

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON**  
**FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA**  
**Y ELECTRICA**



**CONCEPTOS BASICOS DE FIBRA OPTICA**

**TESINA**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE**  
**ING. EN ELECTRONICA Y COMUNICACIONES**

**PRESENTA**

**RAUL RAMIREZ DEL ANGEL**

**ASESOR: ING. LEOPOLDO VILLARREAL**

**CD. UNIVERSITARIA**

**AGOSTO DE 1997**

T  
TK5103  
.59  
R3  
1997  
c11



1080096859

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA  
Y ELECTRICA



CONCEPTOS BASICOS DE FIBRA OPTICA

TESINA

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
ING. EN ELECTRONICA Y COMUNICACIONES

PRESENTA

RAUL RAMIREZ DEL ANGEL

ASESOR: ING. LEOPOLDO VILLARREAL

CD. UNIVERSITARIA

AGOSTO DE 1997


T  
TK 5103

-59

R3

1997





# **FIBRAS OPTICAS**

**TESIS PRESENTADA POR:  
ING. RAUL RAMIREZ DEL ANGEL**

## *Dedicatoria*

### *A mi familia :*

*A mis Padres y Hermanos, por su apoyo y confianza puesta en mi, en especial a mis padres por esta gran herencia que ellos me han legado y que les agradezco infinitamente; a mis tíos y a mi novia que me apoyaron para lograr terminar mi preparación profesional.*

### *A mis maestros:*

*Por su paciencia y su apoyo, además de sus enseñanzas dentro y fuera de las aulas, por que de su experiencia aprendí muchas cosas, que en el difícil camino de la vida profesional me pueden ayudar a superar muchos de los obstáculos.*

### *A mis amigos:*

*Por que juntos pasamos muy buenos y malos ratos pero con la ayuda mutua logramos, con dedicación y esfuerzo nuestra meta.*

*A todos ellos muchas gracias por su paciencia.*

*Raúl Ramírez Del Angel  
Agosto de 1997*

# INDICE

## INTRODUCCION

ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN	1
HISTORIA DE LAS COMUNICACIONES	1
VENTAJAS EN EL USO DE LAS FIBRAS OPTICAS	3
APLICACIONES DE LAS FIBRAS OPTICAS	5

## COMUNICACION POR FIBRAS OPTICAS

COMPONENTES FUNDAMENTALES DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN	6
ENLACE ÓPTICO	7
TÉCNICAS DE SEÑALIZACIÓN	9
MODULACIÓN	12
ANCHO DE BANDA	13
TÉCNICAS DE MODULACIÓN	15
MODULACIÓN ANÁLOGA EN FIBRAS OPTICAS	20
TRANSMISIÓN DIGITAL	23
TÉCNICAS DE MULTIPLEXAJE	28
MODOS DE TRANSMISIÓN	31

## REDES LOCALES (LAN)

INTRODUCCIÓN	33
VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN	34
TÉCNICAS DE TRANSMISIÓN	34
TOPOLOGÍA DE REDES	36
MÉTODO DE ACCESO	39
MEDIOS DE COMUNICACIÓN	40

## INSTALACION DE CABLE ÓPTICO

INTRODUCCIÓN	43
INSTALACIÓN EN DUCTOS	43
INSTALACIÓN DE LOS SUBDUCTOS	45
INSTALACIÓN DIRECTAMENTE ENTERRADA	54
INSTALACIÓN AÉREA	56
INSTALACIÓN SUBMARINA	58
INSTALACIÓN EN INTERIORES	58

## PRESUPUESTO DE UN ENLACE

PRESUPUESTO DE ATENUACIÓN	59
PRESUPUESTO DEL ANCHO DE BANDA	66

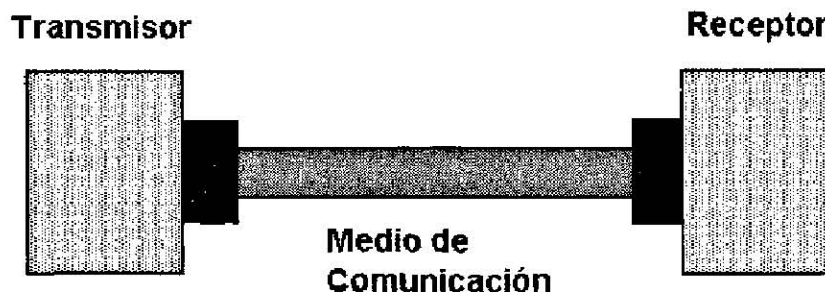


# INTRODUCCION

## 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.

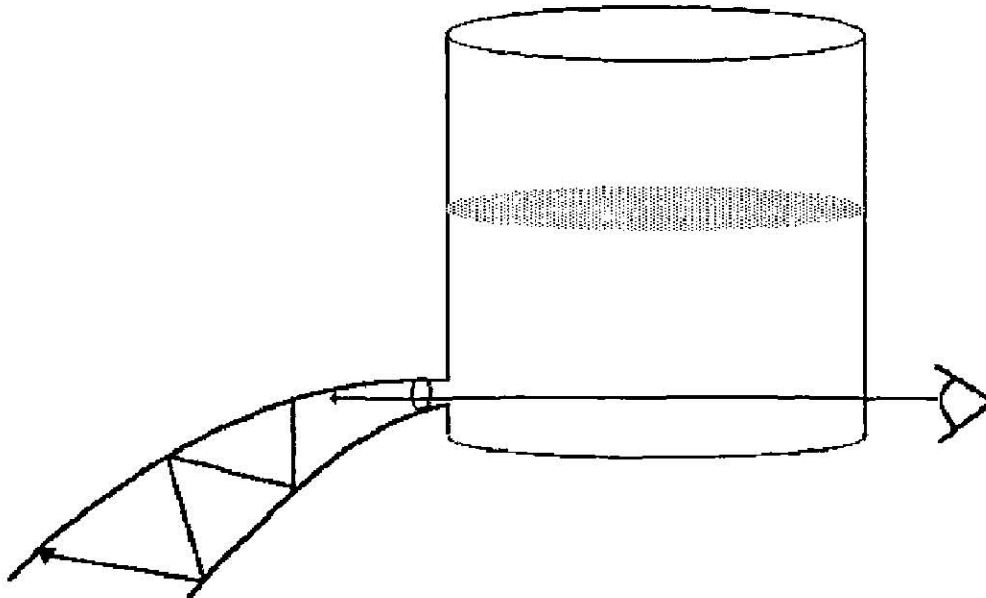
Tanto transmisores como receptores han tenido una evolución muy dinámica, desde que se descubrió la telegrafía y la radiocomunicación. También, el aprovechamiento de los medios de comunicación (Alambres, Cables, Atmósfera, etc.) se ha desarrollado en forma considerable, con la creación de técnicas de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

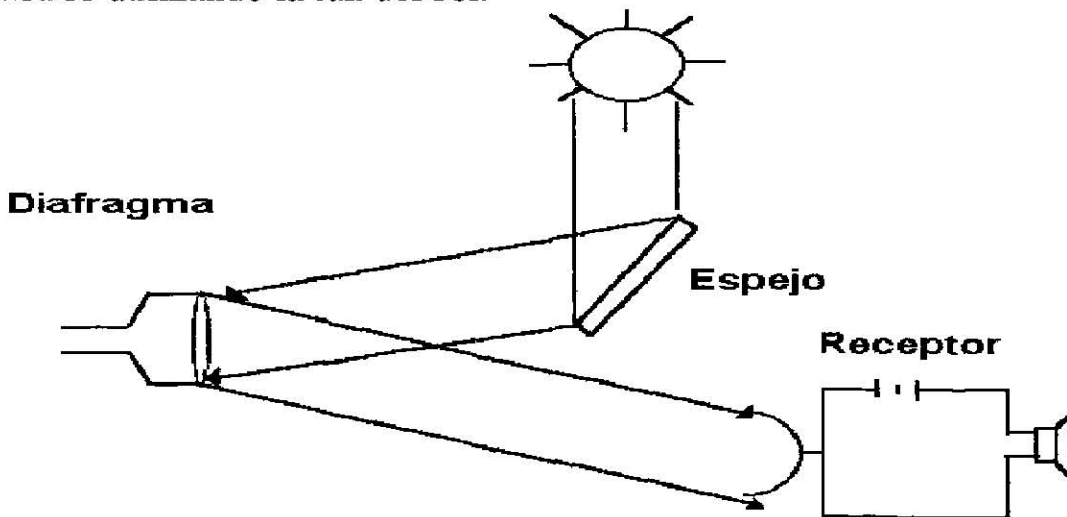
Sin embargo, fue hasta 1790 en Francia que **Claude Chape** utilizando lamparas, formalizo el uso de un telégrafo óptico logrando cubrir una distancia de 200 Kms. en un lapso de 10 minutos.

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



▪ Fonógrafo 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 EEUU construyo un teléfono óptico y logra transmitir audio 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 20dB/km. En 1972, el nivel de atenuación de la fibra óptica fabricada entonces llevo a alcanzar los valores de 4 dB/km.

En 1973, la Armada de EEUU, 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 1989, 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 Optica	30	2.048	9.00
Fibra Optica	1920	139.264	10.00
Fibra Optica	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 Optico
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.

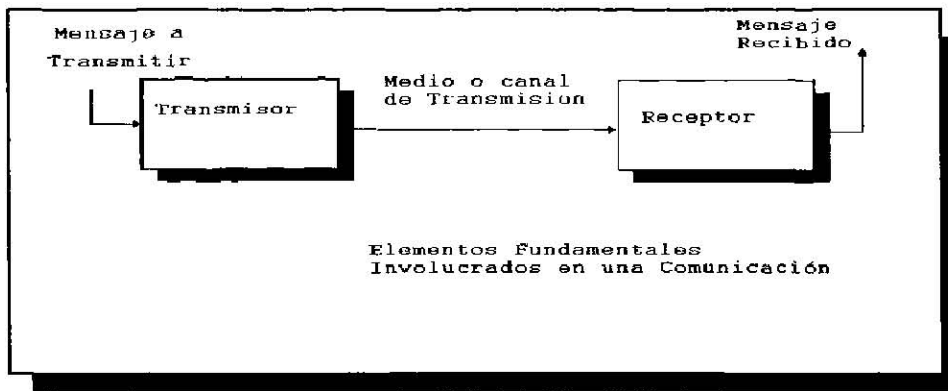
## **APLICACIONES DE LA FIBRA ÓPTICA**

- 1) Telecomunicaciones    Con El 66 %**
- 2) Industria Militar      Con El 16 %**
- 3) Redes De Área Local Con El 11 %**
- 4) Industrias              Con El 5 %**
- 5) Otros Usos              Con El 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 entendiere, de tal forma que el receptor sea capaz de interpretarlo correctamente.

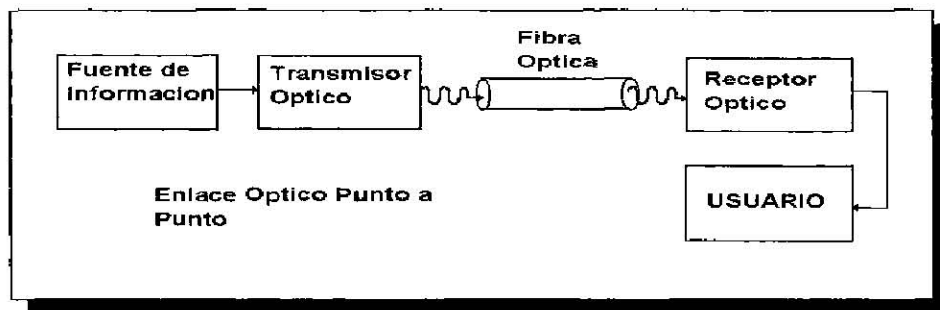
El medio ó canal de comunicación puede ser definido como una trayectoria par la transmisión eléctrica o electromagnética entre dos o mas estaciones. Este puede consistir en un solo alambre, cable de fibra óptica, líneas coaxiales o la atmósfera. De cualquier forma el objetivo de todos es transportar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

## 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**

- a).- Tamaño del núcleo  
(monomodo 10/125, multimodo 62.5/125)
- b).- Perfil del índice de refracción del núcleo  
(monomodo  $g=\alpha$ , multimodo  $g=2$ )
- c).- Ancho de banda  
(monomodo Ghz, multimodo 100 Mhz)
- d).- Atenuación  
(monomodo .3db/km, multimodo 3db/kn)
- e).- Apertura numérica  
(monomodo .12, multimodo 0.26)

### **Fuente de Luz, LED ó Diodo LASER**

- a).- Longitud de la onda emitida  
(LED 850 nm, LASER 1300 nm)
- b).- Ancho espectral  
(LED 50 nm, LASER 4 nm)
- c).- Potencia de salida  
(LED - 6 dbm, LASER 0 dbm)
- d).-Arrea efectiva de radiación  
(LED 100 nm, LASER 100 nm)
- e).- Patrón de radiación  
(LED .3, LASER .1)

### **Detector Optico Fotodiodo PIN ó Fotodiodo de Avalancha APD**

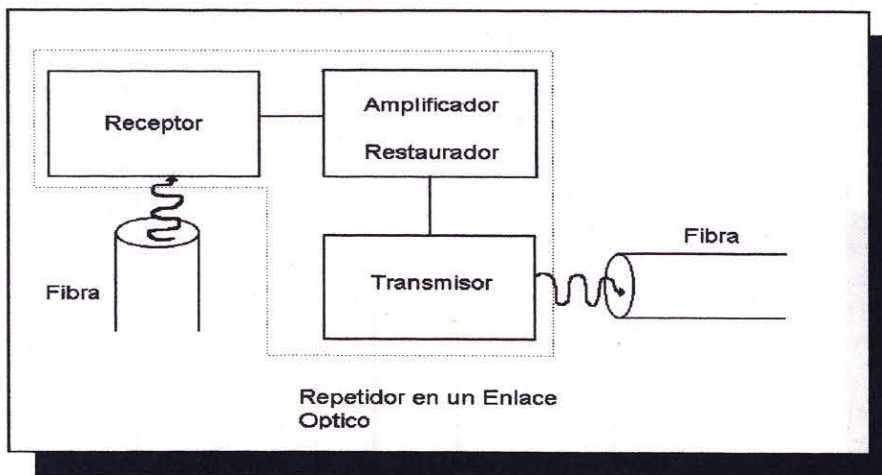
- a).- Respuesta  
(PIN 100 Mhz, APD Ghz)
- b).- Longitud de onda de operación  
(PIN 850 nm, APD 1300 nm)
- c).- Velocidad  
(PIN 100 Mb/s, APD 140 Mb/s)
- d).- Sensibilidad  
(PIN -39 dbm, APD 50dbm)



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 par amplificar y reconstruir la señal. Una de las metas del diseñador de un enlace es la de conseguir distancias mas 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

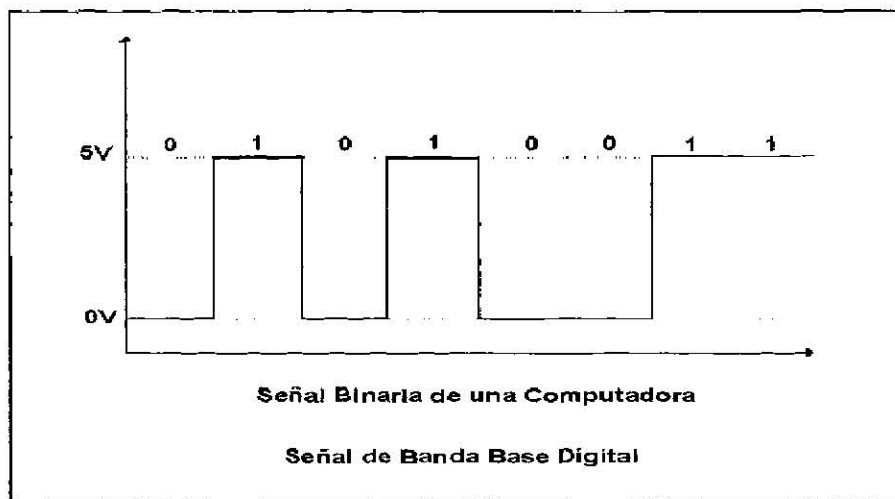
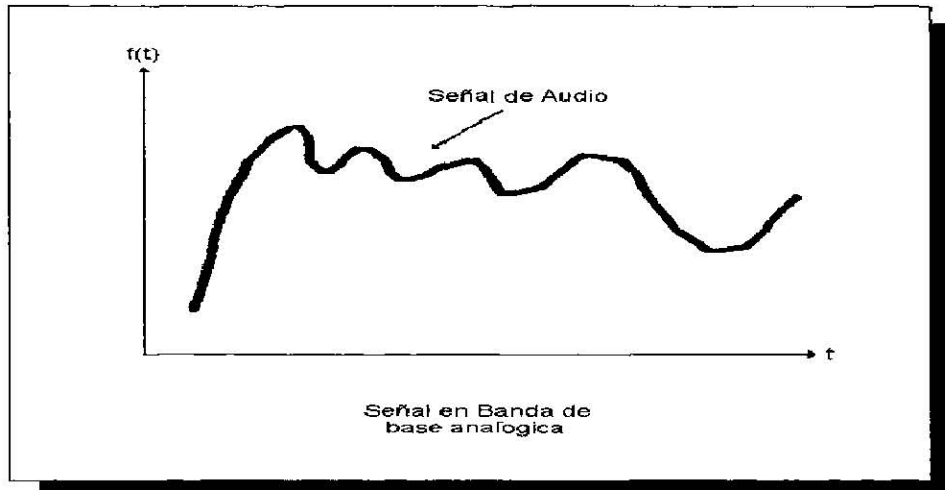
Un mensaje o información puede transmitirse como señales eléctricas usando dos técnicas.

Como banda base (ó de origen)

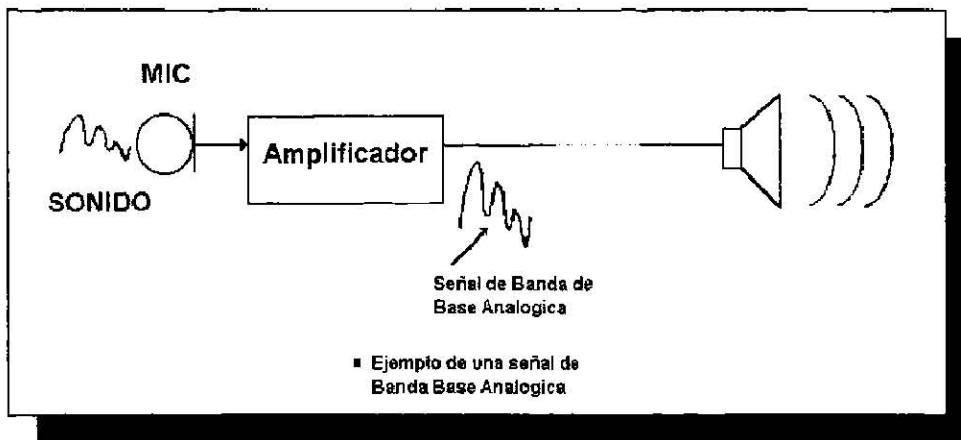
Montándolas en una portadora modulada (modulación)

## Señalización de Banda Base

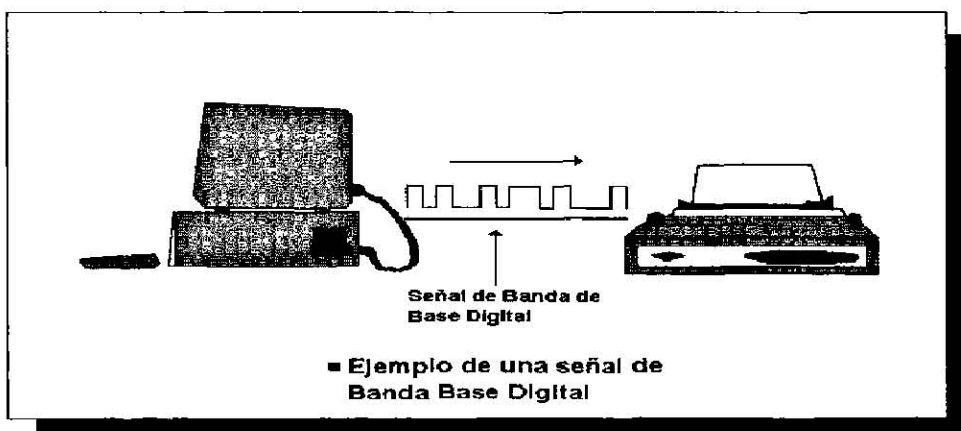
Cuando la señal es transmitida en la forma que es generada ú originada en la fuente. Las señales de banda base pueden ser analógicas y digitales como se muestran en la siguiente figura.



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 circuiteria compleja par adaptar la señal al canal de transmisión.

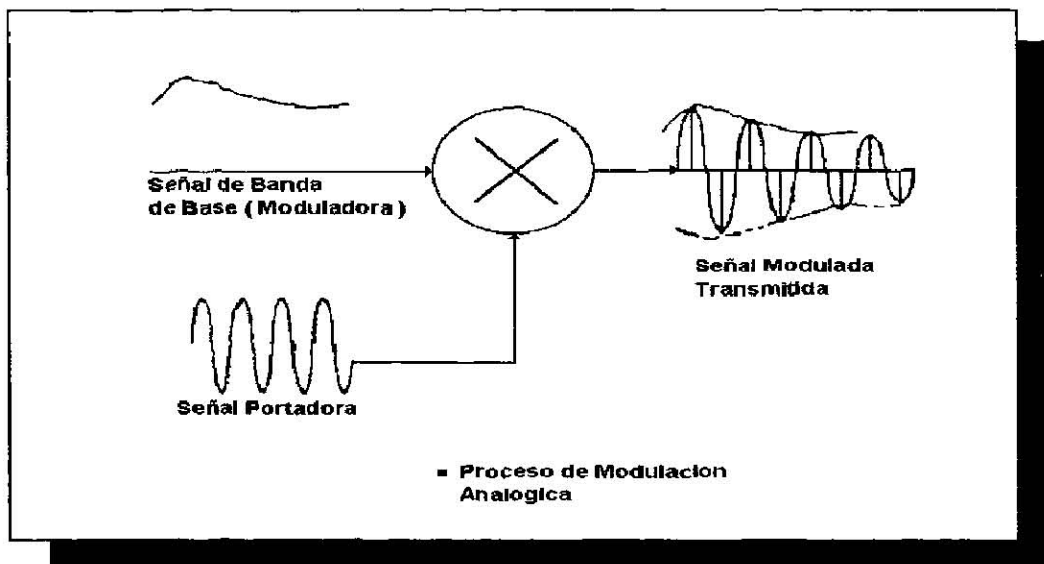
Sin embargo tiene los siguientes inconvenientes:

- 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

Para 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 más altas de frecuencia y aumentar la distancia a la que 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 par 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 par trasmitir esta señal seria 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 par 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 mas información que un sencillo par de alambres.

Un enlace de transmisión digital se diseña par una proporción de bits dada y nos referimos a su capacidad en términos de un numero 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 mas importantes en las

telecomunicaciones, se refiere a la gama de frecuencias que puede transmitir un canal.

Si la frecuencia mas 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. Par que la señal pueda transmitirse por determinados canales, mas 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 solo nos indica las gama de frecuencias.

La capacidad par 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 :

$$C=W\text{LOG}_2(1+S/N)$$

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.

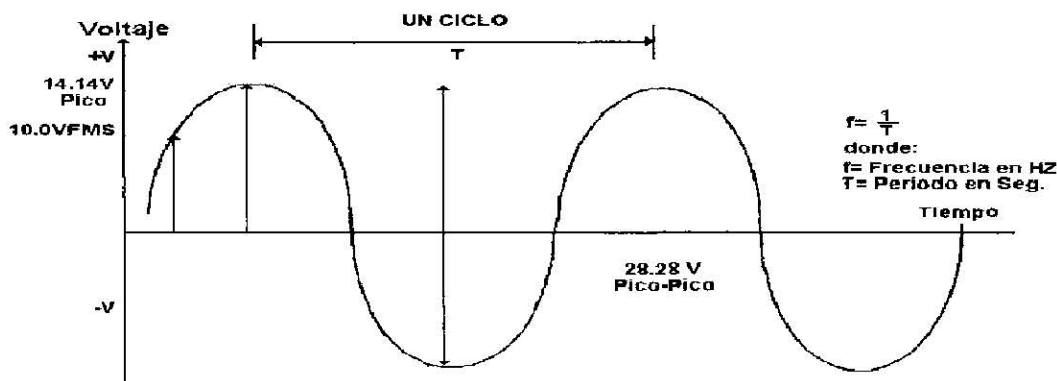
Este limite teórico nunca podrá sobrepasarse a menos que se aumente el ancho de banda del canal disponible ó bien la relación señal a ruido.

# 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, par 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 figura.



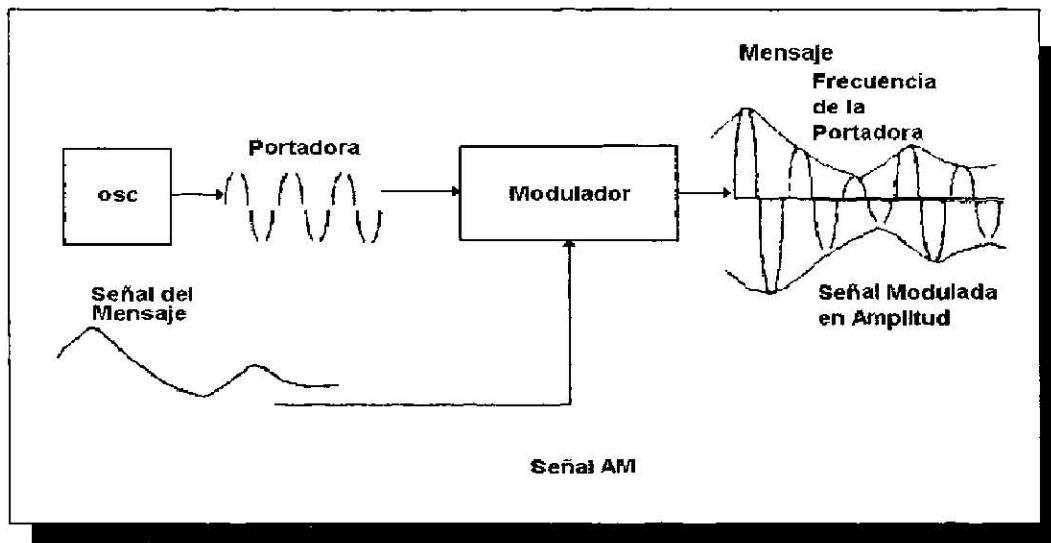
Dependiendo de que característica varíe la señal moduladora (la señal de información) la modulación puede ser:

- ◆ 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 (para una estación de radio de AM su frecuencia tiene que estar dentro de la banda de AM que es de los 535 a 1005 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.

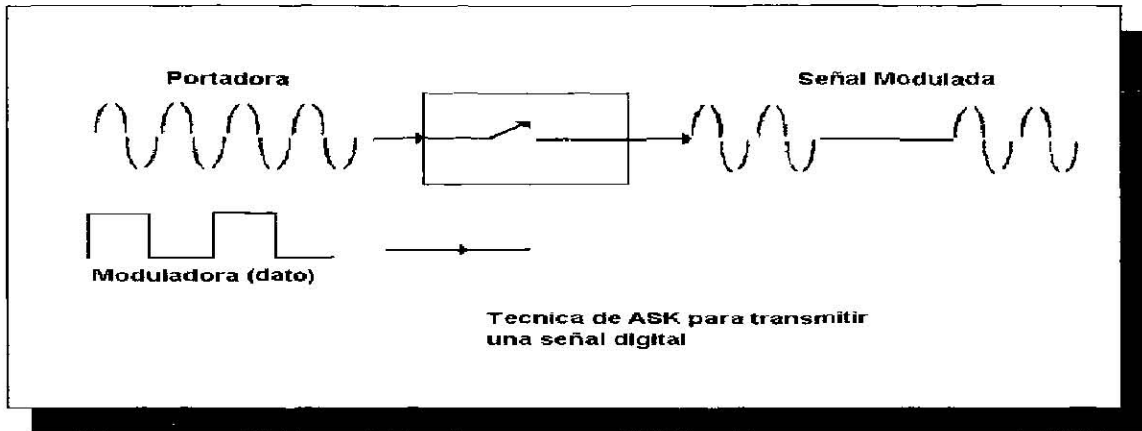


**VENTAJA:** En el proceso se involucran sistemas simples como amplificadores, osciladores.

**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 esta técnica se le conoce como ASK. Cuya representación explicativa se muestra en la siguiente figura.

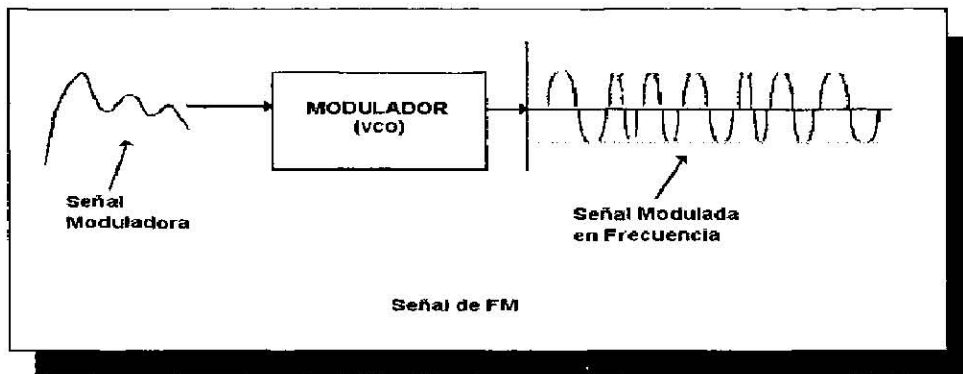




En esta técnica de modulación, cuando la señal de banda base es uno lógico se deja pasar la portadora y cuando la señal corresponde a un cero lógico se impide el paso de la portadora.

**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 par 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 mas afectada por la interferencia. Por esta razón en transmisión de audio de alta fidelidad siempre se prefiere FM.

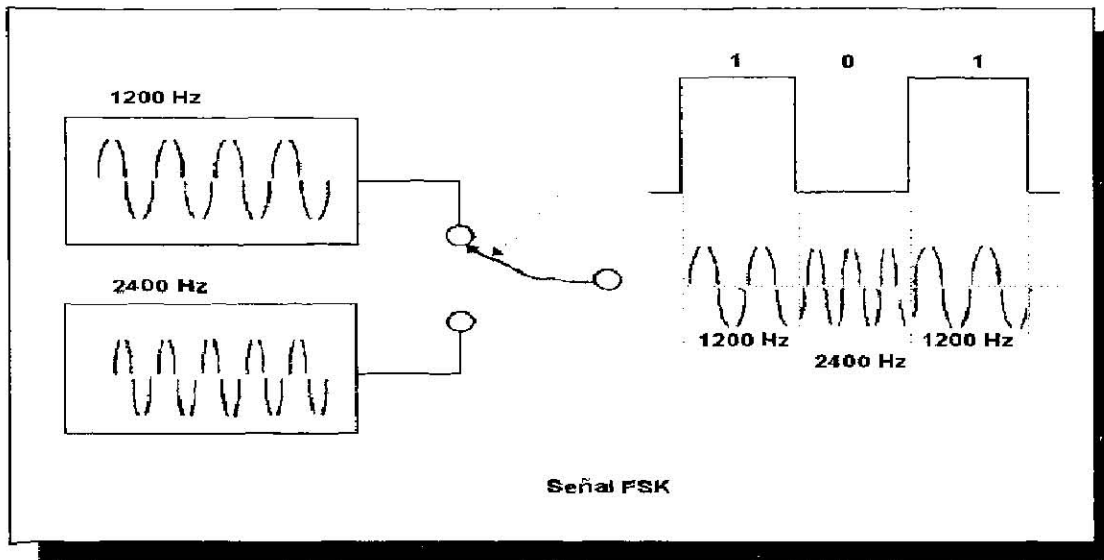
El ancho de banda necesario en un sistema de FM es generalmente mayor que en un sistema de AM y se halla determinado por la amplitud de la onda moduladora. Se dice que una señal esta totalmente modulada cuando se ha desviado (+ -) 75 Khz de la frecuencia portadora.

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 MODEMs 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 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.



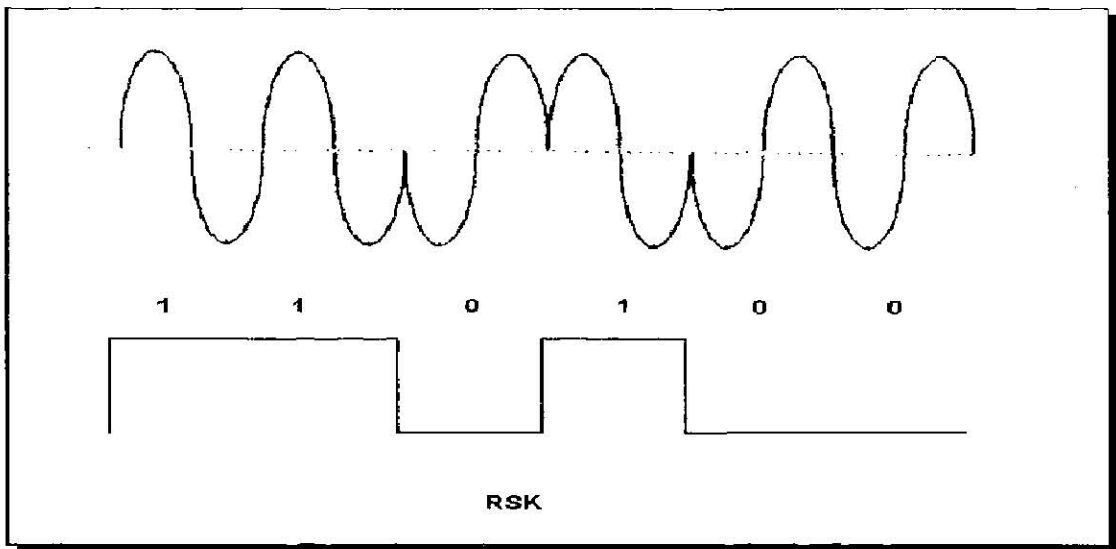
Para comprender mejor esta técnica de modulación, vamos a dar un ejemplo de su uso; si queremos usar un canal telefónico para transmitir datos a baja velocidad con módems de 300 bauds, utilizando esta técnica, lo que se hace es dividir la banda del canal telefónico en dos subbandas, para transmitir en 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 circuiteria para realizarla es muy compleja. Sin embargo es la favorita para la transmisión de datos a alta velocidad.

La modulación PSK bifásica consiste en original un desplazamiento de 180 grados de la portadora cundo 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 LASERs en un sistema de fibras ópticas. Las formas más comunes de modular para transmitir señales en forma digital y analógica son PCM y modulación por intensidad (IM) respectivamente.

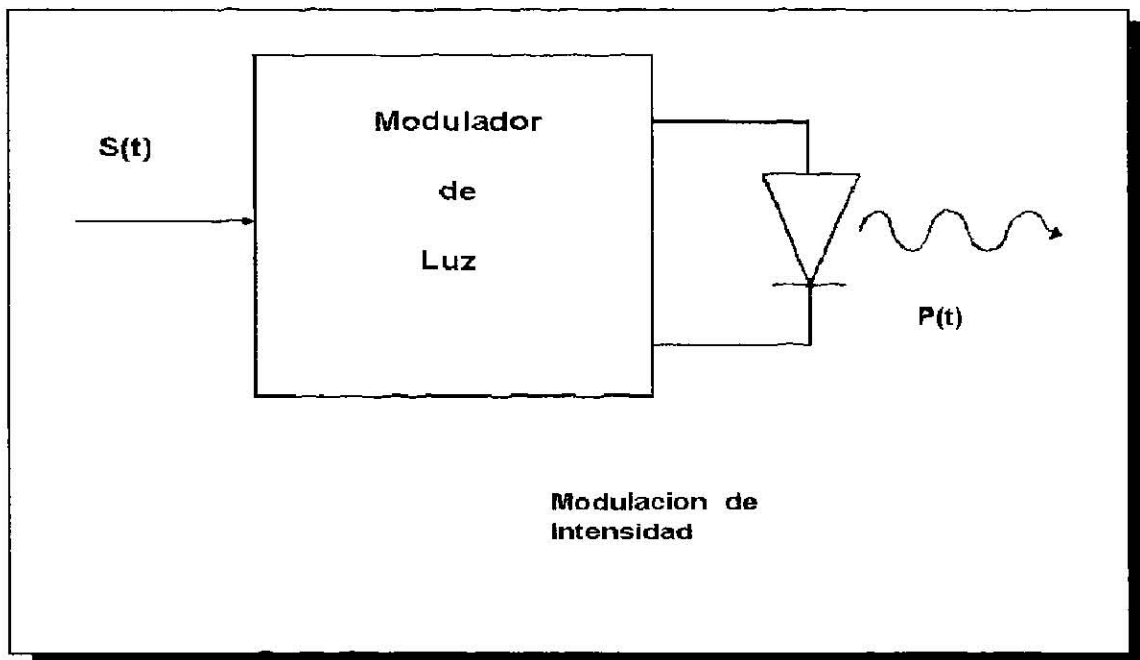
Los sistemas con fibras ópticas son diseñados principalmente para señales digitales, sin embargo, en varias situaciones se puede aplicar para transmitir señales analógicas.

### 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 analógica más 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 está 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:

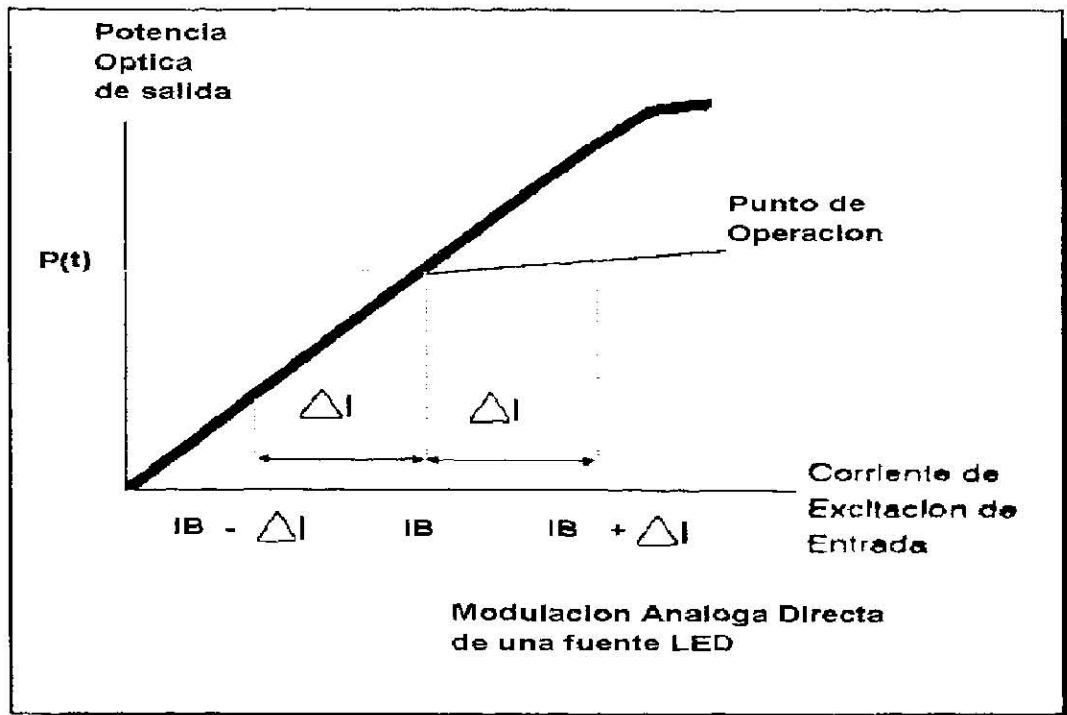
$P_t$  = La potencia óptica promedio transmitida.

$S_t$  = La señal de modulación analógica.

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

Si  $B$  es la variación de la corriente al rededor 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 notoria 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 21dB 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:

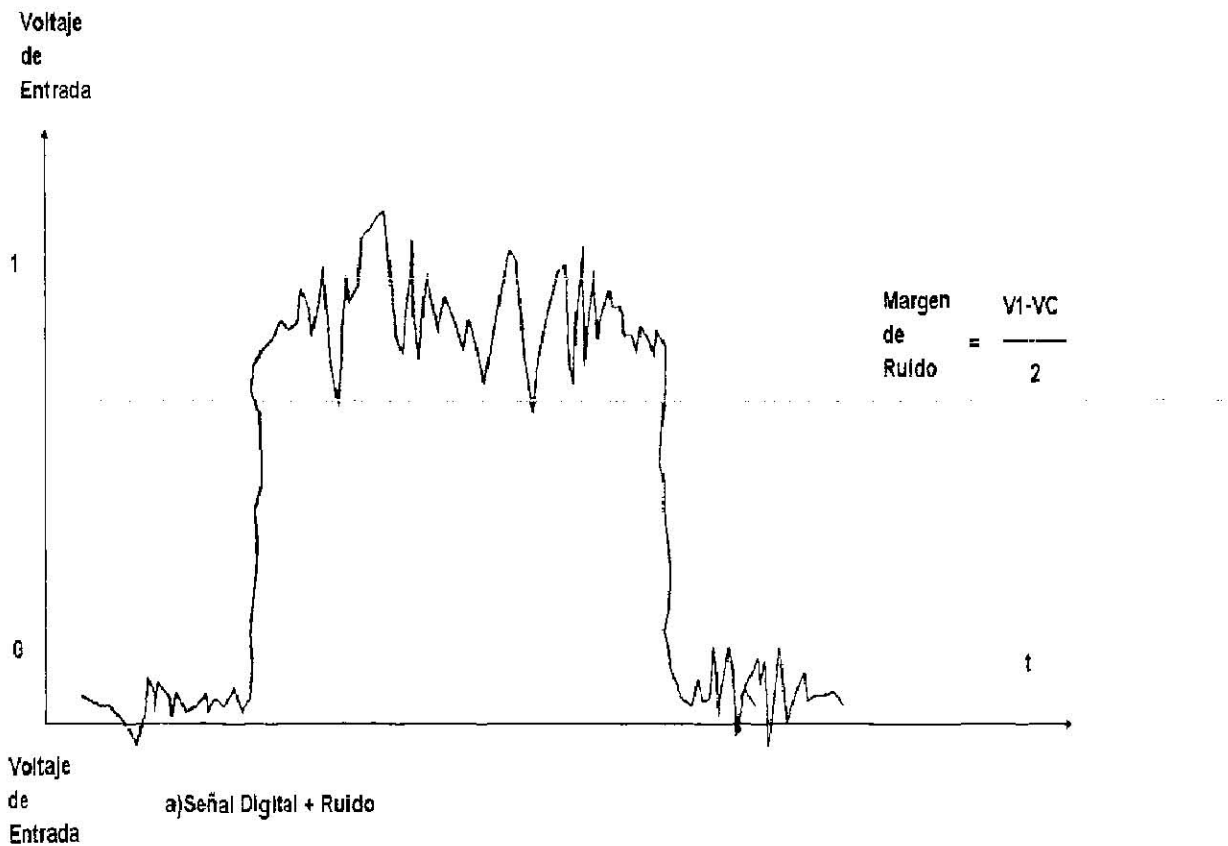
- ◆ PAM (modulación por amplitud de pulsos)
- ◆ PWM (modulación por ancho de pulsos)
- ◆ PPM (modulación por posición del pulso)
- ◆ PCM (modulación por código de pulso)

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

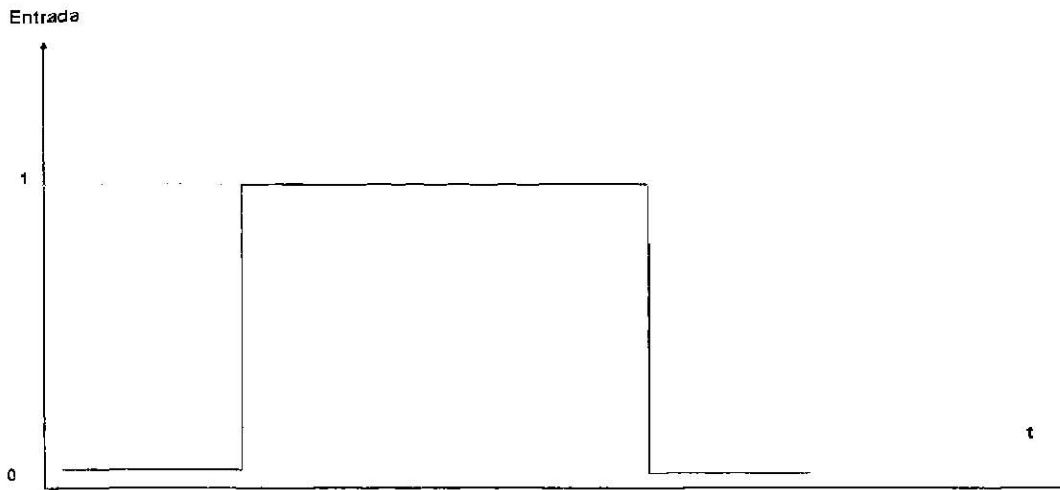
señal analógica muestreada a una frecuencia de al menos el doble de la frecuencia máxima del mensaje a discretizar, esta es la frecuencia de muestreo  $f_s$  (ó de Nyquist), para poder recuperarlo en el receptor sin pérdida de información.

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.

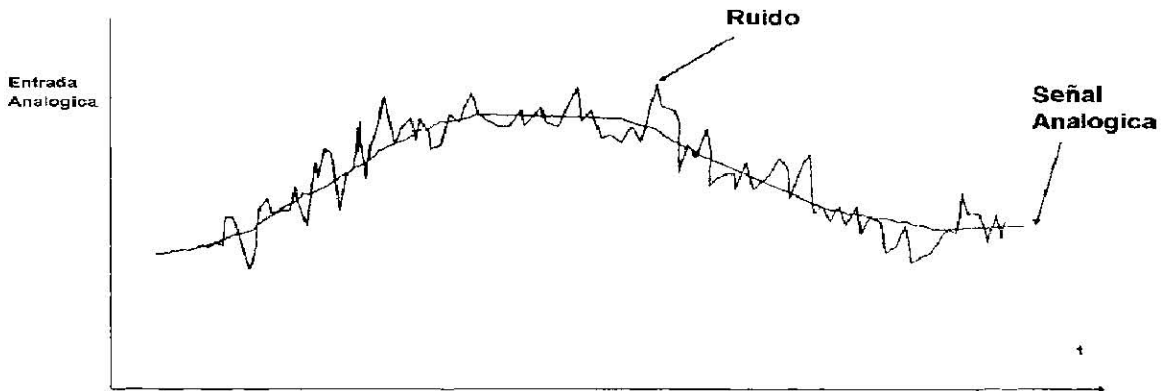
En PPM, se varia la posición de los pulsos dentro de un grupo de pulsos (trama) para representar la información. Si ahora se toma una señal PAM y las amplitudes de las muestras son codificadas a señales binarias representarlas por pulsos de amplitud constante, los cuales se transmiten, hemos obtenido 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 esta 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 de 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 Faso 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 Muestreador/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 Optico.-** Aquí la fuente de luz es modulada por la señal binaria y el haz de luz es acoplado a la fibra óptica.

**5.- Receptor Optico.-** 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. Aliza 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 más importantes del PCM son:

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

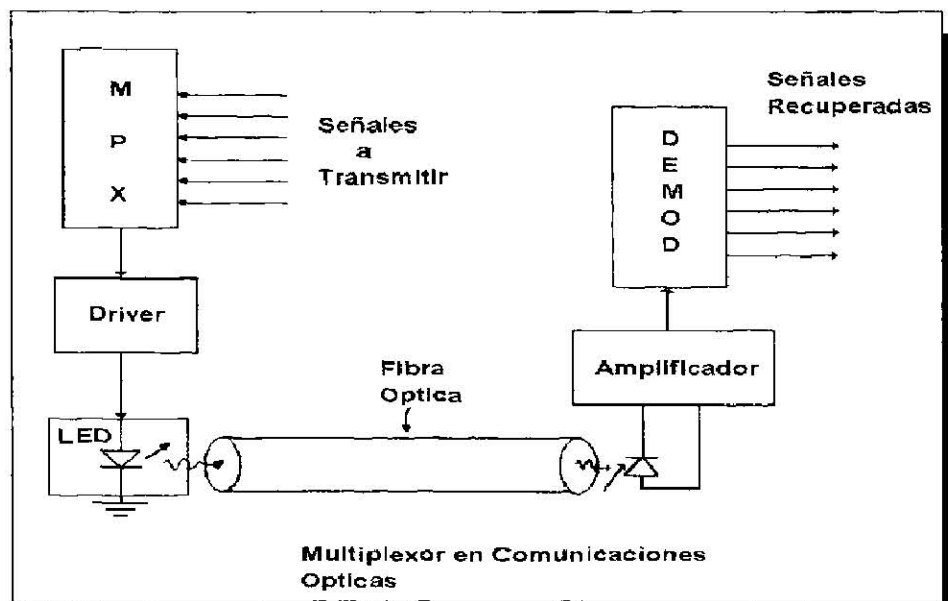
Multiplexaje o multicanalización es una técnica que permite que varios mensajes sean transmitidos simultáneamente sobre una trayectoria común. Para dividir la trayectoria física se usan básicamente dos técnicas, a saber:

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 LASER 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.

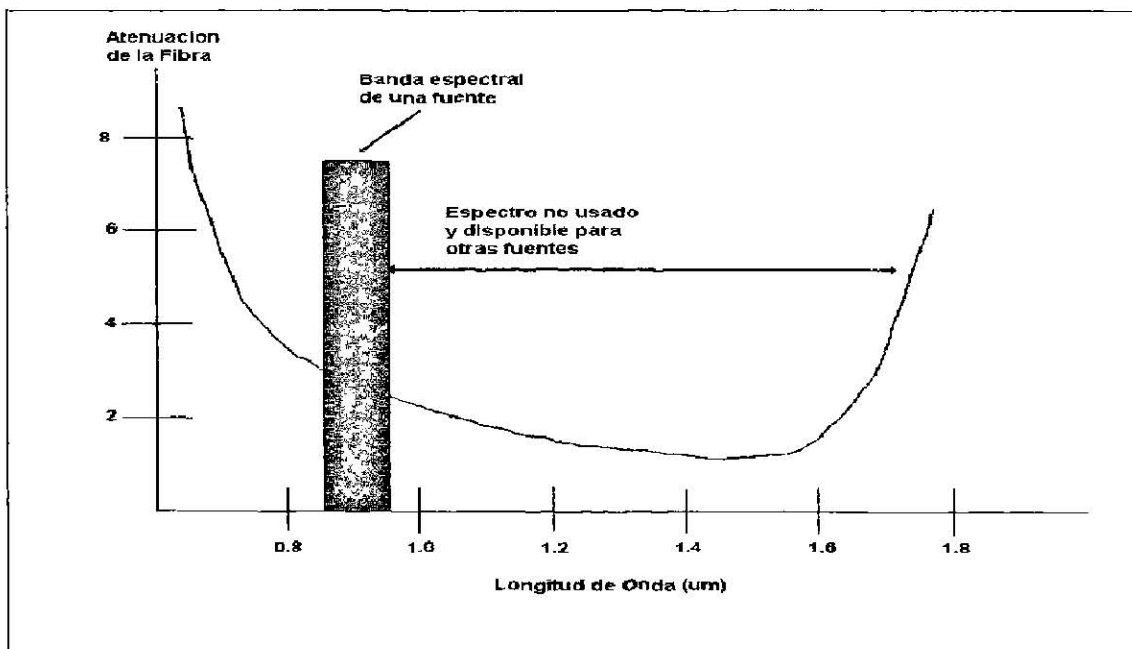
Esta técnica de multiplexaje tiene la desventaja de que se requiere unas bandas extralibres entre subcanal y subcanal para evitar que se interfieran. A estas bandas se les llama bandas de guarda, que limitan la banda útil para enviar información.

## Multiplexaje por División de Tiempo (TDM)

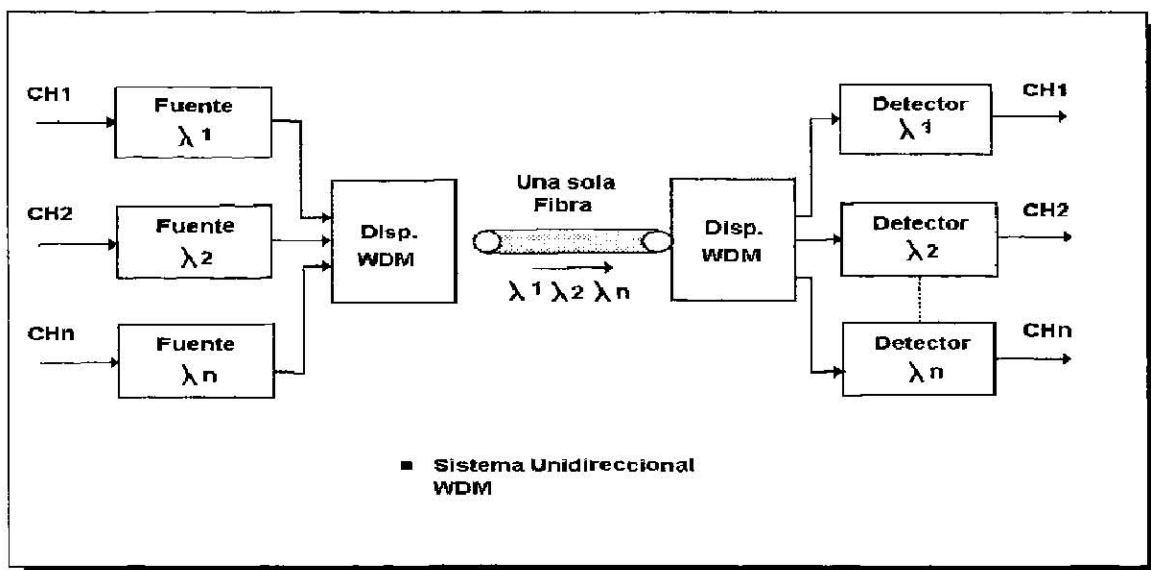
En esta técnica lo que se hace es compartir en intervalos de tiempo asignados a cada canal en donde cada usuario utiliza toda la banda por un instante de tiempo. Es el método mas utilizado en sistemas digitales.

## Multiplexaje por División de la Longitud de Onda (WDM)

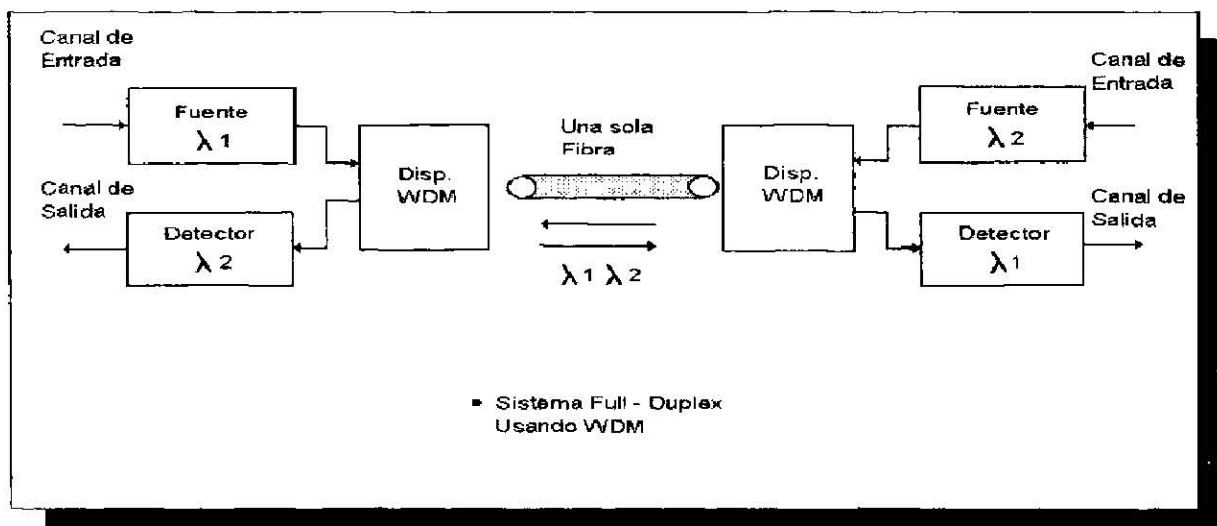
Esta técnica es exclusiva para usarse en comunicaciones ópticas. En un enlace estándar punto a punto una línea de una sola fibra tiene una fuente óptica en su extremo transmisor y un fotodetector en el extremo receptor.



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 técnicas de WDM se hace uso simultáneo de muchos canales espectrales, utilizando varias fuentes de luz, con longitudes de onda 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 más longitudes de onda simultáneamente en direcciones opuestas, como se aprecia en la siguiente figura.



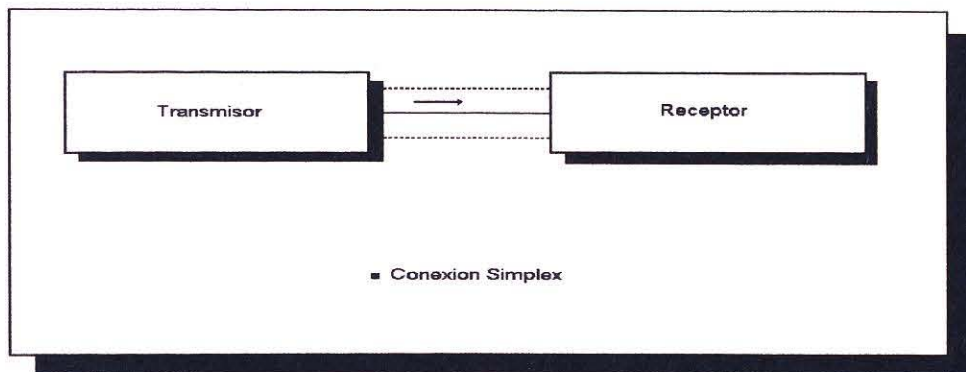
Los equipos multiplexores y demultiplexores son ópticos, y bastante complejos.

## 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.

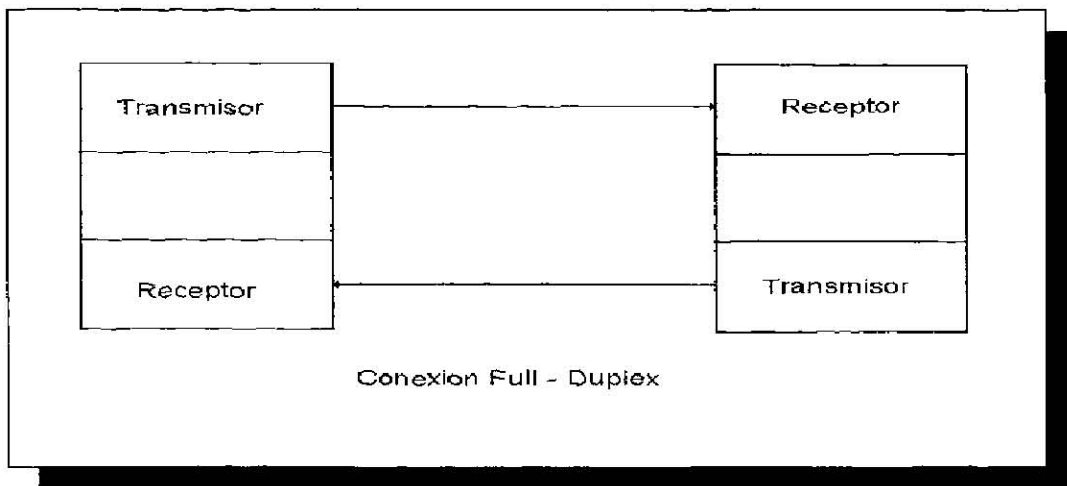


2.- **HALF DUPLEX (HDX)**: También conocido como semiduplex. En este modo se puede utilizar un canal en ambas direcciones pero no simultáneamente. O sea que en cada extremo del enlace tendremos tanto transmisor como receptor. En determinado momento el transmisor de un extremo, y el receptor del otro 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.





# REDES LOCALES (LAN)

## INTRODUCCIÓN

Una computadora personal da autonomía al usuario, pero lo confina a una isla de la que solamente puede salir mediante las redes de comunicación.

El concepto de Red de Computadoras no es nuevo y nace de la necesidad de comunicar equipos de cómputo o computadoras independientes para formar un sistema integral.

Actualmente se han difundido mucho la redes de microcomputadoras llamadas *redes locales o local área networks (LAN)* cuya cobertura no es mayor a 10 kilómetros.

Por medio de estas redes es posible enlazar oficinas, laboratorios, equipos de producción, etc. en una misma planta, permitiendo a cualquier trabajador de la empresa, crear, almacenar ,transmitir o recibir información.

La elección de una red de área local requiere de una cuidadosa evaluación de muchos factores, tales como:

- ◆ Requerimientos y Espectativas de Tráfico
- ◆ Numero de Usuarios
- ◆ Dimensiones de la Red
- ◆ Aplicaciones
- ◆ Servicios a ofrecer

De aquí que los elementos sobresalientes a considerar en una red son:

- ◆ Velocidad de Transmisión
- ◆ Técnicas de Transmisión
- ◆ Topologías
- ◆ Métodos de Acceso
- ◆ Medios de Comunicación

## **VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN**

La velocidad de transmisión es un parámetro que nos indica la cantidad de datos que puede manejar la red.

En otras palabras, es la rapidez con la que fluye la información a través del medio de comunicación.

Las redes locales se caracterizan por su alta velocidad en la transferencia de información, manejando velocidades desde 1 megabit por segundo hasta 16 megabits por segundo.

La comunicación puede efectuarse a:

### **VELOCIDADES BAJAS**

Hasta 4 megabit por segundo

### **VELOCIDADES ALTAS**

de 4 a 10 megabit por segundo

### **VELOCIDADES MUY ALTAS**

10 megabits por segundo en adelante

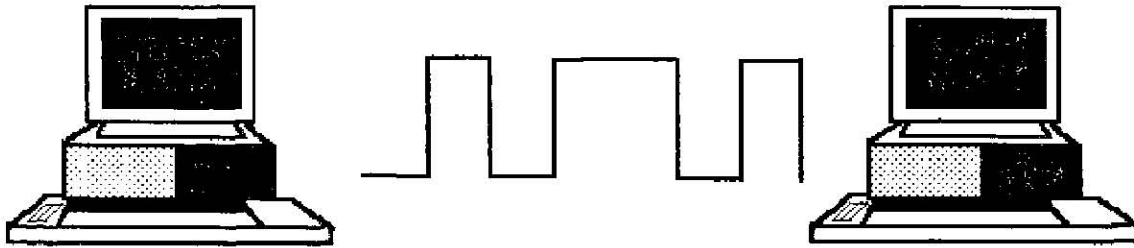
Las velocidades altas se aplican en redes donde la demanda de tráfico es muy alta. Estos sistemas, sin embargo, son muy sensibles a interferencias, mismas que ocasionan errores en el sistema.

## **TÉCNICAS DE TRANSMISIÓN**

Los datos a través de una red pueden transmitirse de dos maneras distintas:

- ◆ BANDA BASE
- ◆ BANDA ANCHA

En BANDA BASE los datos se introducen a la red tal como se generan, esto es, como un tren de bits, ceros y unos.



### ■ Transmisión en Banda Base

En esta modalidad, solamente es posible tener un canal de transmisión de datos.

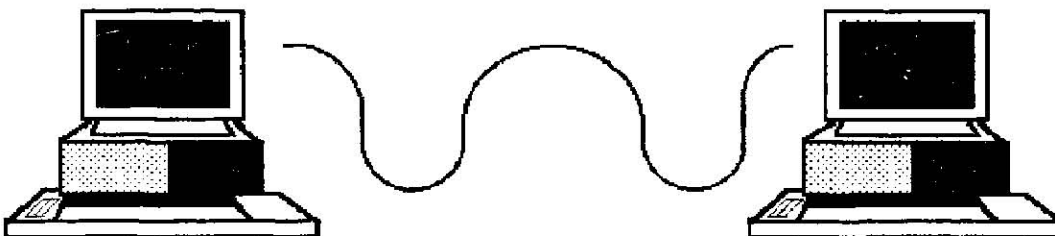
Por lo general las redes que utilizan esta técnica de transmisión son:

- ◆ Son de Dimensiones pequeñas
- ◆ Operan entre 5 y 10 Mb/seg.
- ◆ Soportan hasta 100 dispositivos
- ◆ requieren poco mantenimiento

Las redes en banda base son adecuadas en la interconexión de:

- ◆ Terminales interactivas
- ◆ Microcomputadoras personales
- ◆ Estaciones ejecutivas de trabajo

En la técnica de BANDA ANCHA, los datos se introducen a la red después de que han modulado una señal portadora de radiofrecuencia.



### ■ Transmisión en Banda Ancha

Con esta característica se tiene:

- ◆ Capacidad de tráfico de 400 Mb/seg.
- ◆ Transmisión Multicanal
- ◆ Posibilidad de integrar todo tipo de señales incluyendo audio, video y datos.

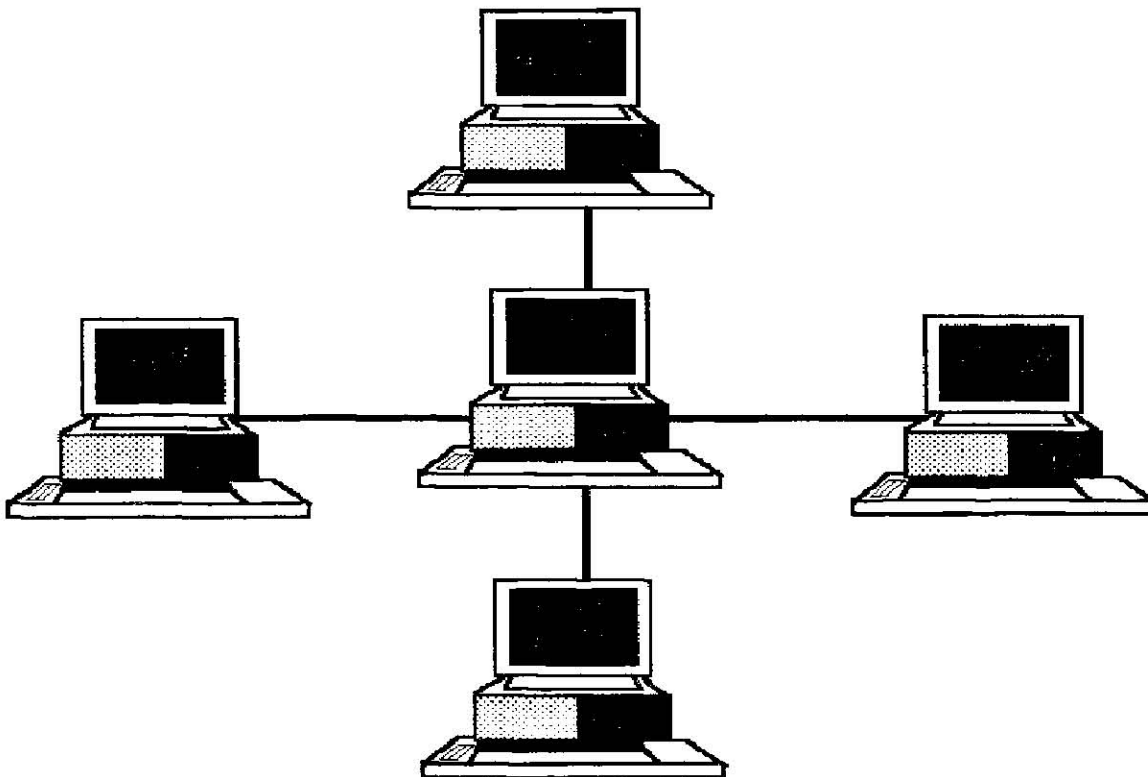
## TOPOLOGÍA DE LAS REDES

La estructura de interconexión o forma de conectar las computadoras en una red, determina la topología de ésta.

Actualmente las topologías más utilizadas son:

- ◆ Estrella
- ◆ Anillo
- ◆ Bus
- ◆ Árbol

En la topología de **ESTRELLA** todos los equipos se conectan a un nodo central, el cual actúa como controlador del sistema, canalizando la información procedente de una estación particular, a su destino.

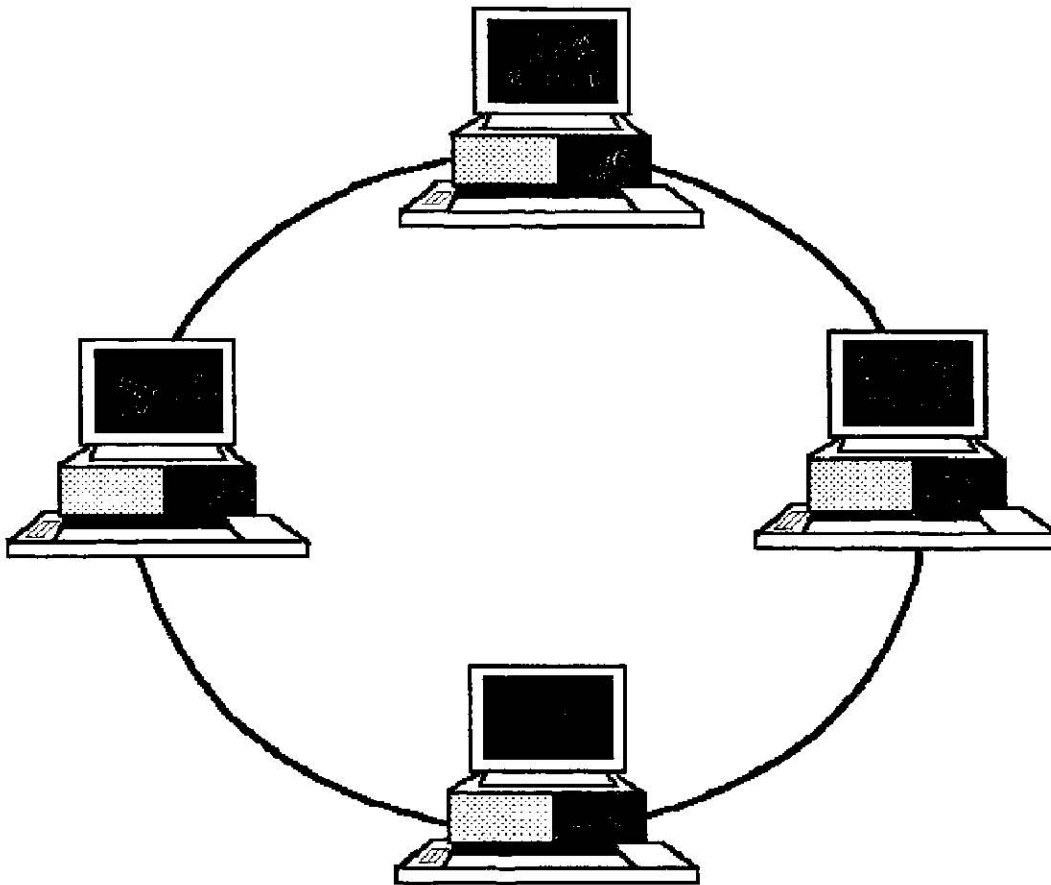


■ Topología de Estrella

La topología **ANILLO** es un lazo continuo formado por las terminales.

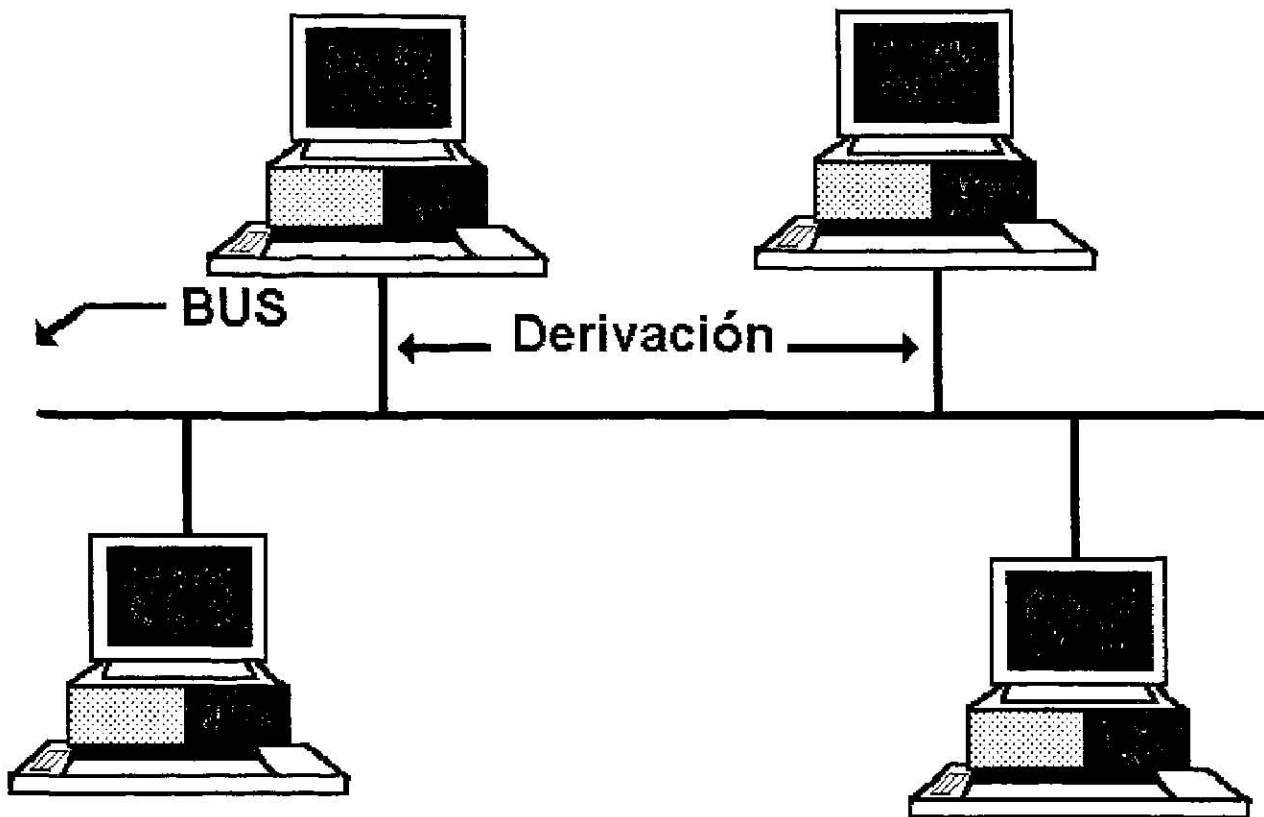
Esta topología se caracteriza por su operación sencilla en redes pequeñas y su fácil conexión y reconfiguración.

La información fluye en una sola dirección, transmitiéndose de terminal en terminal en el anillo. La red puede ampliarse insertando terminales en el anillo o interconectando anillo.



## Topología de Anillo

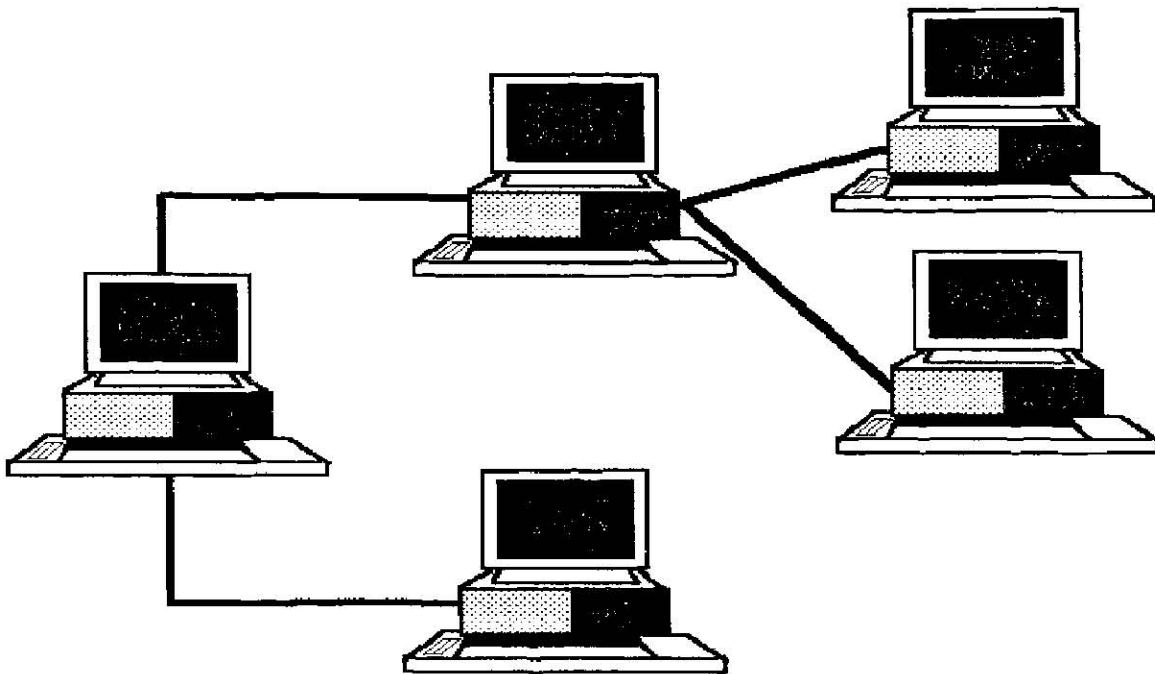
En la topología **BUS** todos los equipos se conecta directamente a un canal de comunicación común denominado *cable troncal*. El enlace que interconecta a una terminal con el cable troncal se llama *derivación*. La información que envía una terminal, es recibida por todas las demás simultáneamente.



## Topología de Bus

Los mensajes así enviados, son ignorados por todas las terminales excepto por aquella a la que va dirigido el mensaje. Se puede aumentar el número de terminales de una red, únicamente conectando éstas directamente, al cable troncal.

La topología de **ARBOL**, es una combinación de las tres anteriores, donde el mensaje es recibido por todas las terminales que actúan como controladores y éstas a su vez, enrutinan los mensajes a la terminal dirigida. Estas redes se pueden ampliar conectando en cascada las terminales de expansión.



## Topología de Arbol

### MÉTODOS DE ACCESO

El método de acceso en una red local es la manera como cada uno de los nodos en la red va hacer uso del medio de transmisión.

Se utilizan principalmente tres métodos:

1. **POLEO**
2. **TOKEN-PASSING**
3. **CONTETION**

El método de POLEO requiere de un controlador de la red, el cual llama a cada una de las terminales, dando lugar a que cada una de ellas pueda enviar un mensaje, cuando el controlador la llame; este método es apropiado para una topología de estrella.

En el método TOKEN-PASSING se genera una señal viajera o token la cual circula por el anillo y controla el acceso a la red. Cuando una terminal

desea enviar un mensaje intercepta el token libre, esto es, sin mensaje, modifica el estado del token y le añade el bloque de datos a transmitir.

El paquete entero viaja hasta encontrar la terminal destino, el cual recibe el bloque de datos y deja que regrese al nodo que lo origino. Al recibir nuevamente al token, la terminal originadora, lo restaura permitiendo que alguna otra terminal inicie una comunicación.

El método CONTENTION, permite que todas las terminales transmitan sus mensajes en forma aleatoria, sin necesidad de pedir permiso a un controlador en la red.

Si dos o mas terminales intentan transmitir simultáneamente se genera una disputa por el uso de la red. existen varias técnicas para resolver las disputas por el uso de la red siendo la mas popular, CSMA/CD.

Con esta técnica, la terminal que va a enviar un mensaje, verifica, que el canal de transmisión, este libre antes de enviarlo.

Si dos o mas terminales envían mensajes en forma simultánea, se genera una colisión de datos anulándose los mensajes. Entonces, las terminales esperan un lapso breve de tiempo antes de retransmitir su mensaje. Este método de acceso es apropiado para topologías bus con trafico moderado.

## MEDIOS DE COMUNICACIÓN

Los enlaces fisicos 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.

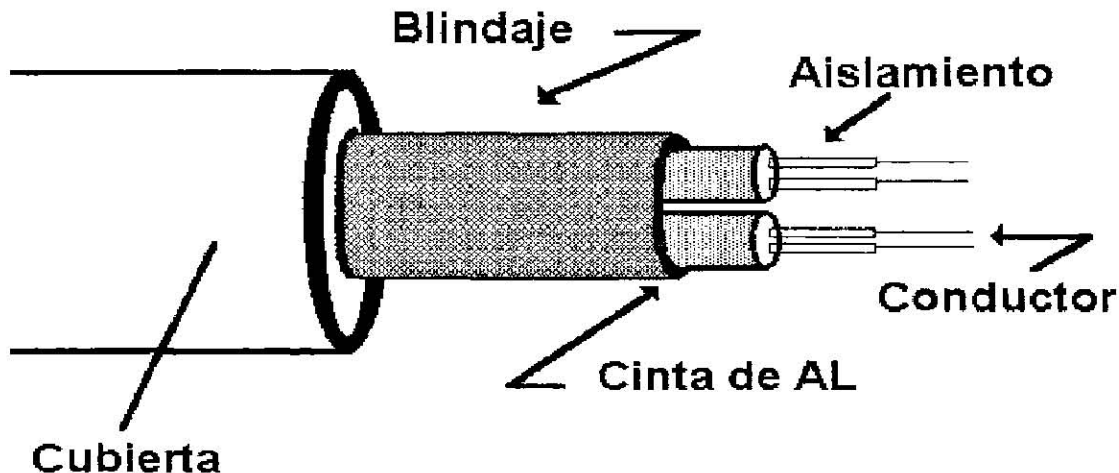
Estos cables pueden ser:

- 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.

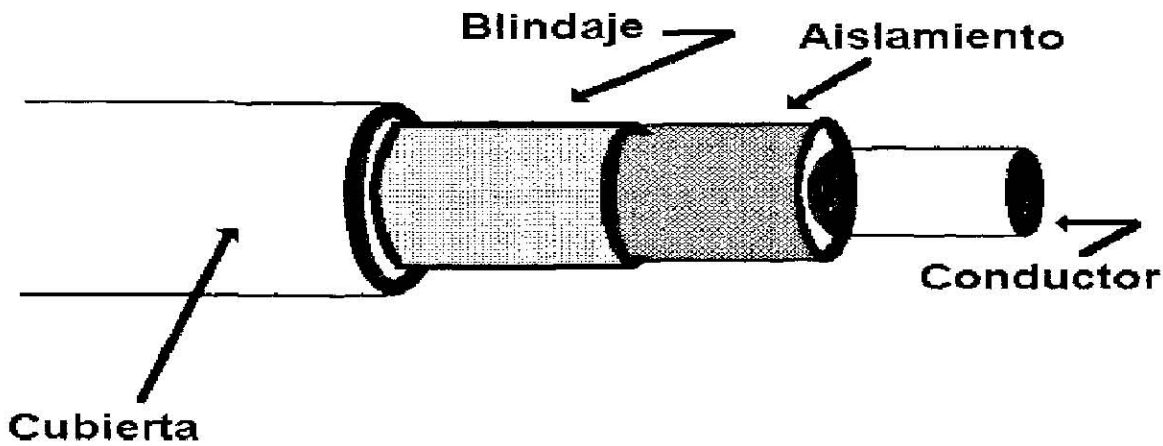
Los cables GRADO DATOS están formados con aislamiento individual de PE celular o FEP muy especial para lograr una capacitancia baja del orden de los 40 p/m.

Estos cables son apropiados para transmitir en banda base y a velocidades de transmisión bajas y medias no mayores a 4 megabits.



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 actua como blindaje contra radiaciones de RF.

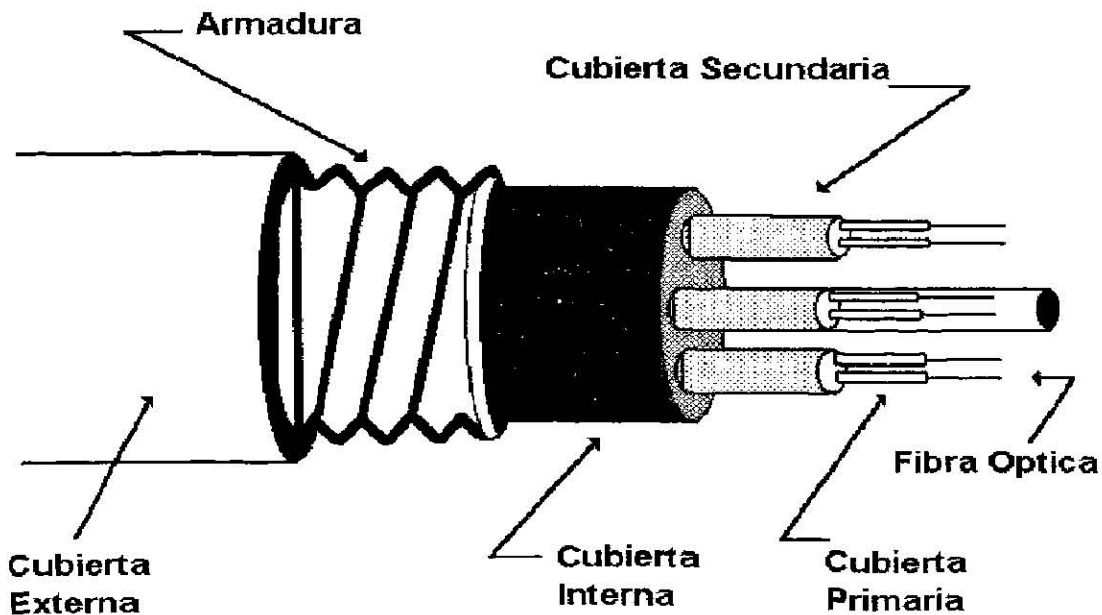
Estos cables son apropiados para transmitir datos en banda ancha y a velocidades entre 10 y 100 mega bits.



### Cable Coaxial

Los cables con fibras ópticas, son cables formados por filamentos de vidrio de 0.125mm 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 100mbs/s atenuaciones muy bajas, del orden de 0.16 db/Km., eliminándose, así, el uso de amplificadores para enlaces largos.



### ■ Cable Optico

# **INSTALACIÓN DE CABLE OPTICO**

## **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 :

a) 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 número de pozos, distancia entre estos y posición del ducto y subducto a utilizar.

b) Inspeccionar los pozos y comprobar que se encuentren en condiciones de trabajo.

c) Verificar que la trayectoria del cable se encuentre libre de obstáculos en los ductos.

d) Comprobar que se tenga todo el equipo necesario y los recursos humanos indispensables, ello incluye el mismo cable, vehículos, protecciones, equipo de comunicación, etc.

e) 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.

a) Nunca debe dejarse caer el carrete o acostarlo.

b) 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.

c) 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.

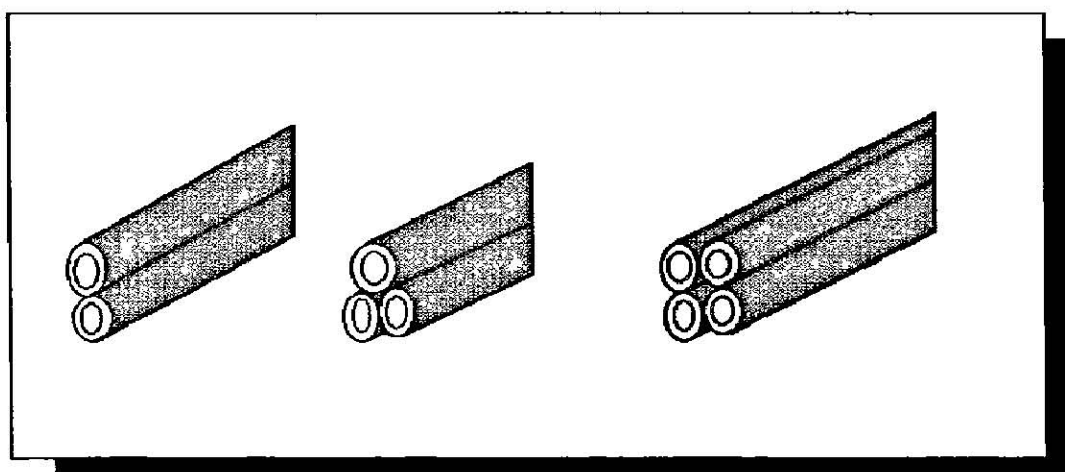
## INSTALACIÓN DE LOS SUBDUCTOS

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

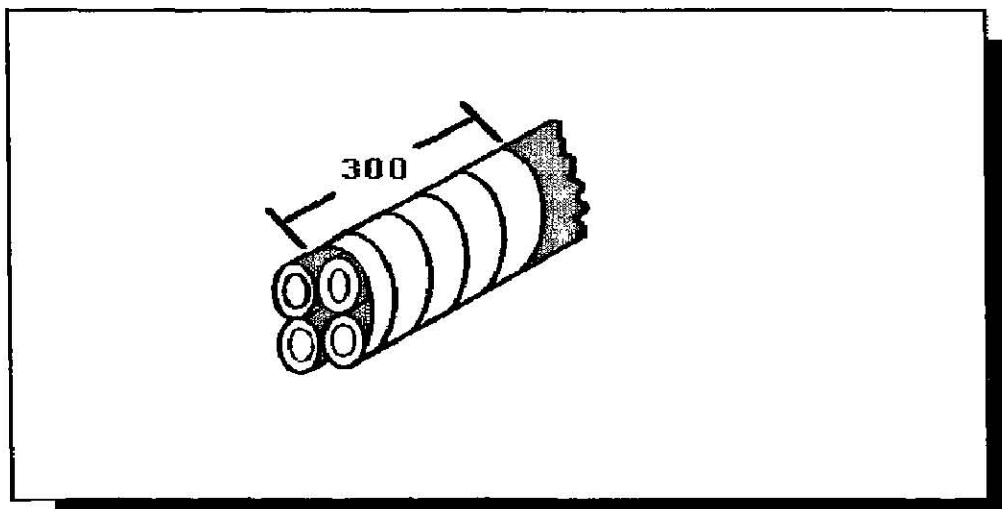
El conjunto de subductos es instalado en el interior del ducto telefónico en una sola operación, para lo cual hay que preparar los subductos.

Preparación de los subductos :

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



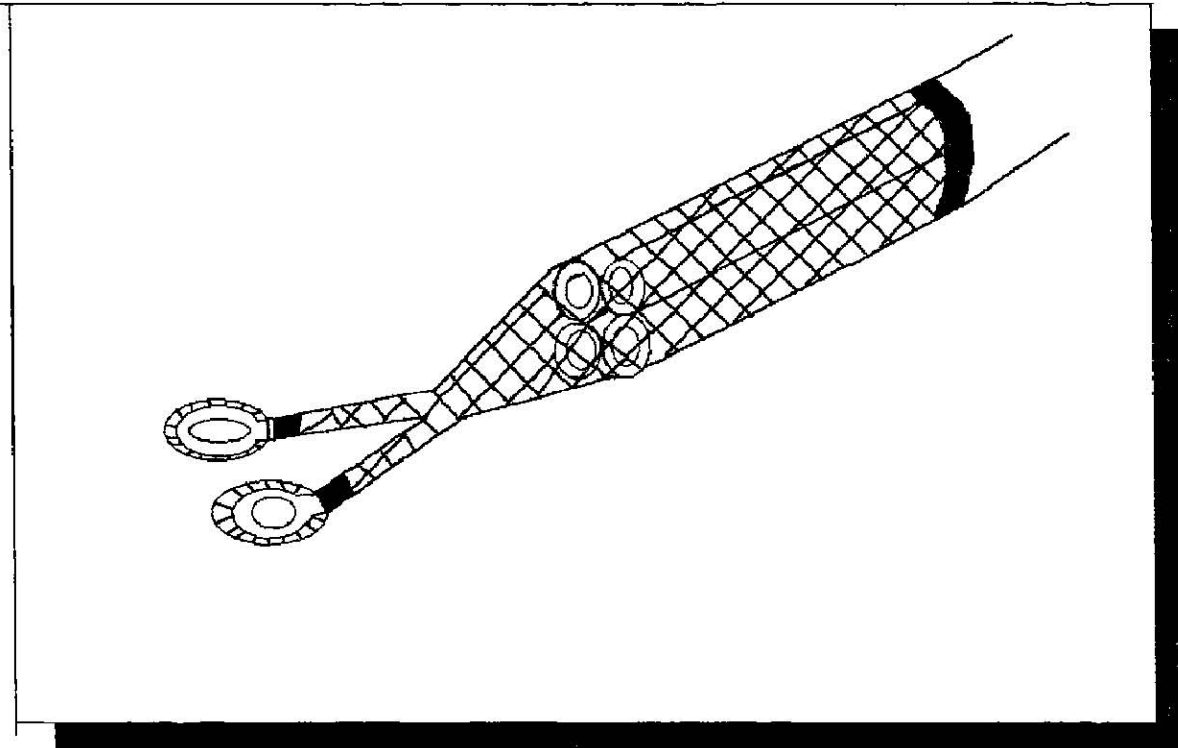
2.- Se enrolla una cinta de PVC alrededor de los subductos, al menos una distancia de 300 mm., como se muestra en la figura.



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.

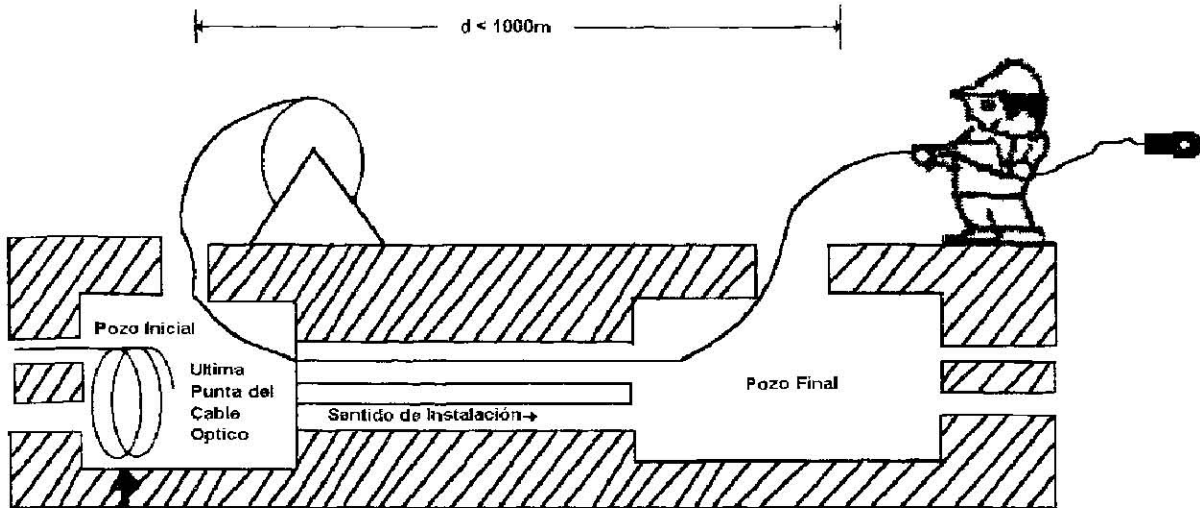
4.- Caletín.

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

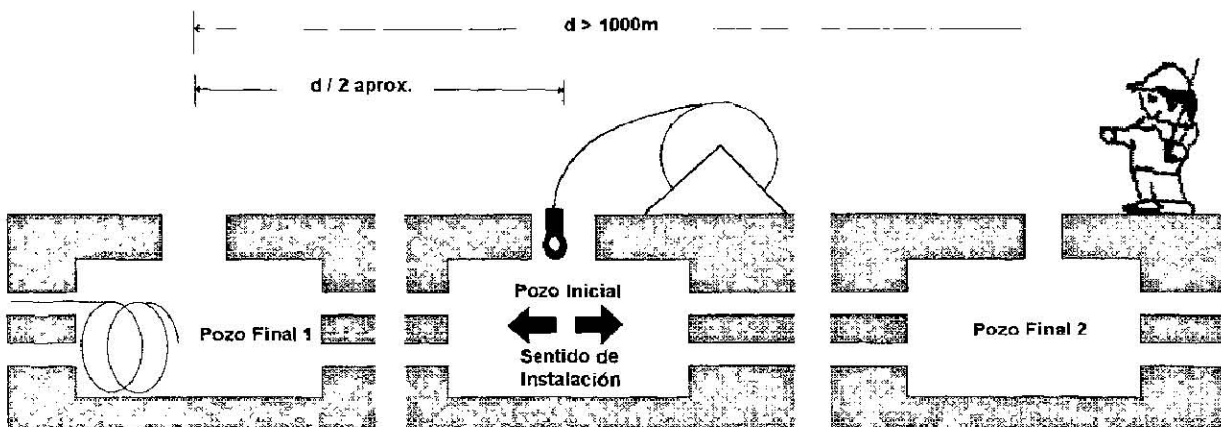
#### **Instalación manual :**

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

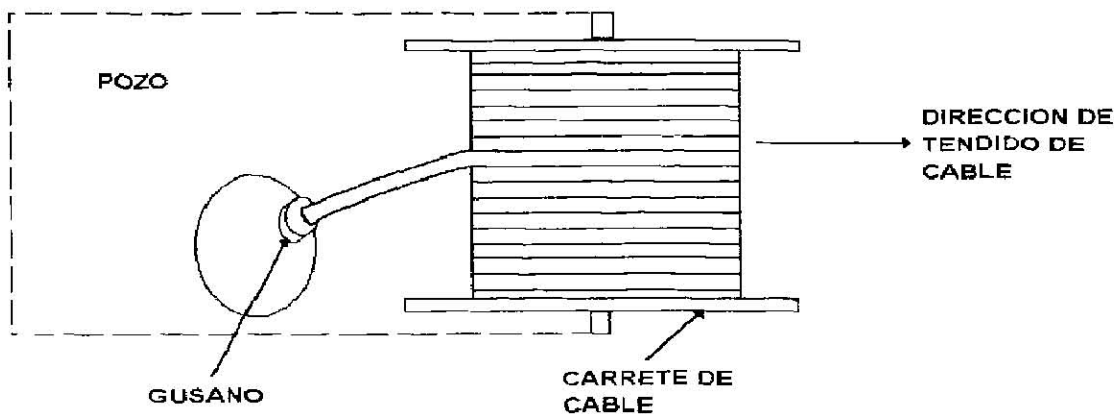
Según la distancia de cable a instalar se puede hacer en una o dos direcciones. En distancias cortas ( menores de 1,000 m. ), el carrete se coloca en la posición inicial o donde quedo la ultima punta instalada, y se instala el cable en un solo sentido.



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.

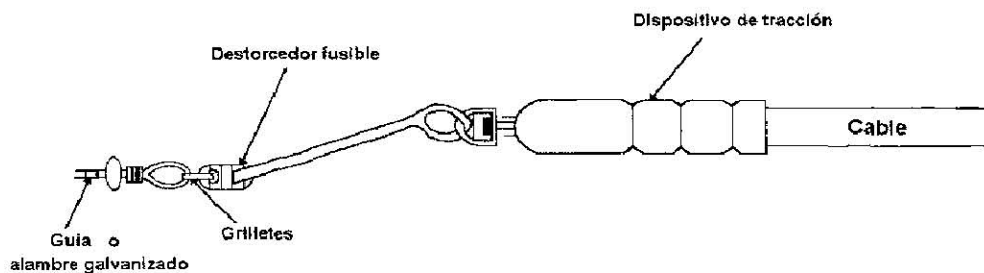




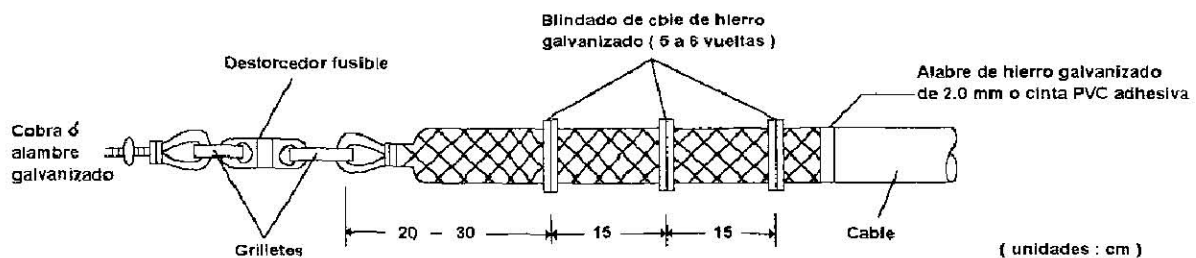
Esto es para que el cable desarrolle una curva en el mismo plano que la ruta.

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.



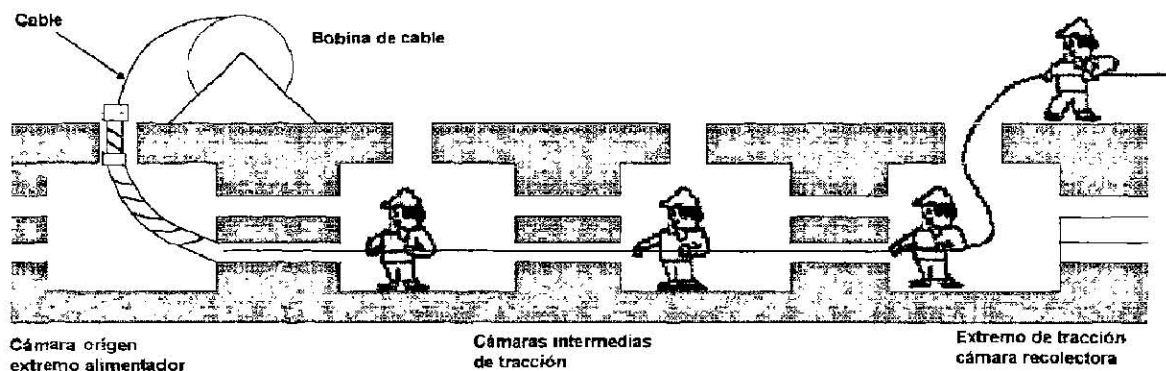
La función del destorcedor-fusible es evitar torsiones indeseables en el cable durante su jalado, además que existan sobre el cable tensiones mayores que las permitidas.

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 :

- 1) El trabajo conjunto
  - 2) La comunicación entre operarios
  - 3) El desembobinado del cable en forma continua, sin golpeteos y jalones y
  - 4) 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 número 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 límites 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 está 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 crítico 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.

## **INSTALACION DIRECTAMENTE ENTERRADA**

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 los 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 fisicamente 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 relleno 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.

## **INSTALACION AEREA**

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 enroscara 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.

## **INSTALACION 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 deslizante, que es jalado por un winch, el cable se alimenta a través 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.

## **INSTALACION 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 poliuretanos.

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 público, 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;

1.- Factores Intrínsecos como absorción y dispersión, cuyos efectos son determinados, por el coeficiente de atenuación de la fibra óptica.

2.- 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:

$$\mathbf{PERDIDA\ TOTAL = A + Aaco + Aemp + Acon}$$

Donde:

$$\begin{aligned} A &= \text{Atenuación en la Fibra} \\ Aaco &= \text{Atenuación por Acoplamiento} \end{aligned}$$

$A_{emp} = \text{Atenuación por empalmes}$   
 $A_{con} = \text{Atenuación por conectores}$

Si la longitud de la fibra en el enlace y  $\alpha$  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  $\alpha_a$  es el coeficiente de atenuación por acoplamiento, tendremos

$$A_{aco} = N_a \alpha_a$$

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 :

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

Donde:

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

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

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

Si  $N_e$ , es el número de empalmes y  $\alpha_e$ , es el coeficiente de atenuación por empalme, entonces:

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

Si  $N_c$  es el número de conectores en el enlace y  $\alpha_c$  es el coeficiente de atenuación por conector, se tiene:

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

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

$$\mathbf{PERDIDA\ TOTAL = A_l + N_a \alpha_a + N_e \alpha_e + N_c \alpha_c}$$

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

$$A_r = \alpha_r L$$

Donde:

$\alpha_r$  = Coeficiente de Atenuación de reserva por unidad de longitud

$L$  = Longitud de la fibra en el enlace

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

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

Entonces,

$$Pres = ( aL + Ne\alpha e + Na\alpha a + Nc\alpha c ) + \alpha rL$$

El Presupuesto del enlace también se define como:

$$PRES = P - S$$

Donde:

$$P = \text{Potencia del Transmisor}$$
$$S = \text{Sensibilidad Máxima del Receptor}$$

Esta ecuación determina la pérdida 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.

$$P - S = ( aL + Na\alpha a + Ne\alpha e + Nc\alpha c ) + \alpha rL$$

**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  $\mu\text{m}$ , Apertura Numérica de 0.26, y un Coeficiente de Atenuación de 3 dB/Km. También se utiliza un Emisor cuya potencia es de 250  $\mu\text{w}$ , un Diámetro de 100  $\mu\text{m}$  y una Apertura Numérica de 0.3. El Detector utilizado tiene una Sensibilidad de 0.125  $\mu\text{w}$ , un Diámetro de 150  $\mu\text{m}$  y una Apertura Numérica de 0.4. Como se cuenta con tramos de un kilómetro de cable, se requerirá empalmar dos veces con una pérdida de 0.2dB/empalme. la fibra se termina con conectores SMA que dan una atenuación promedio de 0.5dB 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 Pérdida Total.

El presupuesto está dado por:

$$PRES = P - S$$

De acuerdo a el enunciado del problema,

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

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

entonces,

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

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

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

Donde,  $\alpha L$  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 Perdida Total en el enlace es

$$\text{PERDIDA} = \alpha L + A_{aco} + N_{ece} + N_c \alpha_c$$

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

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

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 seria de aproximadamente de 2 dB.

En la practica, 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  $\Delta t$ , 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**  $\Delta t_{cr}$ , está dada por

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

Donde:

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

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

$\Delta\lambda$  = 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:

$\Delta$  = 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 850nm, entonces

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

La anchura espectral de la fuente es

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

por lo tanto

$$\begin{aligned}\Delta t_{cr} &= k(\Delta\lambda) L = (0.1 \text{ ns}/(\text{nm km}))(45\text{nm})(3\text{Km}) \\ \Delta t_{cr} &= 13.5 \text{ ns}\end{aligned}$$

La Dispersión Modal en al 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:

$$AB = 0.44 / \Delta t$$

$$AB = 0.44 / 13.81$$

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

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

