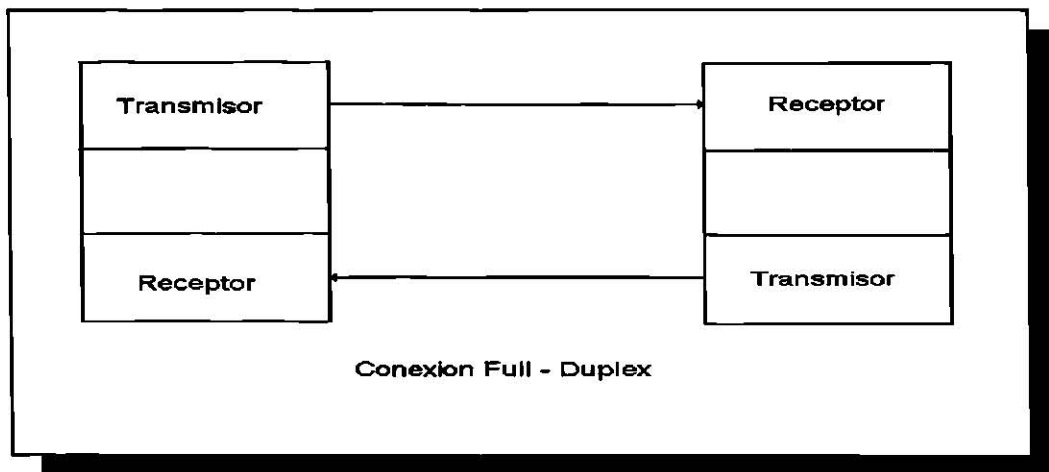
2.- HALF DÚPLEX (HDX): También conocido como semiduplex. En este modo se puede utilizar un canal en ambas direcciones pero no simultáneamente. O sea que en cada extremo del enlace tendremos tanto transmisor como receptor.

En determinado momento el transmisor de un extremo, y el receptor del otro extremo usaran el canal en una dirección y al finalizar la comunicación el otro par de transmisor-receptor lo usaran para hacer la comunicación en sentido contrario.

Esto se logra mediante interruptores como en el caso de un walkie talkie. Como se muestra en la siguiente figura.



3.- FULL DÚPLEX (FDX) : Llamado también dúplex completo. En este modo la comunicación se hace en ambas direcciones y simultáneamente. Esto se puede lograr usando dos canales o uno de banda ancha. Como en la figura siguiente.



MEDIOS DE COMUNICACIÓN

Los enlaces físicos que llevan los datos de una terminal a otra, son conocidos como Medios de Comunicación. La elección del medio de comunicación, depende de las características propias de cada red. Se utilizan como medios de comunicación, por lo general tres tipos de cables:

- ◆ multipar
- ◆ Coaxial
- ◆ Fibras Ópticas

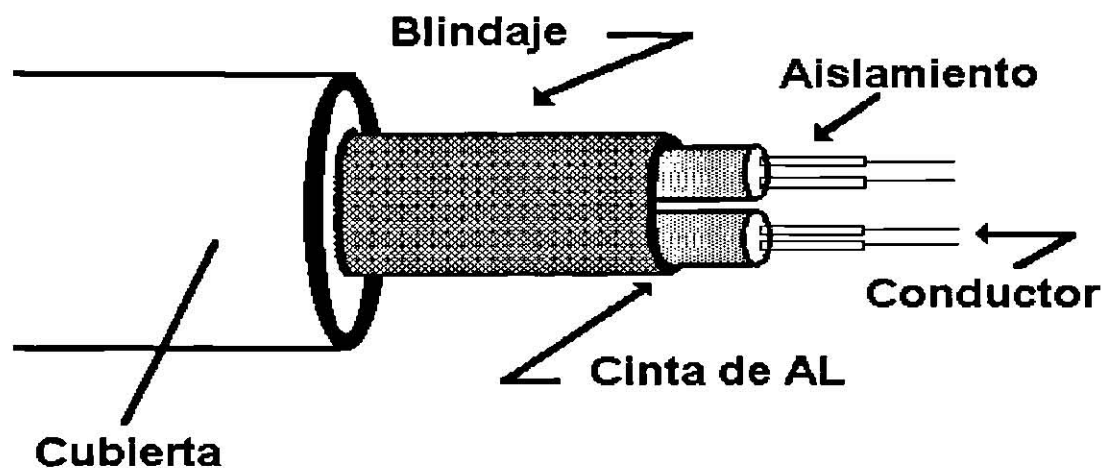
Los cables multipar son cables formados por varios conductores aislados individualmente, torcidos formando pares y reunidos bajo una cubierta externa; pueden llevar blindaje con cintas de aluminio o con malla de cobre estañado.

Estos cables pueden ser:

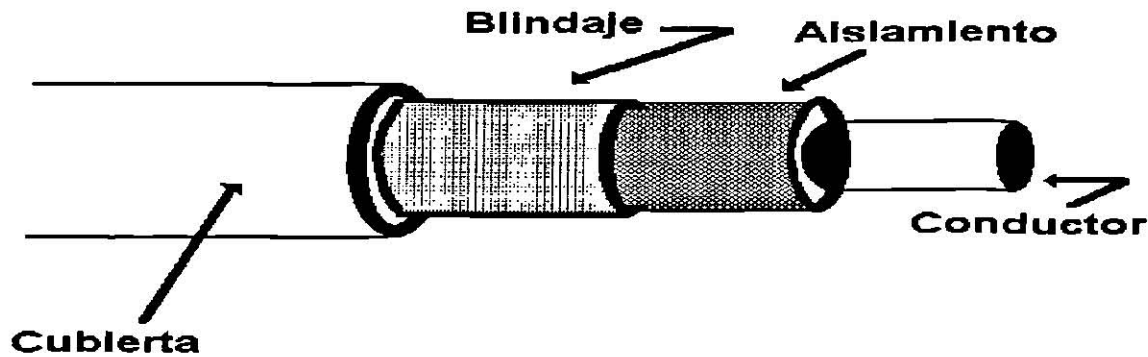
- 1.- Grado Voz (Capacitancia normal)
- 2.- Grado Datos (Capacitancia baja)

Los cables GRADO VOZ son similares a los utilizados en instalaciones telefónicas a nivel de abonados, con aislamiento de PVC o PE y capacitancia entre conductores de 115 pf/m.

Los cables GRADO DATOS están formados con aislamiento individual de PE celular o FEP muy especial para lograr una capacitancia baja del orden de los 40 p/m. Estos cables son apropiados para transmitir en banda base y a velocidades de transmisión bajas y medias no mayores a 4 Mbits.

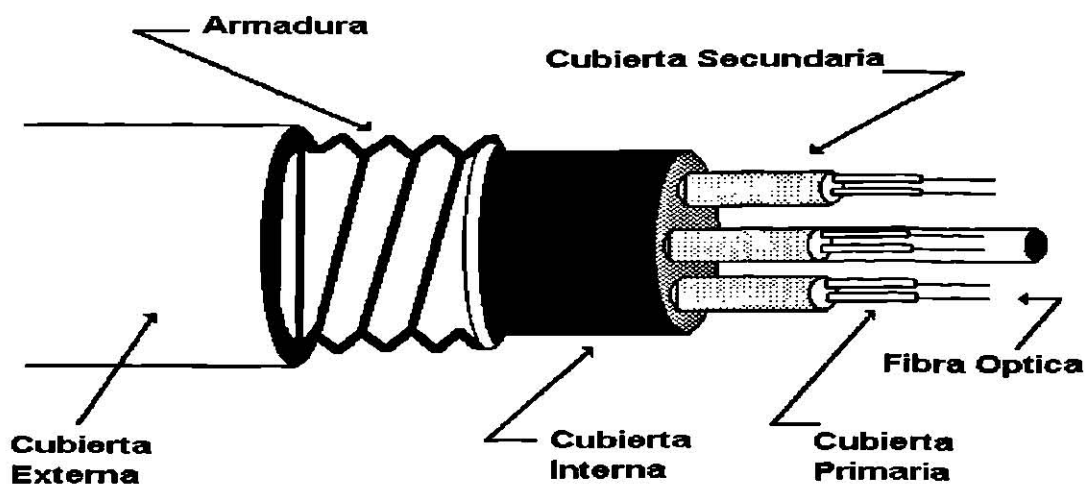


Los **Coaxiales** están formados por dos conductores. El conductor central que viene aislados con material dieléctrico. El conductor externo que envuelve al material dieléctrico y que actúa como blindaje contra radiaciones de RF. Estos cables son apropiados para transmitir datos en banda ancha y a velocidades entre 10 y 100 M bits.



Cable Coaxial

Los cables con **fibras ópticas**, son cables formados por filamentos de vidrio de 0.125 mm de diámetro y de 1.4 kg./Km. Como estos cables transmiten señales luminosas son entonces, 100 % inmunes a cualquier tipo de radiación electromagnética, además, esto los lleva a ofrecer un ancho de banda enorme de 50 Ghz- Km. aproximadamente , permitiendo altas velocidades de transmisión superiores a 100 Mbps atenuaciones muy bajas, del orden de 0.16 dB/Km., eliminándose, así, el uso de amplificadores para enlaces largos.



■ Cable Optico

INSTALACIÓN DE CABLE ÓPTICO

INTRODUCCIÓN

El cable de fibra óptica por su característica de tamaño y peso, permite que sea colocado en grandes longitudes de hasta 5000 metros. Las técnicas usadas para la instalación son similares a la de los cables convencionales. Sin embargo, se requiere de precauciones especiales durante la instalación, esto con el fin de minimizar los esfuerzos de tensión y doblez.

Existen básicamente 5 tipos de instalación del cable óptico :

- a) Instalación en ductos subterráneos
- b) Instalación directamente enterrado
- c) Instalación aérea
- d) Instalación submarina
- e) Instalación en interiores.

INSTALACIÓN EN DUCTOS

INTRODUCCIÓN

La mayor parte del cable óptico instalado para telecomunicaciones en distancias largas, se encuentra en ductos subterráneos. Esto se debe a que se aprovecha la red ductos ya instalados para cables de cobre, también a que pueden manejarse ambos tipos de cable en las nuevas redes de ductos y además permite futuras expansiones a bajo costo.

Antes de iniciar la instalación en ductos o inmersión del cable óptico se deben seguir los siguientes pasos :

- Revisar los planos de la ruta a instalar y comprobar que estos correspondan físicamente a la zona donde se va a trabajar, revisando las condiciones del terreno, el numero de pozos, distancia entre estos y posición del ducto y subducto a utilizar.
- Inspeccionar los pozos y comprobar que se encuentren en condiciones de trabajo.
- Verificar que la trayectoria del cable se encuentre libre de obstáculos en los ductos.

- Comprobar que se tenga todo el equipo necesario y los recursos humanos indispensables, ello incluye el mismo cable, vehículos, protecciones, equipo de comunicación, etc.
- Comprobar que el número de carretes del cable, el número de fibras, la longitud del cable, etc. corresponden al cable a instalar.

La bobina o carrete de cable a utilizar, debe tener los siguientes cuidados para conservar las propiedades del cable al ser instalado.

- Nunca debe dejarse caer el carrete o acostarlo.
- No debe rodarse el carrete para transportarlo, únicamente pequeños movimientos en el sitio de instalación en cuyo caso se deberá seguir el sentido de rodamiento que indica la flecha en el carrete.
- No deben retirarse las tablas de protección del carrete hasta que se comience a realizar la inmersión.
- El cable puede ser transportado en los mismos vehículos que se utilizan para cable metálico convencional.
- Se debe prestar especial cuidado a la tensión aplicada al cable durante su instalación ya que no debe sobrepasarse la tensión especificada en el cable.
- En caso de que el cable óptico sea instalado en ductos telefónicos convencionales de 4" de diámetro, es conveniente subdividir el ducto mediante tubos de diámetro menor elaborado con PE o PVC para aprovechar mejor el espacio del ducto y darle una mayor protección al cable óptico.

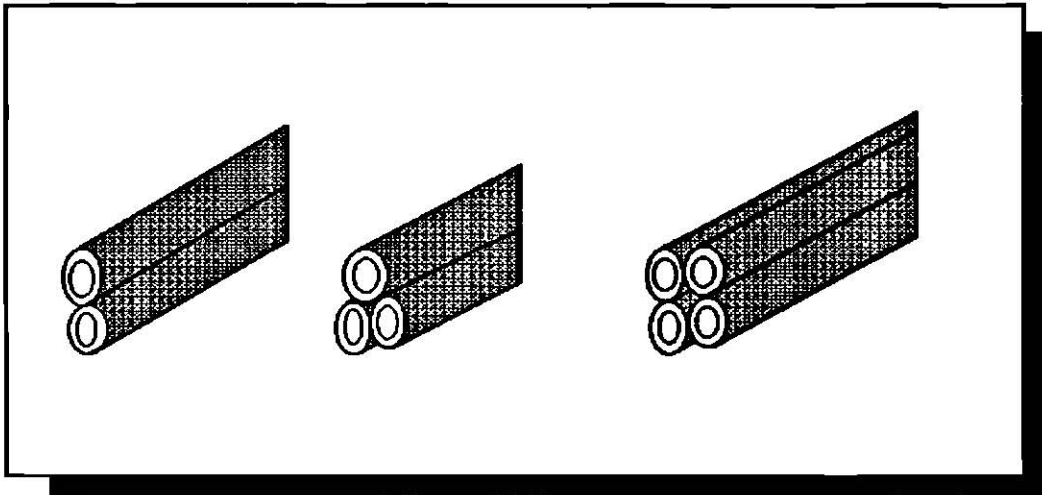
INSTALACIÓN DE LOS SUBDUCTOS

La colocación de los subductos puede hacerse en forma manual o con auxilio de un malacate motorizado, dependiendo de la distancia entre registros.

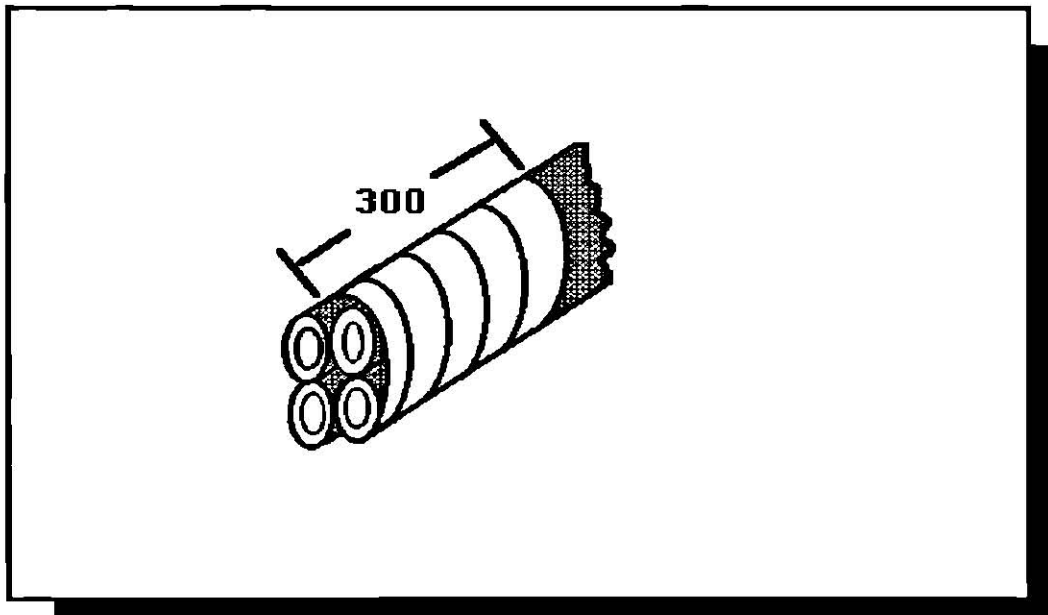
El conjunto de subductos es instalado en el interior del ducto telefónico en una sola operación, para lo cual hay que preparar los subductos.

Preparación de los subductos :

1.- Se acomodan las puntas de los subductos, tal como se muestra en la figura



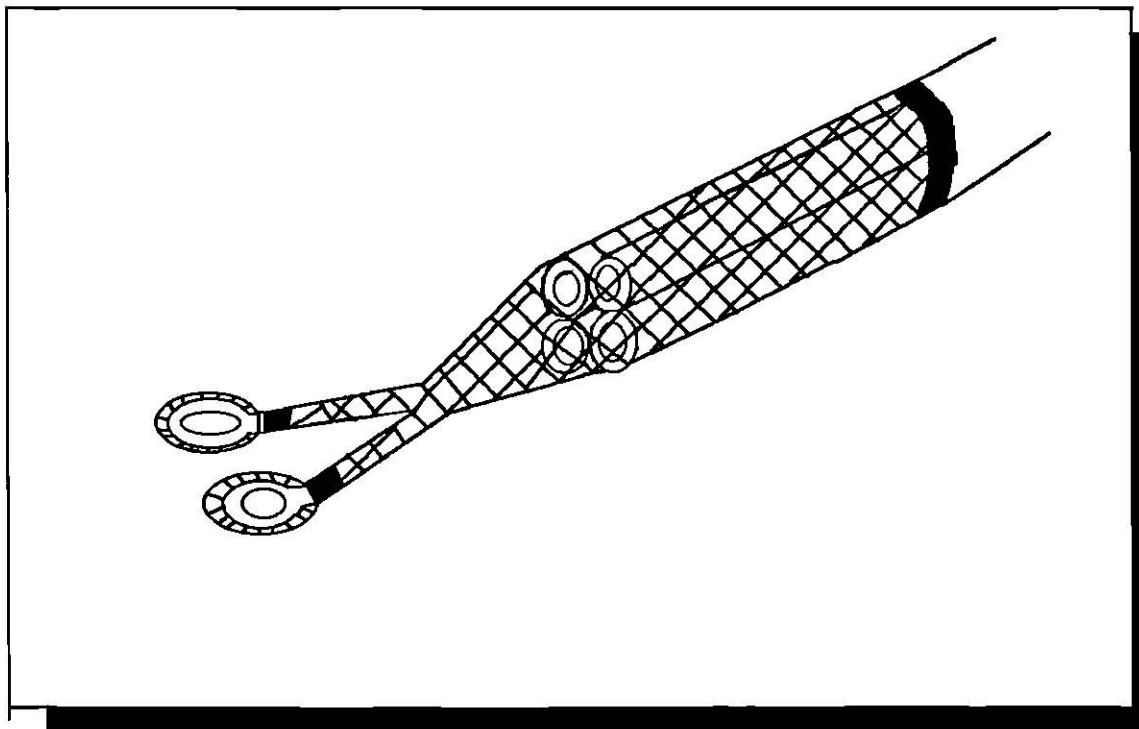
2.- Se enrolla una cinta de PVC alrededor de los subductos, al menos una distancia de 300 mm., como se muestra en la figura.



3.- Se coloca un calcetín de hilos de alambre sobre los extremos de los subductos ya enrollados y se sujeta el extremo del calcetín con alambre o bien en vez del alambre enrollar con cinta eléctrica.

INMERSIÓN

1.- Se coloca una guía de acero dentro del ducto telefónico a subdividir y se acopla al calcetín.



2.- Se coloca en sus respectivas posiciones el malacate motorizado y el surtidor de subductos.

3.- Se coloca el siguiente personal :

- Una persona en cada pozo intermedio.
- Una persona en el equipo de jalado.
- Una persona en el desembobinador de subductos.

4.- Jalar los subductos, verificando que estos no se tuerzan durante el jalado.

5.- Cortar los subductos a 300 mm. de la entrada del ducto principal.

6.- Colocar la tapa divisora de vía y asegurarla al ducto y a los subductos.

7.- Colocar guías en los subductos si es que no traen y fijar tapones en los ductos que no se van a usar.

8.- Identificar cada uno de los subductos.

Materiales Empleados :

- 1.- Ducto de PE con diámetro interno de 32 mm.
- 2.- Tapa divisora de vía.
- 3.- Tapones para subductos.
- 4.- Cinta de PVC.

Herramientas empleadas :

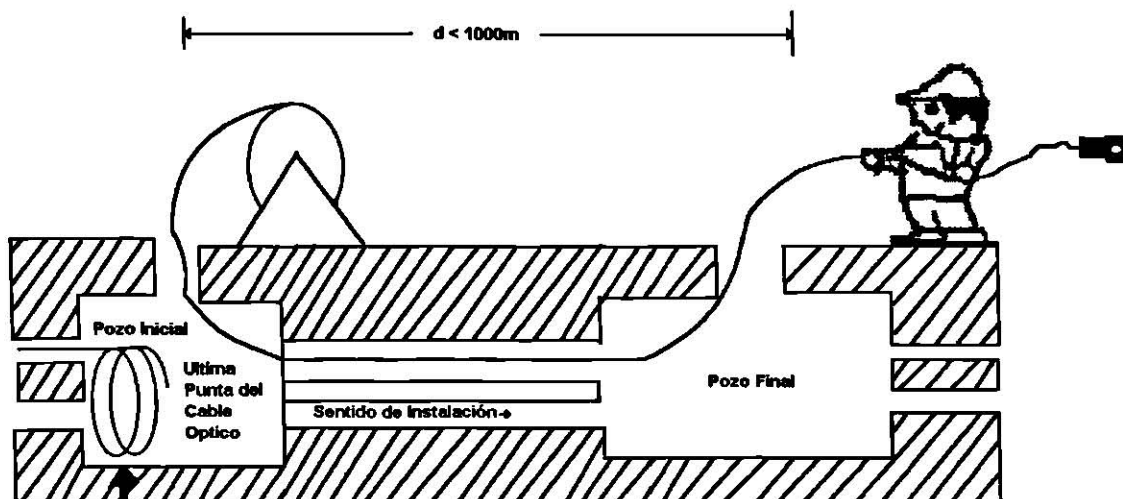
- 1.- Malacate motorizado.
- 2.- Surtidor de subductos.
- 3.- Guía de acero.
- 4.- Calceín.

Para la instalación del cable óptico en subductos o ductos se pueden utilizar dos métodos, estos son : el manual y el mecánico.

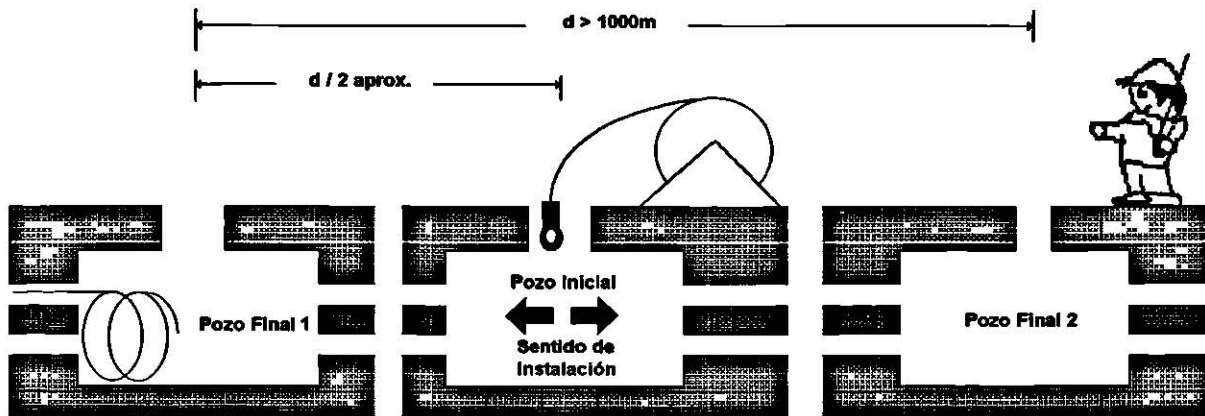
INSTALACIÓN MANUAL :

Como su nombre lo indica en este método solo se utiliza la fuerza manual de los operarios para jalar el cable.

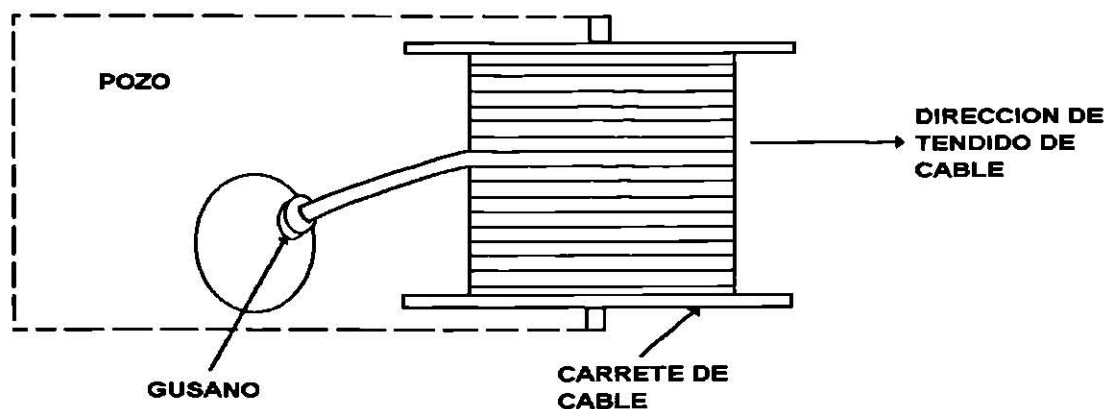
Según la distancia de cable a instalar se puede hacer en una o dos direcciones. En distancias cortas (menores de 1,000 m.), el carrete se coloca en la posición inicial o donde quedo la ultima punta instalada, y se instala el cable en un solo sentido.



Para distancias mayores de 1,000 m. se escoge un punto intermedio colocando ahí la bobina de cable y primero se instala el cable hacia el punto inicial y después en el sentido opuesto hacia el punto final.



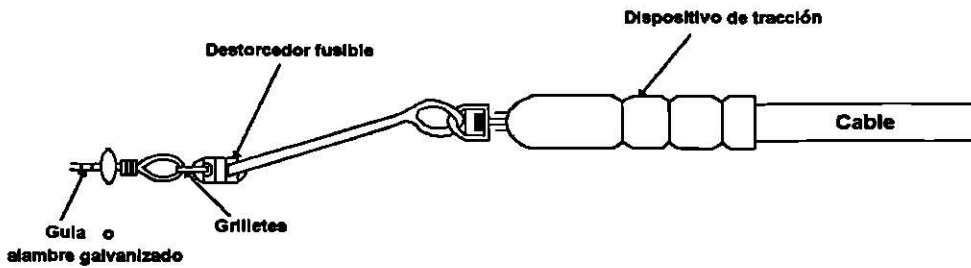
El carrete debe primeramente colocarse en el pozo de entrada, esta colocación se determina considerando el sentido de tendido del cable, ya que debe de estar en la misma dirección por encima de la ruta como se observa en la figura.



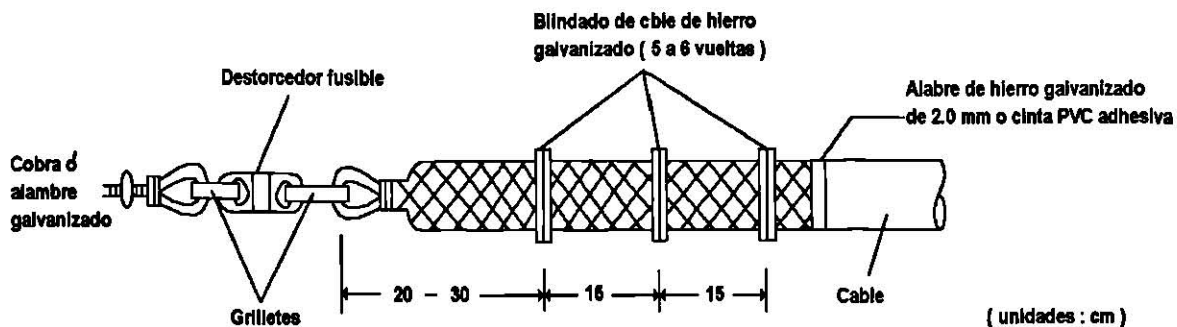
Esto es para que el cable desarrolle una curva en el mismo plano que la ruta.

Una vez colocada la bobina se debe preparar el extremo del cable para soportar la tensión de jalado. Para ello se utilizan dos métodos dependiendo del tipo de terminación que tiene el cable.

Cuando el cable termina con un dispositivo de tracción solo se necesita colocarle un destorcedor-fusible y unirlo a la guía si el cable será jalado por un subducto o se une a un alambre galvanizado si el cable es jalado por el espacio entre ductos.



Si el cable carece de dispositivo de tracción se tendrá que utilizar un calcetín, unido a un destorcedor-fusible. Este a su vez va unido al alambre galvanizado o a la guía de acero también llamada cobra.



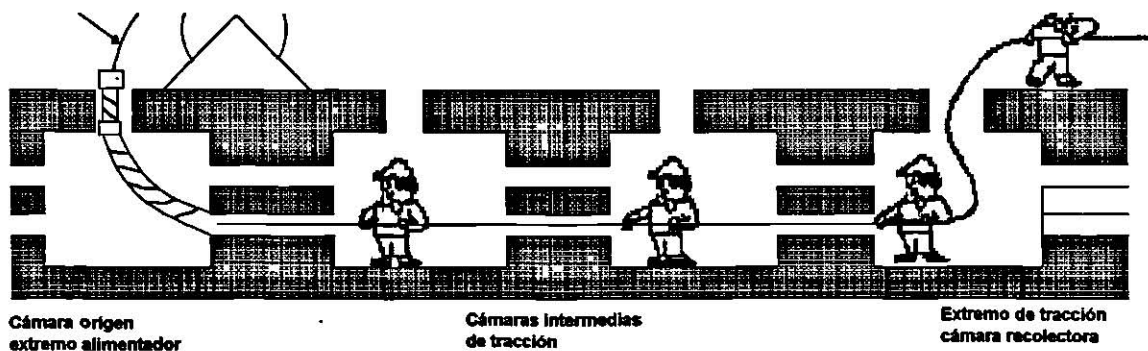
La función del destorcedor-fusible es evitar torsiones indeseables en el cable durante su jalado, además que existan sobre el cable tensiones mayores que las permitidas.

En ocasiones en la entrada al pozo se utiliza un tubo flexible o gusano y una boquilla de campana para proteger el cable de daños. Estas protecciones se colocan únicamente si el cable se jala solo hacia un sentido, o bien si pueden desmontarse axialmente el tubo flexible o la boquilla.

Debe considerarse una zona amplia para el desembobinado del cable y en el caso de que sea una instalación en dos direcciones, debe además contar con un espacio extra para formar los ochos, con aproximadamente 15 a 25 metros cuadrados se tiene un sitio adecuado.

En el caso de que no se disponga de este espacio en el pozo de entrada, este se traslada a algún pozo adyacente, de preferencia los que estén en dirección del pozo final.

En este método es necesaria la presencia de al menos un operario en cada pozo o registro a lo largo del tramo donde se esta jalando el cable. Esto es con el propósito de reducir la tensión aplicada al cable.



En pozos donde existen cambios de nivel o cambios de dirección pronunciados, se colocan hasta cuatro operarios en el pozo. Según el peso del cable, el número de operarios disponibles y la trayectoria de la ruta, puede ser necesario sacar el cable en pozos intermedios. Así en tramos de 1,000 m. se recomienda sacar el cable en tres pozos intermedios a 330 m. Sin embargo si la ruta tiene solo ligeros cambios de nivel y dirección y se cuenta con personal suficiente, se pueden jalar los 1,000 metros de una sola vez.

Se debe tener también una zona amplia en los pozos intermedios para elaborar los ochos, y poderlos voltear.

Una vez establecidos estos puntos el procedimiento para la inmersión del cable es :

- a) .-Se coloca el vehículo con el carrete en el lugar escogido.
- b) .-Se prepara la punta del cable como se describió anteriormente.
- c) .-Se instala la guía de acero o cobra en el pozo de entrada y en el ducto o subducto asignado.
- d) .- Una vez insertada en el ducto o subducto se impulsa la guía del pozo inicial al siguiente pozo.
- e) .- El operario del siguiente pozo recibe la guía y la inserta en el siguiente subducto de manera muy rápida para no variar la tesón sobre el cable. Esta operación se hace en los pozos subsecuentes.

Durante esta operación se deben supervisar :

- El trabajo conjunto
 - La comunicación entre operarios
 - El desembobinado del cable en forma continua, sin golpeteos y jalones.
 - La entrada del cable a la boca del pozo de manera que no se golpee o raspe.
- f) -Al llegar la guía al pozo de salida esta se dirige a la boca del pozo para sacarlo a la superficie. También debe cuidarse que no se golpee o raspe el cable con la boca del pozo. Una vez que va saliendo el cable se comienza a formar figuras de ocho sin permitir que se rebase el radio mínimo de curvatura y que el cable se comprima en exceso al encimar los cables unos sobre otros. Cuando ya se tiene formados los ochos estos se voltean para que la punta quede hacia arriba.
 - g) .-Para llegar a los pozos intermedios subsecuentes se repiten los pasos c) a f) hasta llegar al pozo final de salida en donde se saca el cable dejando aproximadamente 15 m. para la elaboración del empalme. Al utilizar el método de dos direcciones se tiene dos pozos de salida final; el pozo de entrada es el inicio a ambos, se encuentra en medio de la ruta. Ya que primero se lleva el cable de la mitad de la ruta al principio, ahí se dejan tendidos 15 m. para la elaboración posterior del empalme y después se proporciona mas cable para el acomodo de este en los pozos comenzando con el pozo donde se termino, y terminando en el pozo donde esta el carrete.

- h) .-Una vez terminada esta primera etapa se desembobina el resto del cable formando las figuras de ocho, como en este caso son alrededor de 1,000 metros los que forman los ochos, se debe tener mayor cuidado en la compresión del cable encimado. Por ello es recomendable formar dos puntos de intersección en el centro del ocho.
- i) .-Una vez desembobinado el resto del cable se proceden a efectuar los puntos b) a g), nuevamente hasta llegar al punto final de la ruta y reacomodando el cable en todos los pozos.
- j) .-Si no se va a empalmar en ese momento el cable, este debe guardarse cuidadosamente y si es posible se debe volver a colocar una cubierta al extremo del cable.

INSTALACIÓN MECANIZADA

Este método utiliza equipo mecánico de tracción (malacate) para la instalación del cable en el ducto. En este método la tensión ejercida sobre el cable es mucho mayor que en el método manual por lo que debe monitorearse la tensión mediante dispositivos de medición.

La misma fuerza de tensión hace posible que el cable se pueda instalar de una sola vez en 1,000 mts. sin necesitar de un gran numero de operarios, no obstante si la ruta tiene una trayectoria con varios cambios pronunciados de nivel y dirección, se tendrá que hacer la inmersión por etapas.

El cable debe llevar los mismos cuidados en su preparación y transporte que en el método manual y además se debe supervisar de cerca la instalación del cable en el mecanismo de tracción para que el equipo no dañe al cable.

En este método se utilizan poleas montadas en los pozos cuando en estos existen cambios de dirección o de nivel. El montaje y la colocación deben hacerse con cuidado para evitar dobleces, esfuerzos o roces no deseados en el cable. También es recomendable utilizar la boquilla y el tubo flexible o gusano en el pozo de entrada. En ocasiones se aprovecha la boquilla para aplicar el lubricante al cable.

Se deben instalar equipos de monitores de velocidad y de tensión de jalado. De ser posible, también debe controlarse el proceso mediante este monitoreo estableciendo limites para la carga para la protección del cable.

Es necesario tener una muy buena comunicación entre operarios. Los sistemas convencionales de señalización como banderas o señales de mano no pueden utilizarse ya que la distancia entre el carrete y el equipo mecánico de jalado es muy grande (1 a 1.5 km.). Por ello se recurre a la comunicación por radios portátiles, tal y como se muestra a continuación.

Una vez determinados todos estos factores, el procedimiento para la instalación del cable en los ductos es similar al método manual.

- a) .-Colocar carrete, operarios y equipos en los lugares asignados.
- b) .-Preparar la punta del cable.
- c) .-Instalación de guía de acero del pozo inicial al pozo donde esta el equipo.
- d) .-Acoplar los extremos de la guía del cable y el equipo. Acomodar la guía en las poleas montadas en los pozos respectivos.
- e) .-Operar el equipo de jalado y los equipos de monitoreo. Debe supervisarse toda la ruta en especial el proceso de desembobinado, los pozos critico y el equipo de tracción .
- f) .-Al llegar el cable al pozo de salida, se dejan 15 m. para la elaboración del empalme. Se suministra el cable para el acomodo en los pozos, esta operación puede hacerse manualmente.
- g) .-En caso de que se haya realizado la instalación en dos direcciones, se desembobina el resto del cable y se forman los ochos.
- h) .Se coloca el equipo de tracción, los operarios y las protecciones y se repiten los puntos b) a f).
- i) .-Si no se empalma en ese momento se acomoda el cable, se protegen sus puntas y se guarda en el pozo respectivo.

INSTALACIÓN DIRECTAMENTE ENTERRADO

La ruta propuesta para el cable enterrado debe ser revisada antes de iniciar los trabajos de construcción. Es necesario determinar con exactitud la localización de todos los puentes, curvas, cables de energía enterrados, tuberías de gas y agua y de otros cables telefónicos enterrados y complementar con las profundidades de todas estas y localizar los puntos de intersección.

La localización de las cajas y puntos de empalme deberá definirse por adelantado en cualquier trabajo. Determinando así mismo las condiciones del

suelo a lo largo de la ruta del cable para la selección de la maquinaria y equipo de restauración adecuado.

Se debe dejar una cantidad de cable suficiente para hacer una espira en las cajas de empalme. Los puntos de empalme deberá determinarse de manera tal que todo el trabajo de unión se realice en la superficie.

La instalación de cables directamente enterrados, requiere de una supervisión muy estrecha, debido a que las operaciones de apertura, colocación del cable y cerrado de la zanja se realizan con bastante rapidez, si se utiliza una maquina excavadora que en general este es el método mas económico para instalar cables ópticos directamente enterrados. Además que una vez enterrado el cable es imposible realizar una inspección visual. Deberá tenerse especial cuidado para evitar que el cable se dañe al colocarse en la trinchera y no se excedan os radios mínimos de cobertura. En los lugares en que el avance de la maquina excavadora sea impedido por algún obstáculo o donde existan cambios repentinos de nivel significantes, el cable deberá desenterrarse y revisarse para comprobar que no ha sufrido daño.

Durante la operación de enterrado del cable se vigilara que no se produzcan obstrucciones, que la alimentación sea continua y que se mantenga la profundidad adecuada. Para evitar tensiones excesivas sobre el cable se debe empezar la operación de excavado a la velocidad mas baja posible y lubricando constantemente el eje de la bobina para que gire libremente. Cualquier cambio en la velocidad del excavador puede ocasionar un cambio en la velocidad de suministro del cable y provocando una sobre tensión en el cable. Al tender el cable mediante el excavador hay que evitar las curvas agudas, puesto que ello puede dañar a las fibras dentro del cable, aunque el cable físicamente no presente ningún daño.

Cuando se levante el brazo de arado del excavador, se hará en forma lenta y gradual para evitar que el cable se dañe al salir del tubo surtidor. Cuando sea necesario hacer retroceder el excavador para superar algún obstáculo, el brazo de arado deberá de levantarse ya que de lo contrario el cable se dañara severamente, llegando inclusive a trozarse. Se recomienda que la apertura de zanjas se haga con un método mecanizado reduciendo al mínimo la excavación manual. Además el ancho de zanja no debe ser mayor a los 10 cm. para obtener una máxima de velocidad y eficiencia.

Debe cuidarse que el cable a ser enterrado no tenga contacto con rocas, piedras u objetos puntiagudos y pesados dentro de la zanja. Se acostumbra cubrir el fondo de la zanja con tierra cernida o arena antes de colocar el cable y cubrir el cable también con varios centímetros de tierra cernida o arena antes de rellenar nuevamente la zanja. Sin embargo, cuando se usan maquinas excavadoras que entierran el cable en una sola operación, se envuelve el cable con un ducto protector de polietileno de alta densidad al momento de la inmersión.

Cuando se emplea el método manual, se debe tener mucha precaución al momento de hacer la tracción del cable dentro de la zanja, ya que este puede dañarse con los materiales abrasivos que se encuentren y vigilar que no se apliquen tensiones excesivas sobre el cable.

Generalmente los cables ópticos enterrados manualmente son muy susceptibles de dañarse en las operaciones de tendido y rellenado de zanjas que cuando se entierran mecánicamente. Los cables ópticos enterrados se instalan normalmente a una profundidad de 0.6 a 0.9 metros. En los campos agrícolas, la profundidad debe ser mayor, para permitir que los trabajos de labranza se realicen sin afectar el cable.

Después que se ha instalado una sección de cable, esta debe probarse con el fin de verificar que no haya daños en el cable.

INSTALACIÓN AÉREA

Existen dos tipos de cable para ser usados en instalaciones aéreas :

- a) El cable óptico auto soportado
- b) El cable óptico para sujetarse a un alambre de suspensión externo

Los cables ópticos auto soportados pueden instalarse siguiendo los métodos empleados para los cables de cobre convencionales y teniendo la precaución siempre de no exceder los radios mínimos de curvatura del cable (de acuerdo a lo especificado por el fabricante) y de aplicar siempre la tensión sobre la guía de suspensión incorporada al cable.

Para reducir la catenaria y evitar que el cable sea agitado por el viento, hay que aplicar una tensión bastante alta sobre la guía de suspensión y torcer el cable óptico sobre su propia guía aproximadamente una vuelta cada 10 m.

Antes de hacer la instalación, se deben calcular los esfuerzos mecánicos a que estará sometido el cable y verificar que estos no excedan a los valores máximos que especifica el fabricante, si las condiciones de terreno permiten un fácil acceso por vehículo, se puede montar el carrete de cable sobre un camión y desenrollarlo a lo largo de la línea de postes.

El cable se jala del carrete y se coloca sobre las poleas localizadas en cada poste en el lugar donde finalmente el cable será sujetado. Si el terreno no permite el acceso por vehículo, el cable será jalado en forma manual e instalado en los postes de manera similar.

La sujeción a los postes se hace por medio de sujetadores convencionales de acero galvanizado de un tamaño que permita adaptarse a la guía de suspensión. Cuando se usa una guía de suspensión no metálica se requiere de sujetadores especialmente diseñados para no dañar a la guía.

La utilización de alambres de suspensión externos reporta algunas ventajas. El alambre de suspensión puede adelantarse por adelantado, siguiendo los métodos convencionales o bien puede usarse alguno ya existente que este realizando alguna otra función (cables de guarda, cables de energía, etc.).

El cable óptico se une a la guía externa mediante un fleje no metálico colocado helicoidalmente o bien utilizando bandas o grapas espaciadas regularmente. El uso de flejes no metálicos es un método rápido y se aplica por medio de un equipo atador convencional. Un extremo del cable se sujeta al alambre de suspensión. El equipo atador se coloca sobre la guía de suspensión y el fleje no metálico se ancla al poste. Moviendo el equipo atador el fleje se enrosca alrededor del cable óptico y de la guía. El cable óptico se surte desde un carrete que está montado sobre un camión.

Cuando se recorre la distancia entre dos postes, el cable óptico y el fleje de atado se anclan al poste y se repite la operación anterior hasta completar la instalación. El método de utilizar bandas o grapas es recomendable solo en distancias cortas por ser un método lento.

INSTALACIÓN SUBMARINA

La instalación de este tipo de cable requiere de una planeación apropiada. Es necesario hacer una inspección física de la ruta. Se realiza un mapa del fondo submarino. La ruta se marca con boyas, y se tiende un cable para facilitar el seguimiento durante la instalación. Antes de la instalación se realizan pruebas en tramos pequeños de forma consecutiva para localizar obstáculos, investigar la densidad de la tierra en el fondo y el comportamiento de las mareas.

Para la instalación, las bobinas y las bombas utilizadas se colocan frente al arado deslizable, que es jalado por un winch, el cable se alimenta através de un brazo suministrador de cable. El arado contiene en la punta un dispositivo que arroja agua a presión, permitiendo que el arado penetre fácilmente. Durante la instalación se va monitoreando para asegurarse que el cable sea adecuadamente cubierto.

INSTALACIÓN EN INTERIORES

Los cables ópticos para interiores, están contruidos de manera diferente a los cables usados en la planta externa. Muchas administraciones recomiendan que los cables para interiores contengan una cubierta externa de material retardante a la propagación de incendios, tal como el PVC o los poliuretano.

Los cables ópticos en las centrales telefónicas normalmente se instalan sobre charolas de cables o dentro de ductos dejados para ese fin. Debiendo planearse cuidadosamente la ruta de los mismos, con el fin de prevenir fuerzas excesivas que corten las fibras ópticas, especialmente cuando se cruza por donde existen cables muy pesados.

Cuando los cables cruzan por diferentes niveles o se encuentran al alcance del publico, se les deberá proteger al menos con una cubierta metálica en forma de U. Para no exceder la máxima carga de tensión del cable, cuando este corre en forma vertical, se deberá sujetar cada metro. Esta sujeción se deberá hacer con cintillas de material suave con el propósito de no dañar el cable.

PRESUPUESTO DE UN ENLACE

Antes de instalar un enlace de fibra óptica, es conveniente hacer un presupuesto del mismo, esto es determinar el nivel de pérdidas por un lado, y la capacidad de transmisión, por otro.

Conociendo la longitud del enlace, tipo de fibra ha instalar, numero y tipos de empalmes y numero y tipo de conectores, determinaremos antes de su instalación, Atenuación y Ancho de Banda, sabiendo así, si cumple con las características requeridas.

PRESUPUESTO DE ATENUACIÓN:

Un presupuesto de pérdidas por atenuación, se calcula definiendo dos términos importantes:

- ◆ Pérdida total
- ◆ Margen de Reserva

La pérdida total en un enlace óptico, es la pérdida neta absoluta que se presenta debido a los diferentes mecanismos que la producen;

- Factores Intrínsecos como absorción y dispersión, cuyos efectos son determinados, por el coeficiente de atenuación de la fibra óptica.
- Factores Extrínsecos, como pérdidas por inserción de empalmes y conectores, así como la pérdida por el acoplamiento de la fuente de luz a la fibra y de la fibra al detector.

Así, la pérdida total se puede calcular por:

$$\text{PERDIDA TOTAL} = A + A_{\text{aco}} + A_{\text{emp}} + A_{\text{con}}$$

Donde:

A = Atenuación en la Fibra

A_{aco} = Atenuación por Acoplamiento

A_{emp} = Atenuación por empalmes

A_{con} = Atenuación por conectores

Si la longitud de la fibra en el enlace y α es el coeficiente de atenuación en la fibra, entonces la Atenuación A , esta dada por:

$$A = \alpha L$$

Si N_{a} es el numero de acoplamientos en el enlace y α_{a} es el coeficiente de atenuación por acoplamiento, tendremos

$$A_{\text{aco}} = N_{\text{a}} \alpha_{\text{a}}$$

Para el caso que se desee calcular la perdida en el acoplamiento, ya sea entre:

- ◆ Una fuente de luz y una fibra
- ◆ Una fibra a otra fibra distinta
- ◆ Una fibra y un fotodetector

Se consideran perdidas por acoplamiento de Diámetros y por Acoplamiento de Aperturas Numéricas, dadas por:

Acoplamiento de Diámetros

$$A_d = \log (d_1^2 / d_2^2)$$

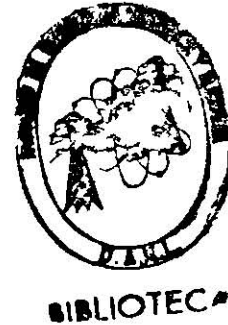
Donde,

d_1 y d_2 son los diámetros a acoplarse

Acoplamiento de Aperturas Numéricas

$$A_{an} = 10 \log (AN_1^2 / AN_2^2)$$

Donde, AN_1 y AN_2 son las aperturas numéricas a acoplarse.



Así, la perdida por acoplamiento será :

$$A_{aco} = (A_d + A_{an})F_t + (A_d + A_{an})F_f + (A_d + A_{an})F_d$$

Donde:

$(A_d + A_{an})F_t$ = Perdida por acoplamiento fuente-fibra

$(A_d + A_{an})F_f$ = Perdida por acoplamiento fibra-fibra

$(A_d + A_{an})F_d$ = Perdida por acoplamiento fibra-detector

Si N_e , es el numero de empalmes y α_e , es el coeficiente de atenuación por empalme, entonces:

$$A_{emp} = N_e \alpha_e$$

Si N_c es el numero de conectores en el enlace y α_c es el coeficiente de atenuación por conector, se tiene:

$$A_{con} = N_c \alpha_c$$

De esta manera, la perdida, la perdida también se puede expresar como:

$$\text{PERDIDA TOTAL} = A_i + N_a \alpha_a + N_e \alpha_e + N_c \alpha_c$$

El margen de Reserva de perdida que se utiliza como reserva para inserciones de empalmes y conectores que se pueden requerir por mantenimiento del enlace, o también para prever alguna perdida adicional por envejecimiento de la fibra, por lo general se expresa como,

$$A_r = \alpha_r L$$

Donde:

α_r = Coeficiente de Atenuación de reserva por unidad de longitud

L = Longitud de la fibra en el enlace

Como, presupuesto de perdida en un enlace se define como:

$$\text{PRES} = \text{PERDIDA TOTAL} + \text{MARGEN}$$

Entonces,

$$\text{Pres} = (\alpha L + N_{e\alpha e} + N_{a\alpha a} + N_{c\alpha c}) + \alpha rL$$

El Presupuesto del enlace también se define como:

$$\text{PRES} = P - S$$

Donde:

P = Potencia del Transmisor

S = Sensibilidad Máxima del Receptor

Esta ecuación determina la perdida máxima de la que se puede disponer en un enlace. Así, combinando todas las ecuaciones vistas obtendremos la ecuación que relaciona todos los parámetros del enlace.

$$P - S = (\alpha L + N_{a\alpha a} + N_{e\alpha e} + N_{c\alpha c}) + \alpha rL$$

Ejemplo.- Un enlace óptico para cubrir una distancia de 3 Km., para esto, se utiliza una fibra multimodo de índice graduado cuya Diferencia Normalizada de Índices de Refracción es de 0.02, Diámetro 85/125 μm , Apertura Numérica de 0.26, y un Coeficiente de Atenuación de 3 dB/Km. También se utiliza un Emisor cuya potencia es de 250 μw , un Diámetro de 100 μm y una Apertura Numérica de 0.3. El Detector utilizado tiene una Sensibilidad de 0.125 μw , un Diámetro de 150 μm y una Apertura Numérica de 0.4. Como se cuenta con tramos de un kilometro de cable, se requerirá empalmar dos veces con una perdida de 0.2 dB/empalme. la fibra se a terminado con conectores SMA que dan unja atenuación promedio de por conector.

De que Margen de Reserva se dispone en el enlace?

Solución.- Se puede calcular el margen de reserva si se conoce el Presupuesto y la Perdida Total.

El presupuesto esta dado por:

$$\text{PRES} = P - S$$

De acuerdo a el enunciado del problema,

$$P = 250\mu\text{w} = -6 \text{ dBm}$$

$$S = 0.125\mu\text{w} = -39 \text{ dBm}$$

entonces,

$$\text{PRES} = -6 \text{ dBm} - (-39 \text{ dBm}) = 33 \text{ dB}$$

La perdida total se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$\text{PERDIDA} = \alpha L + N_a \alpha_a + N_e \alpha_e + N_c \alpha_c$$

Donde, αL es la atenuación debido a la longitud de la fibra, es:

$$\alpha L = (3 \text{ dB/Km.})(3 \text{ Km}) = 9 \text{ dB}$$

La pérdida por acoplamientos, la calculamos de la siguiente manera:

Por acoplamiento fuente-fibra considerando diámetros, es:

$$A_d = 10 \text{ Log } (d_1^2 / d_2^2)$$

$$A_d = 10 \text{ Log } (85^2 / 100^2) = 10 \text{ Log } (0.7225)$$

$$A_d = -1.411621 \text{ dB}$$

Considerando aperturas numéricas es:

$$A_{an} = 10 \text{ Log } (AN_1 / AN_2)$$

$$A_{an} = 10 \text{ log } (0.26 / 0.3)^2 = 10 \text{ log } (0.866)^2$$

$$A_{an} = -1.24 \text{ dB}$$

En el acoplamiento fibra-detector, obviamente no hay pérdidas, puesto que el detector, tiene mayor diámetro y mayor apertura numérica que el de la fibra. Entonces, la pérdida por acoplamiento en el enlace es:

$$A_{aco} = (A_d + A_{an})F_f + (A_d + A_{an})f_f + (A_d + A_{an})F_d$$

$$A_{aco} = (-1.411621 - 0.6)\text{dB} + 0 \text{ dB} + 0 \text{ dB}$$

$$A_{aco} = -2.64 \text{ dB}$$

La pérdida por empalme es:

$$A_{emp} = N_e \alpha_e$$

donde,

$$N_e = 2 \text{ empalmes}$$

$$\alpha_e = 0.2 \text{ dB/emp}$$

entonces:

$$A_{emp} = (2 \text{ emp})(0.2 \text{ dB/emp})$$

$$A_{emp} = 0.4 \text{ dB}$$

La pérdida por inserción de conectores es:

$$A_{con} = N_c \alpha_c$$

Como hay dos conectores en el enlace, uno en el transmisor y otro en el detector, entonces

$$N_c = 2 \text{ conectores}$$

la atenuación por conector es

$$\alpha_c = 0.5 \text{ dB/con}$$

luego

$$A_{con} = (2 \text{ conectores})(0.5 \text{ dB/con})$$

$$A_{con} = 1 \text{ dB}$$

por lo tanto, la Pérdida Total en el enlace es

$$\text{PERDIDA} = \alpha L + A_{aco} + N_e \alpha_e + N_c \alpha_c$$

$$\text{PERDIDA} = -(9 \text{ dB} + 2.642 \text{ dB} + 0.4 \text{ dB} + 1 \text{ dB})$$

$$\text{PERDIDA} = -13.042 \text{ dB}$$

Entonces:

$$\text{PRES} = \text{PERDIDA} + \text{MARGEN}$$

$$\text{MARGEN} = \text{PRES} - \text{PERDIDA}$$

$$\text{MARGEN} = (33 - 13.042) \text{ dB}$$

$$\text{MARGEN} = 19.95 \text{ dB}$$

Este, es un margen bastante grande para un enlace tan corto, sin embargo, este resultado nos dice que podemos utilizar una fuente de menor potencia y/o un detector con una sensibilidad un tanto menor, para dejar un margen de reserva adecuado al tamaño del enlace, que sería de aproximadamente de 2 dB. En la práctica, se considera un coeficiente de atenuación de reserva que tiene un rango de 0.2 a 0.6 dB/km., dependiendo del tipo de fibra, mediante el cual se puede estimar un buen margen de reserva.

PRESUPUESTO DEL ANCHO DE BANDA:

El ancho de banda es un parámetro que nos permite determinar la capacidad de transmisión disponible en nuestro enlace. Prácticamente se puede calcular si se conocen algunas características de la fuente y de la fibra.

El ancho de banda está dado por:

$$AB = (0.44 / \Delta t)$$

siendo Δt , la dispersión en la fibra, la cual tiene dos contribuciones, la modal y la cromática, relacionadas por

$$\Delta t^2 = \Delta t_{cr}^2 + \Delta t_m^2$$

La *Dispersión Cromática* Δt_{cr} , está dada por

$$\Delta t_{cr} = k(\Delta\lambda)L$$

Donde:

$$k = 0.1 \text{ ns}/(\text{nm km}) \text{ para } \lambda = 800 \text{ nm}$$

$$k = 0 \text{ para } \lambda = 1300 \text{ nm}$$

$\Delta\lambda$ = Anchura espectral de la fuente.

La *Dispersión Modal* está dada por:

$$\Delta t_m = (n\Delta/c^2)L$$

si la fibra es de Índice Escalonado, y

$$\Delta t_m = (n\Delta^2/c^2)L$$

si la fibra es de Índice graduado, donde:

Δ = Diferencia Normalizada de Índices de Refracción

L = Longitud de la fibra

Así, conociendo la anchura espectral de la fuente, su longitud de onda de operación y el tipo de fibra, su diferencia normalizada de índices de

refracción y el índice de refracción de su núcleo, se determina el Ancho de Banda disponible en el enlace.

Ejemplo.- La fibra óptica del enlace en el ejemplo anterior tiene un índice de refracción en el núcleo de 1.4748. si la fuente tiene una anchura espectral de 45 nm, trabajando a una longitud de onda de 850 nm, de que ancho de banda se dispone en el enlace?

La Dispersión Cromática en la fibra es :

$$\Delta t_{cr} = k(\Delta\lambda)L$$

Como la fibra opera en 850 nm, entonces

$$k = 0.1 \text{ ns}/(\text{nm Km})$$

La anchura espectral de la fuente es

$$\lambda\Delta = 45 \text{ nm}$$

por lo tanto

$$\Delta t_{cr} = k(\Delta\lambda) L = (0.1 \text{ ns}/(\text{nm km}))(45 \text{ nm})(3 \text{ Km})$$

$$\Delta t_{cr} = 13.5 \text{ ns}$$

La Dispersión Modal en la fibra es

$$\Delta t_{m} = (n\Delta^2/c^2)L$$

Donde:

$$n = 1.4748$$

$$\Delta = 0.02$$

$$c = 3 \times 10^8 \text{ m/seg}$$

$$L = 3 \text{ Km.}$$

entonces:

$$\Delta t_{m} = ((1.4748)(0.02)(2)(3000 \text{ m})/(3 \times 10^8 \text{ m/s})(2))$$

$$\Delta t_{m} = 2.9496 \text{ ns}$$

La Dispersión Total en la fibra es:

$$\Delta t^2 = \Delta t_{cr}^2 + \Delta t_{m}^2$$

$$\Delta t^2 = 182.25 \text{ ns}^2 + 8.7 \text{ ns}^2 = 190.95 \text{ ns}^2$$

$$\Delta t = 13.81 \text{ ns}$$

Por lo tanto el Ancho de Banda del que se dispone es de:

$$AB = 0.44/\Delta t$$

$$AB = 0.44/ 13.81$$

$$AB = 0.031 \times 10^9$$

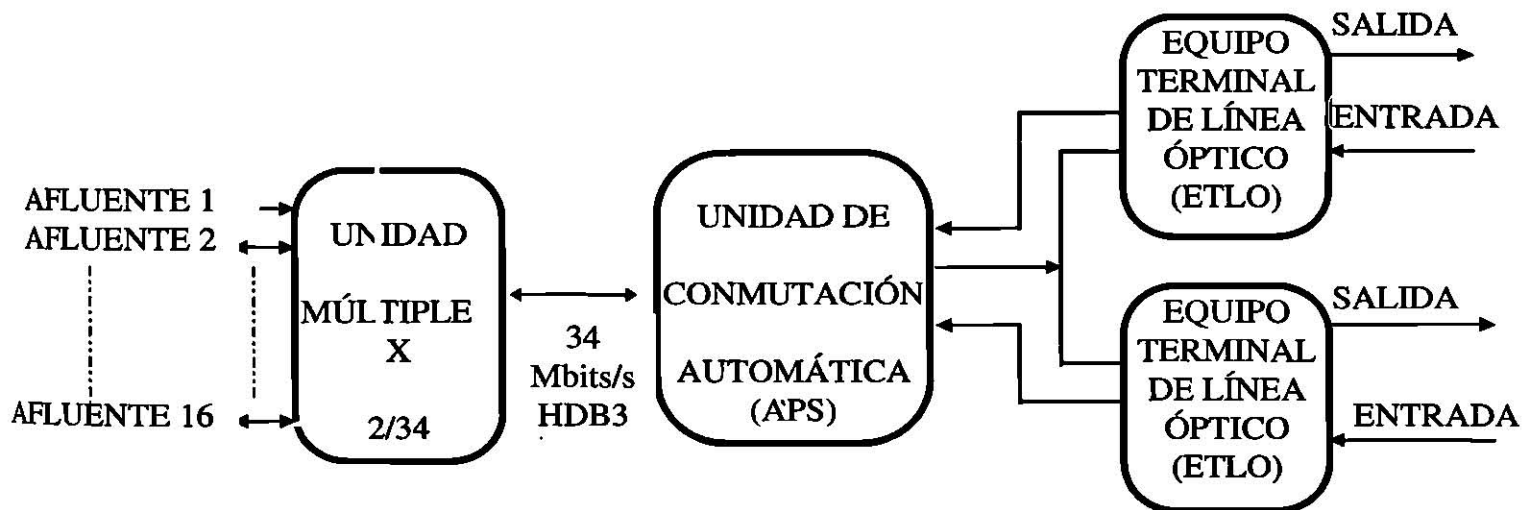
$$AB = 31 \text{ Mhz/ km.}$$

DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA ALCATEL:

FUNCIÓN PRINCIPAL:

La función principal del sistema ALCATEL 1631 FL/II es de transmitir señales digitales de 34 Mbps a través de fibra óptica monomodo, procedentes de la multiplexación de 16 afluentes de 2 Mbit/s. Dicho sistema es bidireccional y compatible con cualquier equipo que genere señales a las velocidades reseñada en código HDB3.

Está compuesto por un equipo terminal de línea óptico (ETLO), más el equipo múltiplex, siendo necesario para ello equipar dos ETLO simples, un MUX y una unidad de conmutación automática.



Dicho sistema se puede utilizar tanto en rutas de larga distancia como en enlaces de corto alcance, para conexiones entre centrales telefónicas o enlaces de redes privadas.

ALCANCES ORIENTATIVOS:

Los alcances típicos sobre una fibra monomodo, suponiendo una atenuación óptica de 0.4 dB/Km y considerando una margen de sistema de 3 dB, se reflejan en la siguiente tabla:

LÁSER	LONGITUD DE ONDA (nm)	RECEPTOR	ATENUACIÓN MÁXIMA (dB)	VANO TÍPICO (Km)
Baja potencia	1.310	Pin-Fet	21	52
Standard	1.310	Pin-Fet	32	80
Alta potencia	1.310	Pin-Fet	35	87
Tercera Ventana	1.550	Pin-Fet	30	75

En el ETLO se tienen en cuenta los posibles equipos y facilidades de la unidad:

- Tipo de láser que se desea utilizar: Standard, alta o baja potencia.
- Longitud de onda en la que se va a transmitir: 1.310 ó 1.550 nm.
- Duplicidad de emisores y receptores ópticos, para conformar una redundancia óptica.
- Tipo de alimentación utilizada: Centralizada mediante convertidores exteriores a la unidad, o descentralizada mediante el uso de convertidores internos a la unidad.

MULTIPLEXACION Y DEMULTIPLEXACION.

Las señales de entrada son multiplexadas por entrelazado cíclico de los bits, según el orden de numeración de los afluentes, para cada nivel jerárquico. Las estructuras de trama para cada nivel son similares (cada trama está subdividida en 4 subtramas), conteniendo la palabra de alineación de trama, 4 bits de justificación (presentes en la última subtrama), grupos de 4 bits de información y 3 grupos de 4 bits de control de justificación, que indican el uso de los bits de justificación para transmisión de información.

Cada uno de los 16 tributarios de entrada a 2.048 Mbits/s en HDB3 es equalizado antes de atacar al VLSI, donde se codifica en binario. Ahí se extrae la señal de reloj mediante un PLL para almacenar la señal codificada en una memoria elástica con este reloj. Multiplexando los contenidos de 4 de estas memorias se forma una señal a 8 Mbit/s de acuerdo a la estructura de trama de un múltiplex de segundo orden. Las diferencias de fase y frecuencia entre los distintos tributarios son compensada utilizando los bits de justificación que contiene la trama para tal efecto.

El proceso de multiplexación se repite de nuevo con las cuatro señales a 8 Mbit/s, resultantes de la multiplexación en cuatro grupos, de cuatro tributarias cada uno, de los 16 afluentes de entrada, para formar una señal binaria a 34 Mbit/s de acuerdo a la estructura de trama de un múltiplex de tercer orden, la señal resultante se codifica en HDB3 y se presenta, a través de un buffer de salida. Las dos señales de reloj necesarias para los procesos de multiplexación se obtienen dentro del VLSI, a través de un oscilador principal de 68,736 Mhz.

En el lado de demultiplexación, la señal de entrada a 34 Mbit/s es regenerada mediante un equalizador variable, compensando las pérdidas en forma de $(f)^{1/2}$. De esta señal se procederá a extraer el reloj, con el fin de proceder a la conversión de código HDB3 a binario. Durante la primera etapa de demultiplexación se obtendrían cuatro señales a 8 Mbit/s. Repitiendo el mismo proceso de nuevo para cada una de las cuatro señales a 8 Mbit/s se obtendrán los 16 tributarios a 2 Mbit/s, que posteriormente se codificarán a código HDB3.

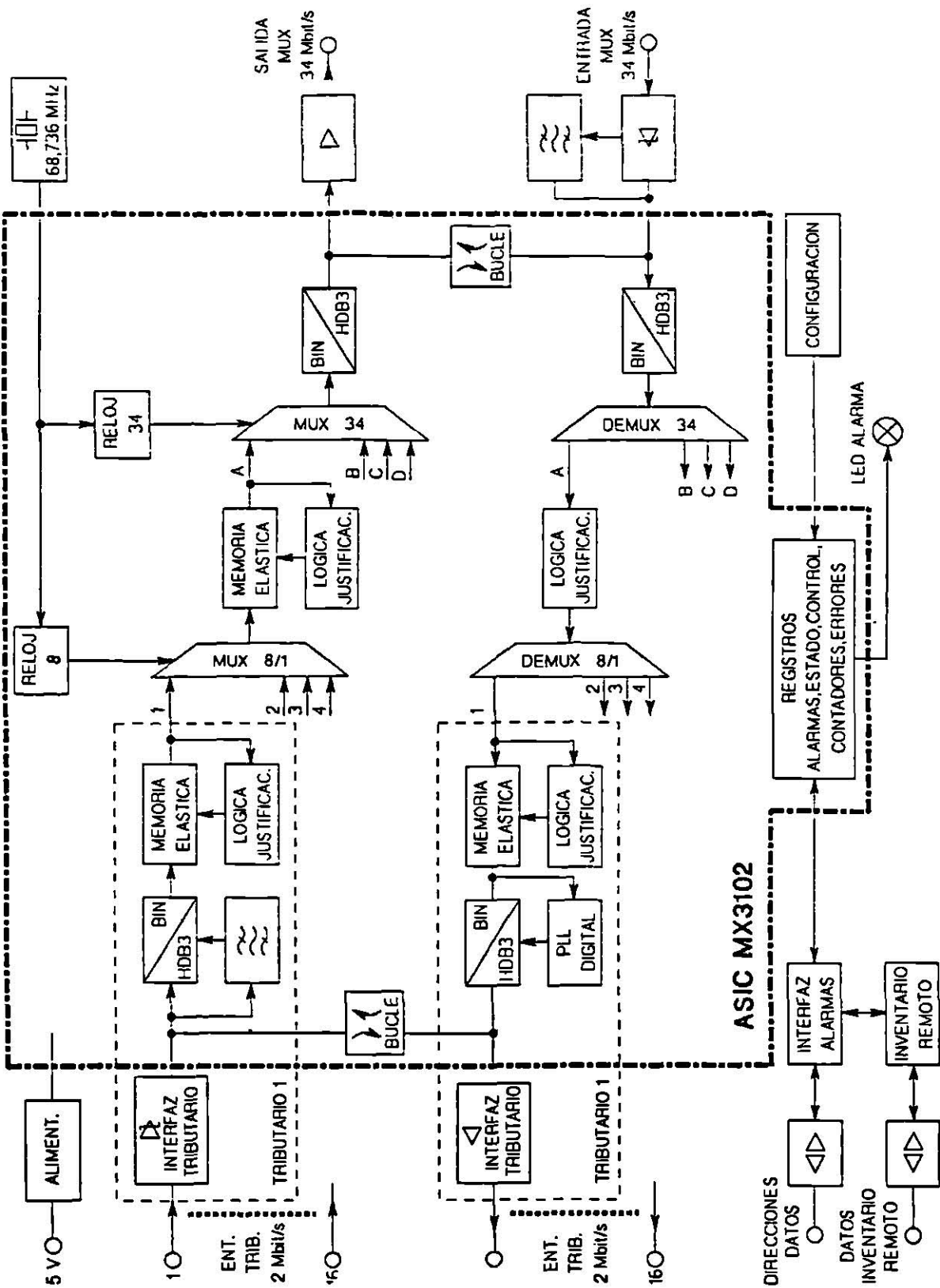


DIAGRAMA DE BLOQUES DE LA UNIDAD MUX 2/34

Cada demultiplexor chequea, en las tramas que les llegan, los errores en la señal de alineamiento de trama y los errores en el bit de paridad. Además puede configurarse a la tarjeta para que si recibe una palabra de alineamiento de trama correcta desplazada ± 1 bit, los demultiplexores se adapten inmediatamente. Las señales de 8 Mbit/s son internas, no siendo por tanto accesibles físicamente.

TRANSMISIÓN POR FIBRA ÓPTICA

Esta función es realizada por el equipo terminal de línea óptico y los cometidos principales son:

- Interfaz eléctrico a 34 Mbit/s.
- Codificación / Decodificación de la señal de línea.
- interfaz óptico.
- Supervisión del sistema: Detección de alarmas, control de configuración, etc.
- Comunicación con el equipo terminal distante por medio del canal interno de servicio.
- Fuente de alimentación descentralizada (opcional).
- Redundancia óptica.

SISTEMA DE EMISIÓN:

El sistema de emisión está integrado por los siguientes bloques:

INTERFAZ DE ENTRADA HDB3:

Dicho interfaz recibe la señal HDB3 del equipo múltiplex a 34 Mbit/s y las transfiere al sistema central. Realiza las siguientes funciones:

- Recepción de la señal digital codificada en HDB3 a 34 Mbit/s.
- Igualación automática de la atenuación de 0 a 12 dB producida por la línea de entrada.
- Extracción del reloj de la señal HDB3.
- Supervisión del nivel de la señal de entrada.
- Extracción por separado y con igual polaridad de las marcas positivas y negativas de la señal de entrada HDB3.
- Ajustes de fases entre las marcas de la señal HDB3 y el reloj de salida.

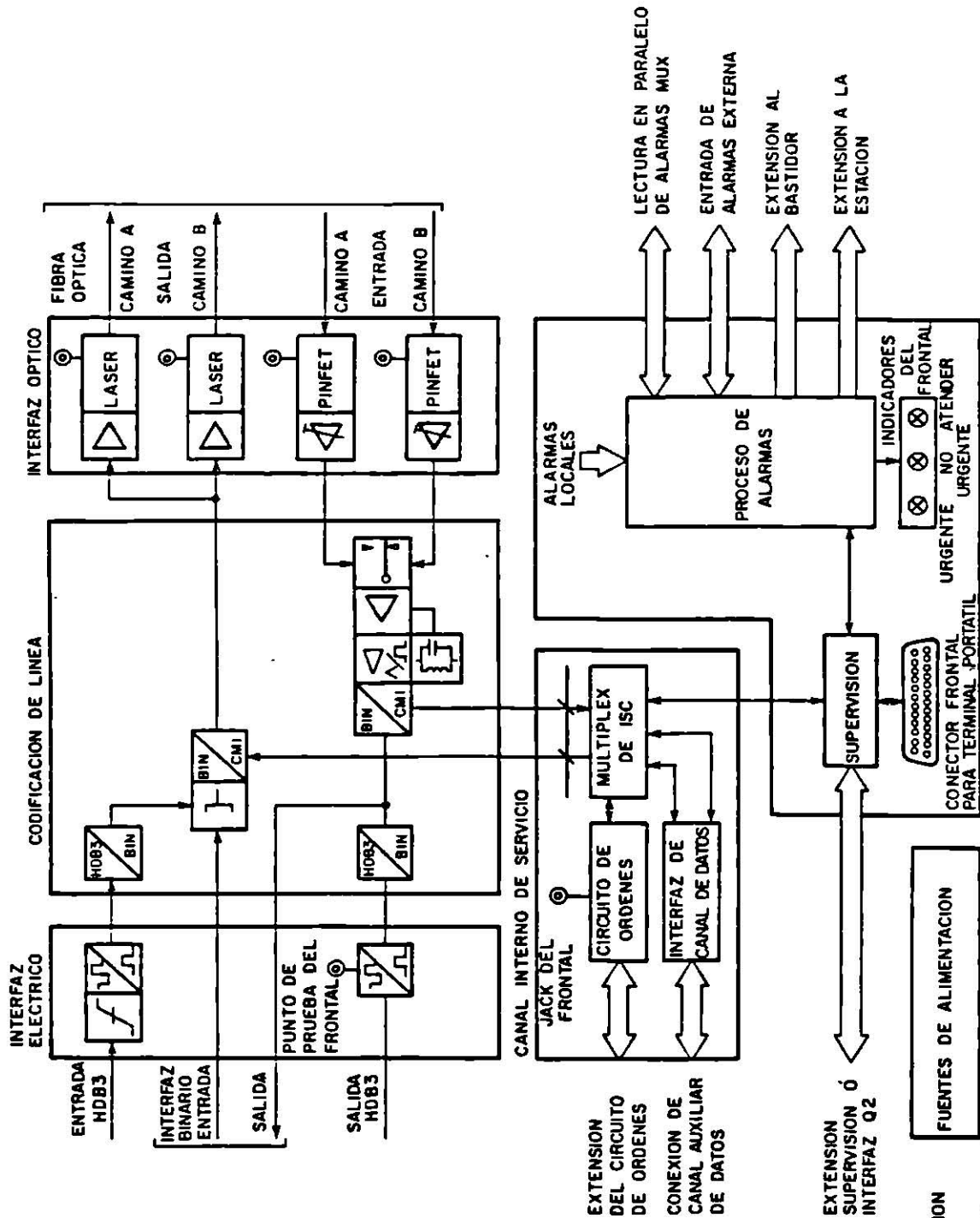


DIAGRAMA DE BLOQUES DEL ETLO

INDICACIONES

- BIN - BINARIO
- CMI - CODIGO DE INVERSION DE MARCAS
- ISC - CANAL INTERNO DE SERVICIO

SISTEMA CENTRAL:

Las marcas positivas y negativas de la señal HDB3 entregadas por el interfaz de entrada son transformadas en código CMI en el Sistema Central. Esta conversión de código se realiza convirtiéndola primero en señal binaria NRZ (sin retorno a cero), y posteriormente al código de línea CMI (código de inversión de marcas), que permite detectar los errores de transmisión y garantiza un número igual de niveles 1 y 0, para ser transmitidos por la fibra óptica a través del emisor óptico. Asimismo, dentro del sistema central están incluidas las siguientes facilidades:

- Fuente de tensión estabilizada para la alimentación del terminal portátil.
- Oscilador de cuarzo de frecuencia 68.736 KHz, que una vez dividido por dos suministra al VLSI la señal del reloj patrón de 34 MHz.

EMISOR ÓPTICO:

La señal a transmitir de 34 Mbit/s, código CMI, acomete a un circuito de retardo para incrementar su ciclo de trabajo con el fin de atacar de forma óptima al emisor óptico para compensar el retaso de conmutación propio del emisor, además de posibilitar la inhibición de la señal óptica (el láser emitiría con una potencia óptica inferior -30 dBm) mediante un comando o bien cuando se detecte pérdida de señal óptica de entrada en el receptor.

Si se desea que la inhibición funcione es necesario que se permita el corte del láser tanto mediante software (aceptando en el menú de configuración del ETLO La opción del control del láser) y también mediante Hardware. Para que el láser emita, después de una inhibición, es necesario ejecutar localmente un comando de arranque del láser.

Como emisor óptico se utiliza un láser semiconductor que emite una potencia óptica media útil de $+1 \pm 1$ dBm, -2 ± 1 dBm, -4 ± 1 dBm ó -12.5 ± 1.5 dBm (según sea de alta potencia, standard, tercera ventana o baja potencia), teniendo en cuenta el factor de extinción. El láser está alimentado por dos corrientes:

- Corriente de modulación suministrada por un amplificador acoplado en alterna.
- Corriente de polarización que asegura un máximo rendimiento en la conversión corriente-luz del láser.

La potencia óptica emitida por el sistema se mantiene en un nivel constante merced al uso de un circuito de realimentación que controla la corriente de polarización, existiendo un mecanismo de supervisión de dicha potencia óptica: El diodo láser está equipado con un fotodiodo, en su mismo encapsulado, que proporciona una corriente de monitor proporcional a la potencia óptica emitida. Con un amplificador de transimpedancia se obtendrá una cierta tensión en el punto de prueba situado en el frontal de la unidad ETLO. Dicho valor es de 100 ± 10 mV.

Cuando se utiliza un láser de alta potencia o standard, el módulo óptico contiene un sensor de temperatura y un refrigerador para mantener una temperatura interior estable de 25° c. El funcionamiento del láser se supervisa continuamente, generándose una alarma cuando ocurra una de estas situaciones:

- Si la corriente umbral aumenta 1,5 veces su valor nominal, entendiéndose este como el valor al que se ajusta.
- La potencia media emitida es al menos 3 dB mayor que la nominal.

El módulo emisor incorpora los siguientes circuitos de seguridad que protegen al personal de peligrosas radiaciones del láser al abrir la línea para el mantenimiento:

- Limitador de potencia máxima emitida.
- Corte automático del láser cuando se detecta ausencia de señal óptica en el receptor (puede ser inhibido).

SISTEMA DE RECEPCIÓN.

El sistema de recepción está integrado por los siguientes bloques:

RECEPTOR ÓPTICO:

El módulo receptor consiste en un conversor óptico / eléctrico, alojado en un encapsulado hermético junto con un amplificador FET de transimpedancia, seguido de un amplificador dotado de control automático de ganancia. Después de ser filtrada, la salida del amplificador se lleva a un detector de paso por cero, donde se convierte a señal digital. El objetivo del control automático de ganancia es ajustar la amplitud de tensión a la que se realiza la regulación. Mediante un doblador de tensión se obtiene una tensión

continua proporcional y prácticamente del mismo valor que la amplitud de la señal de salida del filtro; esta señal continua constituye la señal de error para el circuito CAG. El receptor regula desde -39 dBm hasta -11 dBm, permaneciendo constante e igual a $0,9 \pm 0,05$ V la tensión continua a la salida del doblador.

El receptor óptico puede generar dos alarmas: Una de baja señal óptica de entrada y otra de ausencia de señal óptica. La detección de estas alarmas se hace comparando la tensión de salida del regulador de amplitudes con un cierto umbral. La alarma de baja señal óptica de entrada se generará cuando la potencia óptica de entrada sea de $-43 \pm 1,5$ dBm. La alarma de ausencia de señal óptica se producirá cuando la potencia de entrada sea aproximadamente 3 dB inferior a la potencia que provoca la alarma de baja señal óptica de entrada.

SISTEMA CENTRAL:

Incorpora fundamentalmente el circuito de extracción del reloj de línea, a partir de la señal en código CMI entregada por el receptor óptico, junto con el circuito VLSI, que realiza entre otras funciones las siguientes:

- Decodificación de la señal de línea.

Se realizará en esta etapa la transformación del código CMI en HDB3, realizando en paso intermedio una codificación a binario. La cual constará de varias etapas:

- ◆ Selección de la línea de recepción. En la versión de ETLO redundante existen dos posibles líneas de recepción que llegan al VLSI. La selección de una u otra línea dependerá del modo de operación del ETLO.
- ◆ Obtención del reloj para la decodificación.
- ◆ Regeneración del código recibido. El código CMI recibido se regenera en el VLSI siendo esta señal regenerada la que se utiliza en el resto de la decodificación.
- ◆ Decodificación. Los datos procedentes se decodifican pasando a binario en una primera etapa generando un pulso de violación por cada error detectado. La decodificación de los datos CMI selecciona los bits del canal de servicio y restaura la violación que supone cada bit de servicio, de tal modo que no se altera la información del canal de tráfico. Estos datos binarios son codificados posteriormente en HDB3, saliendo del sistema central como marcas positivas y marcas negativas de igual polaridad.

SISTEMA DE SUPERVISIÓN:

Este sistema proporciona un elemento de control de características generales. El microcontrolador utilizado es el Intel 80C31, ocupando dicho sistema de supervisión 12 Kbytes de memoria RAM externa y 256 Kbytes de memoria EPROM, donde reside el programa de funcionamiento del sistema, que es la utilizada en la aplicación del 16x2 segunda generación con el fin de comunicarse con el múltiplex 2 / 34 desarrollado en STR. Existe además otra memoria en el sistema de supervisión cuya misión es la de salvaguardar la configuración asignada en cada momento al sistema, en el caso de producirse fallos en la alimentación de la unidad.

INTERFAZ DE SALIDA HDB3:

Su misión es la de conformar los impulsos de salida en HDB3 a 34 Mbit/s a partir de las marcas positivas y negativas (con la misma polaridad) que le llegan del Sistema Central, procedentes de la codificación de la señal de línea. Esta señal saldrá de la unidad ETLO para comunicarse con la unidad MUX.

PROTECCIÓN DE SALIDA:

El tráfico entre sistemas se protege opcionalmente mediante una redundancia óptica implementada en la unidad de línea, duplicándose en la misma placa base el número de módulos ópticos. Esta redundancia se consigue transmitiendo simultáneamente por dos caminos ópticos y seleccionando en recepción la salida de uno de los dos receptores ópticos, conectados a sus respectivos caminos, según el modo de conmutación fijado mediante un comando software: modo automático / manual.

En el control de la redundancia automático, se conmutará de un receptor óptico a otro por tres motivos: mediante un comando local o remoto, cuando la tasa de error recibida mayor de $1.0E-3$ y por el criterio de coordinación de fibras. En todos los casos se conmutará siempre y cuando el nivel de señal óptica entrante en el receptor en reserva supere el umbral de sensibilidad, y la tasa de error binario en la fibra de reserva sea mejor de $1.0E-3$. Cuando se produzca una conmutación óptica se generará una alarma no urgente en el sistema, para que quede constancia de tal suceso.

CARACTERÍSTICAS PARTICULARES SOBRE LA G.821 A 8 Mbits/s.

El múltiplex tiene dos contadores de doce bits. Cualquiera de estos dos contadores pueden ser utilizados para calcular la G.821. El primero de ellos contiene el número de palabras de alineamiento de trama erróneas que se han recibido desde el último reset, y el segundo el número de errores de paridad detectadas desde el último reset. Por lo tanto habrá dos métodos para calcular la G,281:

- Método de la palabra de alineamiento de trama.
- Método del bit de paridad.

El método elegido, y através del cual se han hecho los cálculos de los umbrales ha sido el de palabra de alineamiento de trama. Los cálculos muestran que el método de la palabra de alineamiento de trama da resultados que cumplen con los objetivos fijados. En 8 y 34 Mbit/s, el umbral para los segundos de error es ligeramente más bajos que el otro método, lo que unos resultados ligeramente pesimistas. El método de paridad es mejor, pero la diferencia es muy pequeña y no justifica la elección de este método.

El método de paridad no puede ser usado para medir segundos severamente degradados, ya que la exactitud en la medida es muy baja (el bloque de test es demasiado largo). Finalmente, el método de la palabra de alineamiento de trama, al ser un método de detección de paquetes, es mucho más sensible. De hecho, con la hipótesis de la distribución de errores en un segundo siga una ley normal y una desviación standard igual a la raíz cuadrada de la media y debido a la conservación de los umbrales de los segundos con error y segundos severamente degradados, se sacan las siguientes conclusiones:

- Utilizando el método de la palabra de alineamiento de trama, los paquetes de duración mayor de 1 ms y tasa de errores mayor que $1.0E-2$ son detectados correctamente.
- Utilizando el método del bit de paridad, solo los paquetes grandes son detectados correctamente. La sensibilidad de detección es 30 veces menor que con el método de la palabra de alineamiento de trama.

Por estas razones el método fijado para realizar la G.821 será el método de la palabra de alineamiento de trama.

PROTECCIÓN ELÉCTRICA

INTRODUCCIÓN:

Dentro del sistema 16x2 existe la posibilidad de proteger el enlace a nivel de 34 Mbit/s HDB3. Se utilizará una unidad específica para la protección por conmutación automática, basada en la duplicación de los sistemas de transmisión de un enlace por fibra óptica (se duplicará el número de equipos de línea ópticos, ETLO, sin redundancia óptica).

Esta unidad APS (Automatic protection switching) tiene como función principal la elección de la señal HDB3 de mayor calidad de las dos que le llegan procedentes de los equipos terminales de línea ópticos, con objeto de enviarla al equipo múltiplex, así como duplicar la señal procedente del MUX para enviarla a los equipos terminales y ser transmitida simultáneamente por ambos. Por otra parte, la unidad proporciona la protección del canal de datos de usuario más rápido de los dos disponibles en los ETLO (64 Kbit/s), con el mismo criterio que la señal de tráfico.

ENTRADAS Y SALIDAS DE HDB3

RECEPCIÓN:

Procedentes de los equipos terminales de línea dos señales HDB3 que contienen idéntica información, pero posiblemente presentan distintos parámetros de calidad. El APS selecciona, cuál de las dos señales debe ser enviada al múltiplex, decidiendo mediante la circuitería de control, y bajo las indicaciones de los equipos terminales a través del interfaz de comunicaciones con los mismos.

TRANSMISIÓN:

Procedentes del múltiplex la unidad recibe una señal HDB3 que se transmite a ambos ETLO. Con este objeto, está implementando un splitter pasivo (presentando protección frente a cortos circuitos o circuitos abiertos en cualquiera de sus salidas) Que obtiene a partir de la señal de entrada dos señales idénticas con un nivel 3 dB inferior, las cuales son enviadas a los equipos terminales de línea para su transmisión por fibra.

TIPOS DE ALIMENTACIÓN:

En el sistema 16x2 se selecciona el tipo de alimentación para cada unidad de forma independiente.

ETLO. Existen dos opciones básicas para la alimentación de esta unidad:

- Centralizada, donde cada bastidor equipa un armazón con uno o dos convertidores de alimentación general, que suministran, a partir de -48 V, tensiones de ± 5 V CC, que distribuyen a lo largo del bastidor mediante el BUS-BAR, del cual, a través de un conector se introducen en el armazón para alimentar a la unidad de línea.
- Descentralizada, donde las propias unidades de línea incorporan individualmente un convertidor DC/DC (dos en el caso de redundancia óptica) que, a partir de -48 V CC procedentes del BUS-BAR, generan las tensiones internas de funcionamiento. En caso de que el equipo de línea incorpore un láser de alta potencia, s necesario un módulo Peltier para control de temperatura, que se alimenta a partir de dos tensiones de $\pm 2,5$ V CC generadas dentro del propio convertidor.

La unidad MUX se alimentará siempre en modo centralizado, equipándose un armazón con uno o dos convertidores que suministran a partir de -48 V tensiones de +5 V, que se distribuyen a lo largo del bastidor mediante el BUS-BAR, del cual, a través de un conector, se introducen en el armazón que contiene la unidad MUX.

La alimentación de la unidad de protección eléctrica, APS, se realiza mediante dos convertidores DC/DC de 48V a +5V, incorporándose en la propia unidad, con capacidad de 250 mA cada uno, lo cual permite que, con un consumo medio de la unidad de 100 mA cada uno, cada módulo convertidor pueda alimentar perfectamente a la unidad en caso de fallo del otro.

RESUMEN DE DATOS TÉCNICOS

CARACTERÍSTICAS:

INTERFAZ ELÉCTRICO:

Standard	Según recomendación G.703 del CCITT
Velocidad de transmisión	2.048 Mbit/s \pm 50 ppm.
Impedancia (entrada y salida)	120 Ω par balanceado ó 75 Ω coaxial.
Código.	HDB3
Nivel de entrada y salida.	Recomendación G.703 del CCITT.
Requisitos del jitter	Recomendación G.823 del CCITT.

• INTERFAZ ÓPTICO:

Opcionalmente puede ser redundante.

INTERFAZ DE LÍNEA:

Tipo de fibra.	Monomodo según recom. G.652 del CCITT
Código.	CMI.
Velocidad de transmisión.	34,368 Mbit/s
Longitud de onda (nominal).	1.310 ó 1550 nm.
Conector óptico.	FC-PC.

EMISOR:

Tipo de láser	standard	baja potencia	alta potencia	1.550 nm
Potencia de salida:				
Nivel Nominal (dBm)	-2	-12,5	+1	-4
Tolerancia (dB)	\pm 1	\pm 1,5	\pm 1	\pm 1
Ancho de banda espectral	< 4 nm	< 7 nm	< 4 nm	< 0,3 nm
Longitud de onda (nm)	1.285-1.330	1.265-1.340	1.265-1.340	1.530-1.570

RECEPTOR:

Módulo PIN - FET		
Sensibilidad (dBm)		
	1.300 nm	\leq 38
	1.500	\leq 39
Máxima Potencia de Entrada (dBm)		
	1.300 nm	\geq 11
	1.500 nm	\geq 14

BALANCE DE POTENCIA:

-Margen del sistema (dB).	3
-Vano óptico (dB).	
Láser alta potencia.	35
Láser standard.	32
Láser baja potencia.	21
Láser 1.550 nm.	31

ALIMENTACIÓN:**a).- ETLO:**

Tipo	Descentralizada o centralizada
Alimentación descentralizada.	
Voltajes de entrada nominales:	-48 / -60 V CC (dos entradas)
Rango de voltajes de entrada:	-40,5 a -72 V CC
Consumo típico (a -48 V CC)	
ETLO (simple)	≤ 9 W
ETLO (1 + 1 con redundancia óptica)	$\leq 11,5$ W
Alimentación centralizada	
Voltajes de entrada	+ 5 V \pm 5 %, -5 V \pm 5 %
Consumo de corriente (mA)	
-ETLO (simple)	≤ 1.200 , ≤ 120
-ETLO (1 + 1 con redundancia óptica)	≤ 1.450 , ≤ 200

Nota: Caso de emplear un láser de alta potencia el consumo se incrementaría en ≤ 3 W, por cada láser.

b).- MÚLTIPLEX 2/34 Mbit/s

Tipo.	Centralizada
Voltaje de entrada.	+ 5 V \pm 0,25 V
Consumo.	< 4,5 W

c).- UNIDAD DE PROTECCIÓN ELÉCTRICA A 34 Mbit/s (APS)

Tipo.	Descentralizada redundante.
Voltaje nominal de entrada.	-48 / -60 V (dos entradas).
Rango de voltajes de entrada.	-40,5 / 72 V.
Consumo.	< 1 W

PERSPECTIVAS DE LA FIBRA ÓPTICA

“Estamos enojados como el mismo infierno y no lo vamos a seguir tolerando”. Esto no es un parafrase de un película pero captura el sentimiento de los usuarios del cable de fibra óptica.

La plataforma de fibra óptica fue patrocinada por la “Fiber Optic LAN Section” de la asociación de la industria de Telecomunicaciones, 10 miembros, 2 usuarios y un cable instalado esperan acabar con el mito técnico y económico que traen la utilización de la fibra óptica en el escritorio. Los patrocinadores no son chicos: AMP, AT&T BERK-TEK, CORNNING-SCOPE, GENERAL INSTRUMENTS,ETC. Olviden a David contra Goliath, ésta reunión fue más como Goliath contra el mundo.

Por el otro lado, ésta colección de artillería pesada me da a entender que la instalación de la fibra óptica es una muy buena opción. Algunas de sus pequeñas ventajas sobre el cable de cobre incluyen una alta capacidad de transmisión de señales atravez de largas distancias sin problemas de radiación, una mejor calidad de transmisión electromagnética, mayor seguridad y mayor espacio. Y además también puedes transmitir LAN protocol en la fibra óptica.

¿Porque los usuarios no compran la fibra óptica si es tan maravillosa? Quizá estén esperando a haciendo tiempo. Las aplicaciones que utilizan las empresas no necesitan la velocidad de la luz en sus transmisiones en PC, muchas de las PC's no tienen el poder de soportar el potencial de la fibra óptica y ¿Porque molestarse?, irónicamente ellos están perdiendo el tiempo. Los administradores necesitan instalar una infraestructura que dure por lo menos una década, no solo por algunos años la visión a largo plazo es esencial, desde que el poder de las PC's y Multimedia han incrementado sus aplicaciones son solo una rama más de servicios.

Los críticos de la fibra resaltan las debilidades del cobre. Pero el cobre es tan bueno de que no hay necesidad de cambiar todo el cableado cada 3 años o cada vez que se requiera solo para cumplir con los requerimientos de las nuevas arquitecturas. Las tecnologías tan rápidas como ETHERNET no pueden correr categorías viejas como la 2 y la 3 sin protección y cables torcidos: ellos requieren categoría y esa es una de las ventajas de la fibra.

Resumiendo, la fibra y los costos electrónicos cuestan como \$31 a \$36 dólares por caída, más que la categoría pero su instalación es semejante a la de la categoría 5.

¿COMO Y CUANDO LA ESTRUCTURA DE ALTA VELOCIDAD FUNCIONARÁ?

En el mañana las conexiones regionales de alta velocidad proveerán una alta cantidad aplicaciones como el Vídeo en Demanda (VOD), transferencias de alta velocidad, telefonía, aprendizaje a larga distancia, telecomunicaciones y otros servicios que su potencialidad se convertiría en nuevos productos. Para las conexiones regionales se proveerá una plataforma para nuevas oportunidades de negocios, ésta estructura tendrá capacidad de acomodar por anticipado los requerimientos de servicios. Ahora, muchos sistemas de comunicación operan con 2.4 Gbits/seg. Sin embargo los analistas de la industria y el futuro de las negociaciones requerirán de 10 Gbps que empezarán a aparecer en los siguientes años.

El futuro cable de TV requerirá una infraestructura para soportar el tráfico público de teléfono y las largas distancias. En otro ejemplo, se asume que existirá todo un sistema regional. Para acomodar solo el 5% de VOD para 50,000 subscritores se necesitará de 25000 Servidores de vídeo y de datos simultáneamente. Cada Servidor de vídeo requiere un formato de 4 Mbps MPEG-2 (Motion Picture Experts Groups compressed video technology). Multiplicando 4 Mbps por 2,500 Servidores de vídeo se obtendrá una salida de 10 Gbps. Esta capacidad del sistema de cable por TV será necesaria para las aplicaciones del mañana.

El futuro de las estaciones de cable de TV se ensamblará en una banda de servicios digitales integrados (BISDN). Este modelo BSIDN tiene una arquitectura que describe el protocolo a usar en el mañana por los sistemas de comunicación. Las tecnologías claves serán construidas con MPEG- Video comprimido-, ATM y SONET. Sin embargo estas tecnologías se encuentran en distintas etapas de desarrollo, ellos han establecido para el proceso de alta capacidad para aplicaciones que sobre pasan las altas capacidades de los sistemas ópticos.

¿Que impacto ocasionarán las comunicaciones digitales en los sistemas de cable de TV creando sistemas de información de alta velocidad?

En el futuro muchos sistemas de cable consistirán en dar o proveer video, voz y transferencia de datos sobre una región interconectada. Estos sistemas necesitarán datos de millones y billones de bits por segundo sobre sistemas ópticos a larga distancia. Viendo hacia el futuro el reto a lograr por los operadores del cable de TV es el proveer de estos servicios.

A 1550 nm, la atenuación óptima es de menos de 0.25 dB/km para ambos estándares: fibras monomodos y multimodo, permitiendo a los operarios de la TV por cable a diseñar conexiones más largas. Tomando ventajas de varios componentes tecnológicos tales como los EDFAs (erbium-doped fiber amplifiers). Operando en la ventana de los 1550 nm, asistirán en el desarrollo de grandes sistemas con un rango alto de bits. Esto facilitará diseños de largas fibras sin regeneración. Sin embargo las fibras multimodo, en la ventana de los 1550 nm tienen la combinación de baja dispersión y baja atenuación y les da una eficiente solución a los diseños de grandes regiones interconectadas

GEOMETRÍA 101: ESTUDIO DE LOS PARÁMETROS DE LA FIBRA ÓPTICA

Estudios muestran pequeñas tolerancias en la geometría de la fibra óptica que pueden ser mejorados y ser más eficiente. Para optimizar la geometría de la fibra se requiere de usar más eficientemente y menos tecnologías costosas y disminuir o eliminar la necesidad de pruebas individuales en los puntos de empalme.

Los parámetros más críticos para los empalmes son representadas por diámetros, en el centro se concentra un rizado de fibra. Y es así como el manejo de la fibra consiste en la manera más efectiva de disminuir las pérdidas de empalme, mejorando los empalmes y reduciendo así sus costos, los fabricantes de fibra se empiezan a preguntar como mejorar la tolerancia de sus fibras. Bellcore TR-20 1994 especificó sus requerimientos mencionando la representación para diámetros con concentración en el centro y un rizado de fibra.

El revestimiento que tiene el diámetro de la fibra en la parte de afuera una vez que su acrilado es removido. De acuerdo a Bellcore, la fibra debe de medir $125.0 + 2.0$ micrones. El TR-20 1994 especificó sus requerimientos a una vestidura de diámetro de $125.0 + 1.0$ micrones. Un micrón quizá no se pueda ver como mucho, pero si lo es, de cuerdo a Bellcore, el estrechamiento de la tolerancia de un diámetro se puede incrementar con la eficiencia en los empalmes en el tipo de conectores de cruce por casi hasta un 20% porque el control de la fibra determina el tamaño de la misma.

El tamaño de la fibra es muy importante cuando utilizas empalmes fijados V-groove con alineación ó cuando ensamblas el tipo de conectores de cruce. Estos artefactos se representan por diámetro en su alineamiento de fibras para su conexión de dos fibras- una con un diámetro de 123.0 micras y la otra con un diámetro de 127.0 micras- esto resultó con un balance desalineado en el centro y con un potencial de altas pérdidas por emplame.

El diámetro de la fibra juega un papel muy importante en el cruce, 5 diferentes tamaños de cruce pueden necesitarse para cubrir el tamaño de la fibra con la especificación de +2 micrones. Por otro lado el exceso de espacio entre las fibras y los tipos de conectores internos pueden causar un desalineamiento en el centro y una alta pérdida. La vestidura del diámetro de la fibra es establecida durante el diseño del proceso de la etapa final de la manufactura de la misma fibra. Centralizando su proceso en 1992, Corning se convirtió en el primer proveedor de $125.0 + 1$ micrón para el tipo sencillo de fibra.

La concentridad de el Núcleo/Revestimiento se refiere a como la fibra es centralizada en la vestidura de vidrio. Bellcore frecuentemente le da a nucleo/revestimiento una concentración de < 1.0 micrones, pero sus proveedores se empiezan a preguntar como mejorar su tolerancia a < 0.8 micrones, Bellcore pretende satisfacerlo a principios de 1994.

Constantemente y de una manera más controlada en el núcleo/revestimiento se concentra a una adecuada alineación centrada cuando se usa fibra fixed V-groove. Así entre más Telcos se empleen para el empalme de tecnologías y otro pasivo de empalme fijado V-groove, el núcleo/revestimiento tomará mayor importancia. En las conexiones masivas,

las fibras no se ajustan individualmente, se controlan por estos parámetros que es crucial para asegurar un adecuado alineamiento entre fibras.

En el Núcleo/Revestimiento los valores son establecidos durante la primer etapa de manufactura de la fibra, cuando el centro y el revestimiento de vidrio son depositados. Corning a tomado el control de los procesos de depósito y proveerá fibras monomodo con < 0.8 micrones de concentricidad entre el centro/revestimiento. El Rizado de fibra describe la cantidad de curvatura que existe en una longitud especifica de fibra. Mientras que todas las fibras exhiben rizado, también muchas pueden causar desajustes en la terminación del empalme y pueden contribuir a tener pérdidas de empalme.

Para tomar ventajas de la fusión de masas en los empalmes y otras tecnologías pasivas, el rizado no fue el tipo, otras tecnologías de empalmes pueden tener controles que compensen los efectos del gancho de la fibra. Para ayudar a minimizar el gancho, Bellcore requerirá de manufactura para comenzar a realizar pruebas periódicas de curvaturas para Enero de 1994.

En la anticipación de los requerimientos futuros. Corning ha desarrollado una fibra de rizado que mide < 25 micras de deflección al término de una fibra de más de 10 milímetros de sobre capacidad. Esto equivale a un radio de curvatura < 2 metros. Investigaciones muestran que con este límite, la fibra de rizado no impacta en el empalme. La geometría de la fibra impacta el desempeño del empalme sin importar que método se utilizó. Sin embargo cada parámetro tiene un impacto relativo diferente dependiendo de la técnica de empalme.

En un sencillo y masivo mecanismo de conexión y de técnicas de empalme que utilizan referencias de superficie para alinear, la consistencia del alineamiento del diámetro es importante. Para alcanzar una baja pérdida de punta, empalmes y conectores utilizan fibras de diámetros que indirectamente se alinean en el centro. La concentricidad del núcleo/revestimiento es vital, desde que el núcleo debe de concentrarse con el revestimiento para mantener la relación.

En muchas fusiones sencillas de técnicas de empalme. Las maquinas empalmadores activamente alinean el núcleo de las fibras desde las dos marcas, minimizando los efectos de las tolerancias de la geometría sobre las pérdidas de empalme. Para esas tecnologías, el empalme de la concentración

de núcleo/revestimiento mejora con la eficiencia de empalme mediante el incremento de la probabilidad de obtener un aceptable empalme en la primera vez.

En la fusión masiva de técnicas de empalme y la nueva generación de bajo costo, la alineación de empalmes de fusión V-groove, solo alinea fibras para las del tipo V-groove. Sin embargo el mejor trabajo con fibras es el que tiene una mejor consistencia en el diámetro del revestimiento, una baja concentricidad del núcleo/revestimiento y un bajo rizado de fibra. La instalación de la fibra geométrica presenta un escenario de ganancia y puede incrementarse y mejorarse en las técnicas de manufactura de los empalmes y conectores.

LA FIBRA ÓPTICA VA HACIA LA OFENSIVA

La manufactura de la fibra óptica se encuentra en campaña. La confianza en la industria del cobre se está perdiendo por parte del público y los usuarios están buscando nuevos cableados alternos como solución.

El primer punto del problema es el riesgo que proporciona el uso de la categoría # 5 del desprotegido y doblado cable de cobre, el cual ha sido ignorado y dado de baja. La industria del cable ha empezado con su tesis de que la industria va a sufrir una modificación hacia un mercado de ancho de banda de aplicaciones si es que encuentran el camino para los usuarios finales los cuales correrán aplicaciones de 100 Mbps con instalaciones de cobre.

Esto evitaría al mercado el instalar un nuevo cableado, cable especial de fibra óptica, que resulta ser muy caro, difícil de terminar, frágil y que requiere altos costos de aparatos electrónicos. Esta fue la tesis del cobre impropetido y doblado que se hizo público en 1991. En 1992 era claro que la industria del cobre no podía soportar ésta posición. El Instituto Americano Nacional de Estándares dijo que los 100 Mbps no podrían correr para ningún cable con categoría # 5, ya que éste no soportaba la base y se tendría que comprar otro tipo de cable.

La nueva pregunta es que si necesitamos un nuevo cable ¿por que no instalar fibra?. Aparentemente para responder a ésta pregunta y continuar con lo que ha empezado y el justificar el gasto y el de poner un nuevo tipo de cable, la industria del cobre dice que vas a necesitar un nuevo tipo de cable

pero para entonces la pasada instalación de cobre y los costos de los aparatos electrónicos ya habrán aumentado. El premio a mediano plazo de instalar fibra óptica es de 7 veces mayor que el costo de instalar cobre.

Nos encontramos en una encrucijada. Yo pienso que la industria está cambiando de dirección y una vez que lo haga y que la gente empiece a poner la infraestructura, tu pondrás hacer todo lo que quieras y vamos a ver una explosión en la aceptación de tecnologías de ancho de bandas. La industria del cobre deberá de ver como obtener lo mejor del cobre en sus anchos de banda y prolongar lo más posible la vida del cobre y deben de aceptar que el nuevo cable será de fibra.

BIBLIOGRAFÍA

- A) .-** Memorias del curso de Fibras Ópticas.
F.I.M.E. - U.A.N.L.
Ing. Leopoldo Rene Villarreal Jiménez.
- B) .-** Sistema Optimux 2/34 Mbps. ALCATEL.
Compañía ALCATEL.
Monterrey, Nuevo León.
- C) .-** Corning Optical Fiber Information Center.
Fiber@corning.com.
Telecommunications Products Division.

