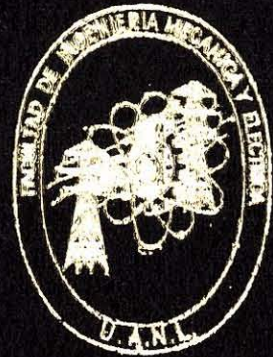
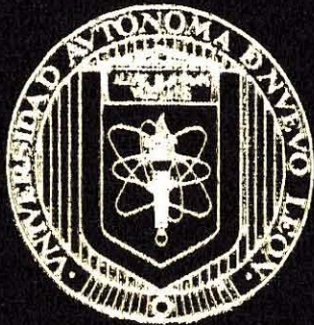


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON  
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA  
Y ELECTRICA



## FIBRAS OPTICAS

### TESINA

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO EN ELECTRONICA Y COMUNICACIONES

PRESENTA

**ROBERTO GENEROSO GARZA FRIAS**

ASESOR: ING. LEOPOLDO RENE VILLARREAL JIMENEZ

CD. UNIVERSITARIA

ENERO DE 1997

T

TK510

.59

G3

1997

c.1



PK5103

59

63

1997

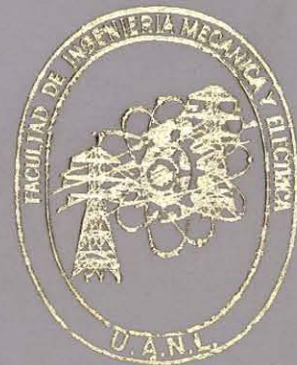
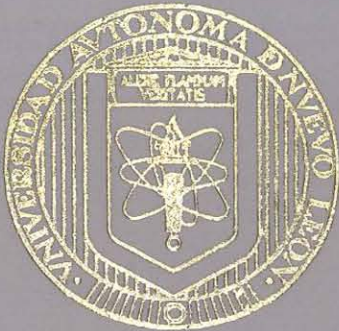
1



1080096857



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

ROBERTO GENEROSO GARZA FRIAS

ASESOR: ING. LEOPOLDO RENE VILLARREAL JIMENEZ

CD. UNIVERSITARIA

ENERO DE 1997

T  
TK5103  
.59  
63  
1997



## AGRADECIMIENTOS

Primeramente te doy gracias *Dios* por la fortaleza y el amor que siempre me has brindado y por la paciencia que me has tenido a lo largo de toda mi vida.

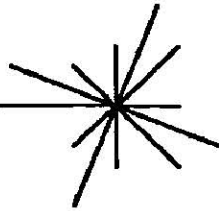
Agradezco a mis padres por su apoyo para lograr este gran objetivo que un día me propuse alcanzar, de igual manera a aquellos a los cuales considero mis amigos porque alguna vez me han dedicado algunas *palabras sinceras de aliento* y afecto lo cual creo vale más que cualquier cosa. A mis compañeros y maestros de la facultad, a los cuales recordare siempre porque fueron parte importante en la conquista de este gran objetivo.

Nuevamente agradezco y dedico esto a mi madre por el apoyo incondicional y el gran amor que siempre me ha brindado, a mis hermanos y, con mucho cariño y respeto, a mi padre que estoy seguro que desde donde él se encuentre estará muy contento y me dedicara algunas *palabras sinceras de aliento*.

*¡ GRACIAS !*



# FIBRAS ÓPTICAS



*Dios dijo: "Hágase la luz",  
y la luz se hizo...  
Y al hombre dio capacidad e inteligencia  
para aprovecharla y propagarla*

# ÍNDICE

TEORÍA DE LAS FIBRAS ÓPTICAS	3
COMUNICACIONES CON FIBRAS ÓPTICAS	12
INSTALACIÓN DEL CABLE ÓPTICO	16
EMPALMES DE FIBRA ÓPTICA	21
REDES LOCALES	27

# TEORÍA DE LAS FIBRAS ÓPTICAS

## I. ANTECEDENTES HISTÓRICOS

La utilización de la luz como transportadora de señales en sistemas de comunicación no es del todo nueva, pues dicha propiedad fue estudiada hace más de cien años por Alejandro Graham Bell, inventor del teléfono. Bell utilizó un espejo, un detector de selenio y luz solar para demostrar que la voz humana podía ser transmitida a través de la luz misma. Su sistema, conocido como fotó-fono, consistía en hacer llegar la voz humana hasta el detector que estaba en un espejo; cuando las ondas del sonido llegaban al espejo, producían una vibración que era inmediatamente capturada por el detector de luz como una variación de energía luminosa.

En su sistema opto-electrónico, Bell se enfrentó con dos problemas; el primero de ellos era debido a la luz que estaba utilizando, ya que la luz blanca, por su alta variación de frecuencias, no era la adecuada para lograr nitidez en la modulación del sonido, y por otra parte, el aire no parecía ser el medio más adecuado para lograr la transmisión, dado que las partículas que lo constituyen absorben la luz originando pérdidas de información.

El principio de operación de los sistemas de telecomunicación, hoy en día, es en esencia el mismo. A partir de la primera demostración del Láser de rubí en 1960 y la evolución igualmente paralela de la tecnología de las fibras ópticas en la década de los sesenta, se volvió al principio de Bell, utilizando la luz para los modernos sistemas de comunicación.

En mayo de 1854, John Tyndal demostró el principio de la reflexión total interna conduciendo luz en una cascada de agua. Observó que los rayos de luz viajando a través del agua (medio ópticamente denso) no escapan hacia el aire (medio ópticamente menos denso), sino que hasta exceden a un ángulo crítico; en esencia éste es el principio de las guías de luz. Más adelante, en 1910, Deybe hizo estudios de guías de ondas dieléctricas, utilizando tubos construidos de diferentes tipos de materiales dieléctricos translúcidos.

La invención del rayo láser en 1960, marcó la posibilidad de utilizar luz coherente en guías de onda para transmitir señales de comunicación. En los primeros intentos, las pérdidas de información eran muy grandes y la principal razón se debía a las impurezas en los materiales utilizados. Esto fue investigado en 1966 por Charles Kao y George Hockham, de los Standard Telecommunications Laboratories, en Inglaterra, cuando las atenuaciones conocidas en las fibras eran del orden de 1000 dB/Km; más sin embargo, ellos especulaban que si se lograban pérdidas menores a los 20 dB/Km, entonces dichas fibras podrían ser utilizadas en las telecomunicaciones.

Cuatro años más tarde, en 1970, tres físicos de la Corning Glass Works: Maurer, Keck y Kapron, eliminaron las impurezas en las fibras al suprimir los vapores dentro



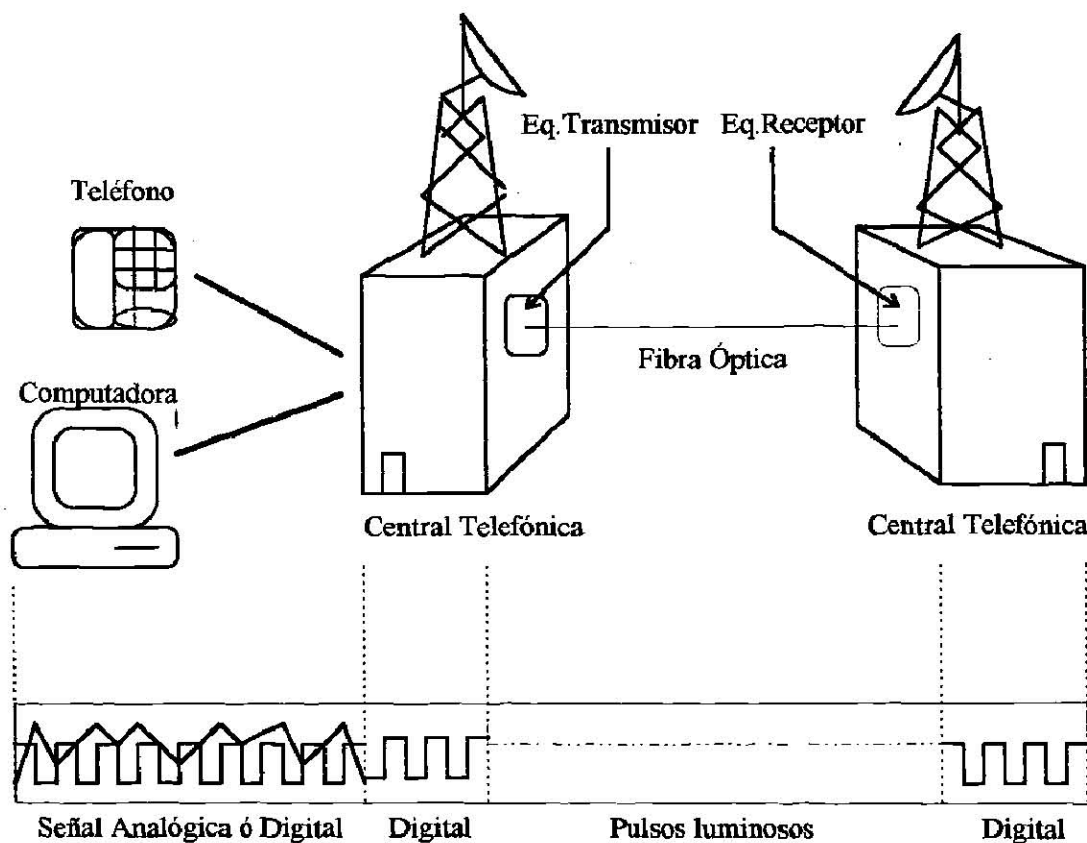
del tubo de vidrio que las constituye; logrando con ello, además, una mayor firmeza en el material al diseñar fibras con atenuaciones hasta de 20 dB/Km.

La atenuación depende del tipo de fibra de que se trate. Actualmente, el avance tecnológico ha llegado al punto de producir fibras con pérdidas del orden de 0.15 dB/Km, a una longitud de onda de 1500 nm.

*El mecanismo de la transmisión de la luz a lo largo de una fibra óptica se basa en la reflexión total interna que ocurre cuando un haz de luz emerge de un medio denso a uno menos denso. Su principio de operación se explica físicamente a partir de la teoría electromagnética y en la óptica geométrica que describe el comportamiento del haz de luz dentro de la fibra.*

## II. INTRODUCCIÓN

La comunicación por medio de fibras ópticas a revolucionado hoy en día el concepto tradicional de las telecomunicaciones, por que a través de ellas es posible enviar señales luminosas en lugar de señales eléctricas (como se ilustra en la siguiente figura) con una alta capacidad de transmisión en el ancho de banda infrarrojo y muy bajas atenuaciones.



El desarrollo de esta nueva tecnología ha logrado tal impacto, que en la actualidad se construyen redes de telecomunicaciones y de vídeo utilizando cables de fibras ópticas; se desarrollan también, entre otros, diversos tipos de sensores con fibra óptica que tienen múltiples aplicaciones en la industria, la medicina y en el diseño experimental.

Conforme avanza el tiempo y la tecnología se desarrolla, en las telecomunicaciones la manufactura de cables también ha evolucionado; se inició con la fabricación de pares sencillos, después vinieron los cables multipares como son los TAP y los SCREB (de hasta 2400 pares), posteriormente se hicieron los cables multipares PCM, hasta llegar finalmente a los coaxiales.

Todos estos tipos de cables, aunque se siguen utilizando en las redes telefónicas, no son susceptibles de cambios significativos, además de que no representan técnicamente lo más avanzado, ya que muchos de estos cables se desarrollaron desde principios de siglo. Sin embargo, todos ellos guardan una característica en común, son conductores de señales eléctricas.

### Ventajas de las comunicaciones por medio de fibras ópticas

En comparación con los cables de cobre, los de fibra óptica ofrecen múltiples ventajas en los sistemas de comunicación. La fibra óptica puede transmitir grandes volúmenes de información a altas velocidades y permitir la conversación simultánea de un gran número de usuarios.

Tipo de cable	Capacidad de transmisión de información	Conversaciones simultáneas teóricas
Par sencillo	1 MHz-Km	300
Coaxial	100 MHz-Km	30,000
F.O.	100 GHz-Km(*)	30,000,000

(\*) Esto ha sustituido al antiguo concepto del ancho de banda, porque en la fibra óptica el ancho de banda es propiamente infinito y sólo se encuentra limitado por las capacidades del transmisor y el receptor.

Conforme se desarrolla la técnica de fabricación de fibra óptica se obtienen atenuaciones cada vez más bajas, actualmente del orden de 0.5 dB/Km, con fibras ópticas de sílica, y se espera que con la fibra óptica a base de fluoruros se logren atenuaciones aún menores; esto es una gran diferencia con los cables coaxiales, en los que la atenuación es del orden de 33 dB/Km.

Aún cuando el costo de instalación y servicio de la fibra óptica es muy caro, esto debido más que nada al equipo tan sofisticado para realizar los empalmes de fibra óptica y para hacer las mediciones, así como de las herramientas para preparar el cable, si consideramos el costo total del sistema de comunicación, resultará más económico usar fibra óptica que cualquier otro tipo de cable cuando se necesita

transmitir mucha información entre dos puntos y se requiere hacer enlaces de larga distancia.

Otra de las ventajas del uso de fibra óptica es que los repetidores se hacen menos frecuentes que en otros tipos de cables.

-En un par a la velocidad máxima de transmisión de 2 Mbits/seg se requieren repetidores cada 1.5 a 4 Km.

-Un coaxial a la velocidad de transmisión de 140 Mbits/seg requiere repetidores cada 4.65 Km.

-Una fibra óptica a la velocidad de transmisión de 2 Mbits/seg requiere repetidores cada 9 Km.

-Una fibra óptica a la velocidad de transmisión de 140 Mbits/seg requiere repetidores cada 25 Km.

Otras ventajas son:

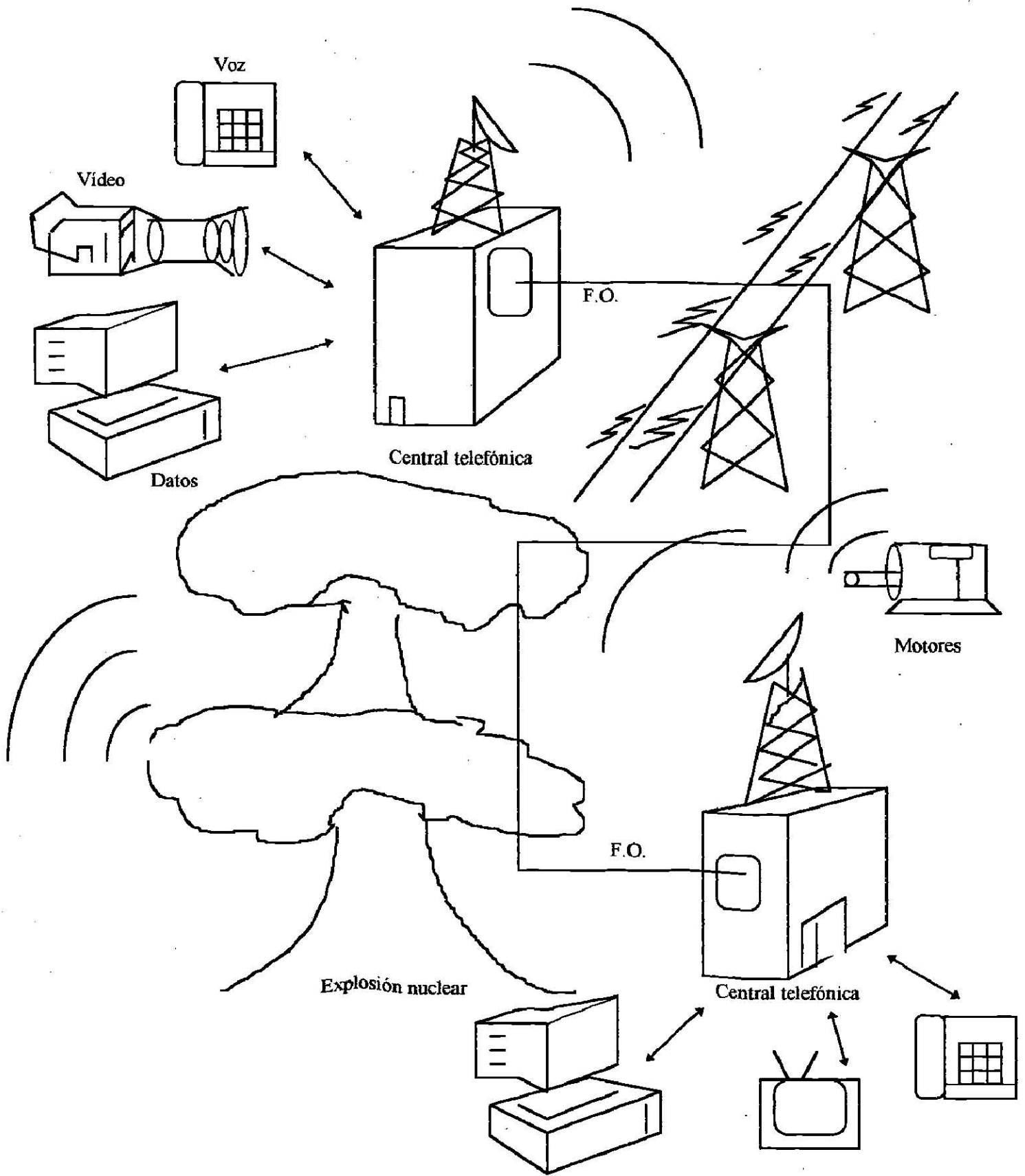
- El peso de un cable óptico es menor que el de cualquier otro cable.
- El mantenimiento es nulo, una vez terminado el enlace.
- Aún y cuando no es muy tomado en cuenta, el costo de la fibra óptica tenderá a equilibrarse con los costos de los demás cables, esto debido al precio del cobre en los mercados internacionales.
- El descongestionamiento de los espacios en las Centrales telefónicas, así como de los registros (pozos).

Las fibras ópticas no solo se aplican en las telecomunicaciones, su mercado mundial se encuentra dividido de la siguiente forma:

APLICACIÓN	PORCENTAJE
Telecomunicaciones	66 %
Militar	16 %
Computación y redes locales	11 %
Industria	05 %
Otros	02 %

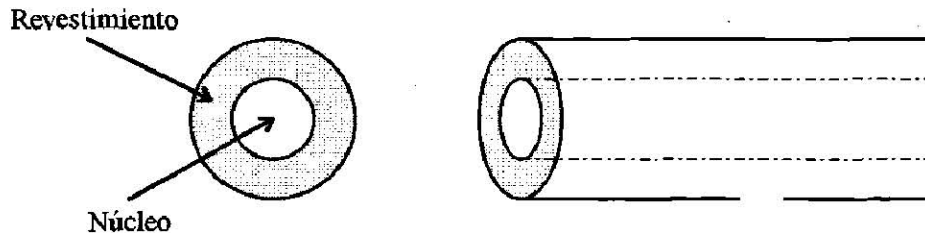
Las fibras ópticas son flexibles, de bajo peso y permiten la propagación a muy altas tensiones, sin la necesidad de transformadores que aislen la corriente; también son inmunes al ruido, no radian, son altamente resistentes a la intrusión e insensibles a interferencias de campos electromagnéticos causados por medios externos (ver figura). Por estas y muchas otras razones de peso, se espera un uso universal de las fibras ópticas en los sistemas de comunicación.





### III. ESTRUCTURA FÍSICA DE LAS FIBRAS ÓPTICAS

Las fibras ópticas son filamentos, generalmente de forma cilíndrica, que consisten en un núcleo y un revestimiento de vidrio. La siguiente figura muestra la forma más simple de la constitución de una fibra óptica.



- \* Núcleo (Core). Es la sección central de la fibra a través de la cual viaja el haz de luz.
- \* Revestimiento (Cladding). Es la capa que rodea al núcleo. Su función principal es reflejar la luz hacia el centro de la fibra, atrapándola dentro del núcleo.

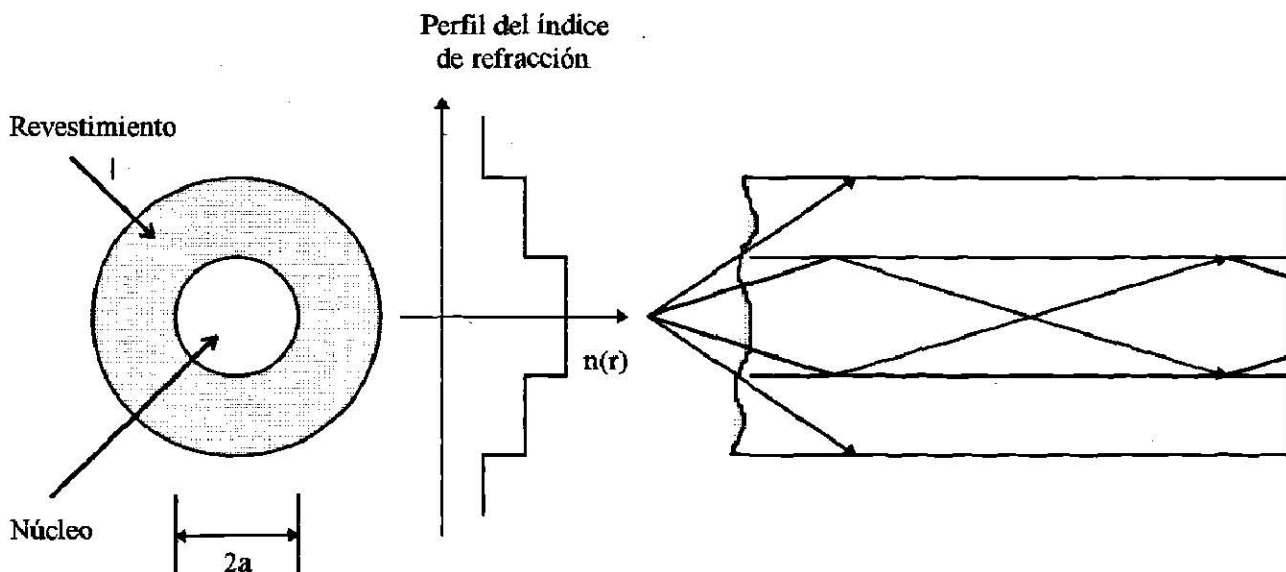
#### Tipos de fibras ópticas

Las fibras ópticas son del tipo monomodo y multimodo, dependiendo de la forma de propagación que presenten.

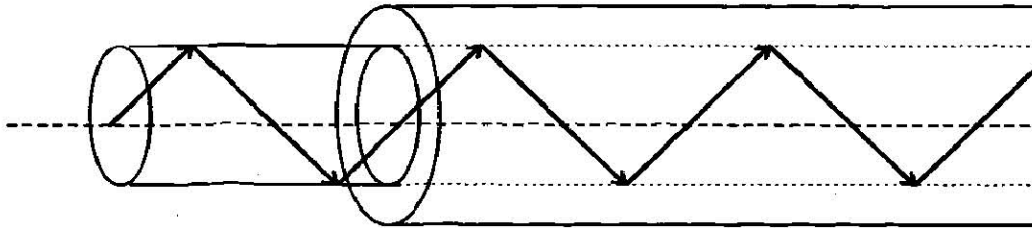
#### FIBRAS MULTIMODO

Las fibras multimodo pueden ser fibras de índice escalonado y fibras de índice gradual.

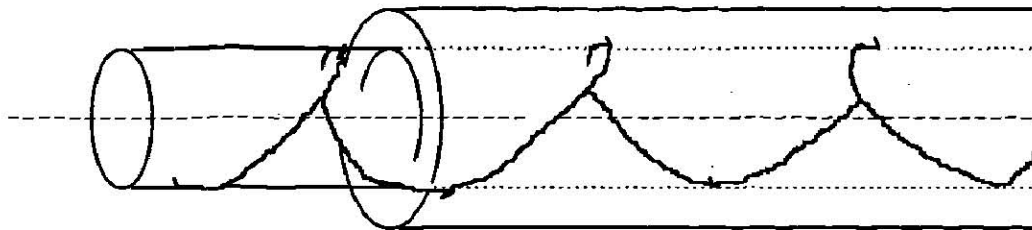
*Fibras de índice escalonado.* El núcleo de estas fibras está constituido de un índice de refracción constante, rodeado por un revestimiento. El índice de revestimiento siempre es menor que el del núcleo con el que hace frontera; en este caso sí ocurre dispersión modal, tal como se muestra en la figura, donde  $a$  es el radio del núcleo.



En la fibra de *índice escalonado* se presentan dos tipos de rayos, los Meridionales (Meridional Rays) y los rayos Oblicuos (Skew Rays). Los primeros entran a través del eje de la fibra, se reflejan internamente y se propagan en un plano (ver figura). Los segundos no entran a través del eje, ni son paralelos a él, sino que se reflejan internamente siguiendo una trayectoria helicoidal (ver figura).



\* Rayos Meridionales



\* Rayos Oblicuos

Los rayos meridionales inciden primeramente en el núcleo de la fibra y quedan contenidos en un plano perpendicular a su sección transversal. Luego que han entrado al núcleo, deben incidir en la frontera entre el núcleo y el revestimiento y reflejarse con un ángulo  $\theta_c$  (ángulo crítico) o ángulos mayores, para que la reflexión sea total y el rayo quede confinado dentro del núcleo de la fibra.

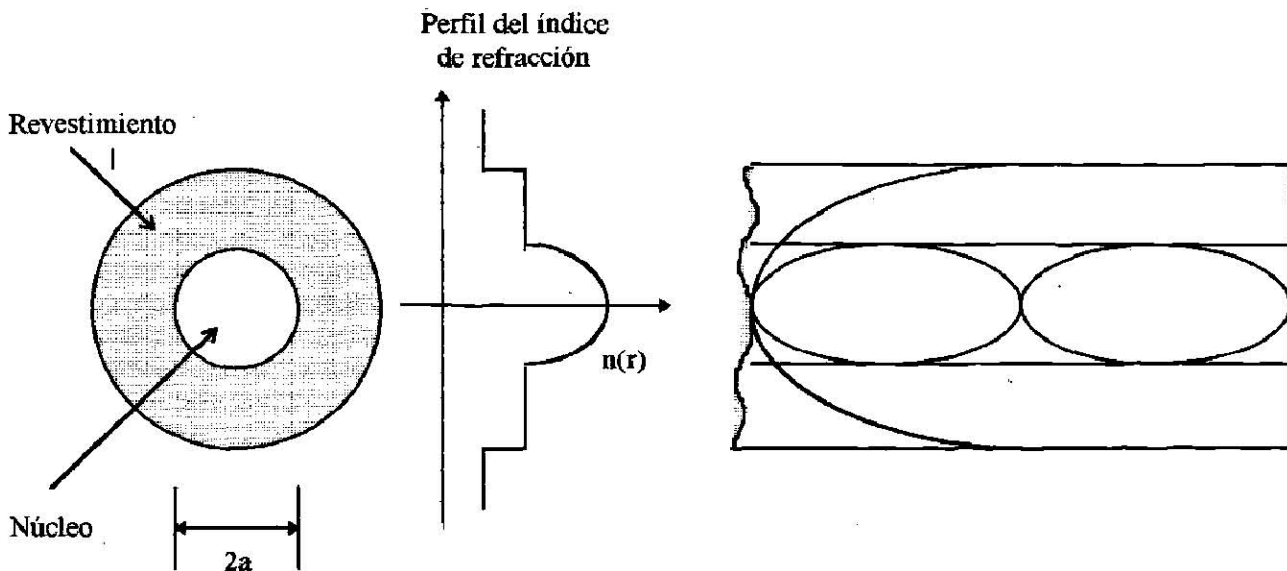
La diferencia de los índices de reflexión de las fibras utilizadas en comunicaciones oscila entre 0.007 y 0.02. El objetivo de procurar diferencias pequeñas entre los índices de reflexión es obtener ángulos críticos grandes que vayan casi paralelos al eje y evitar con ello pérdidas en la capacidad de información de la fibra, ya que de esta manera, el rayo que va por el eje de la fibra y los rayos meridionales sólo se desfasan ligeramente.

Los rayos oblicuos a diferencia de los rayos meridionales, estos rayos siguen una trayectoria de forma helicoidal poligonal dentro del núcleo de la fibra, reflejándose también internamente.

*Fibras de índice gradual.* En esta fibra, el índice de refracción del núcleo va decreciendo gradualmente en función del radio, hasta llegar al revestimiento. Debido a



que el índice de refracción del núcleo decrece, los rayos de luz se van flexionando gradualmente regresando al centro del núcleo como se observa en la figura, donde  $a$  es el radio del núcleo. Esto explica la razón por la que en este tipo de fibra la atenuación es menor, comparada con la fibra escalonada, donde el cambio en el índice de refracción es mucho más brusco.

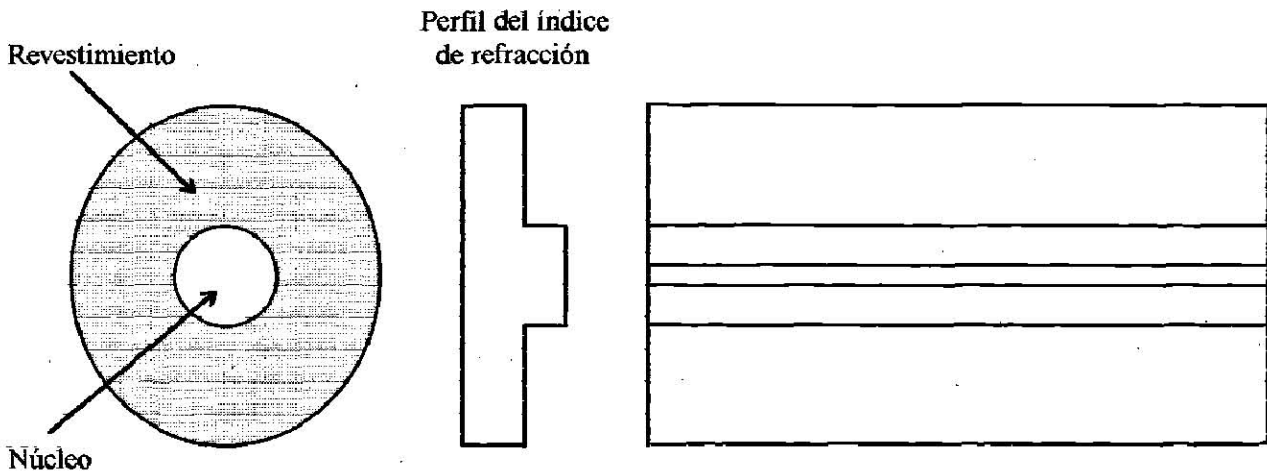


En las fibras de *índice escalonado* hay un pequeño retardo entre los rayos que inciden en la fibra paralelos al eje y aquellos que lo hacen con un cierto ángulo, debido a la diferencia de distancia recorrida. Para solucionar este problema se diseñaron fibras con un núcleo cuyo índice de refracción vaya decreciendo gradualmente desde el eje hasta la frontera con el revestimiento, provocando que las sucesivas refracciones hacia el eje del núcleo hagan que ambos rayos coincidan en tiempo. Es cierto que la trayectoria que recorren los rayos que inciden con diferentes ángulos es más larga, pero debido a que su velocidad es mayor en las regiones donde el índice de refracción es menor, compensa el recorrido haciendo que lleguen casi al mismo tiempo que los rayos axiales.

#### FIBRAS MONOMODO

En estas fibras el índice de refracción del núcleo es constante y tiene un sólo modo de propagación, pues permite que la luz viaje através de una sola trayectoria a lo largo del núcleo, evitando la dispersión modal.

Este tipo de fibras sólo puede ser de *índice gradual*, el cual tiene las mismas características que en el tipo multimodo. Las dimensiones del núcleo son mucho menores que el revestimiento.



#### IV. MODOS DE PROPAGACIÓN

El modo de propagación se refiere a los caminos ópticos que sigue la luz dentro de la fibra.

El modo de propagación de una fibra óptica se determina básicamente de acuerdo a la frecuencia con la que se transmite la onda electromagnética a través de la fibra. Otros factores que se deben considerar para establecer el modo propio de propagación son el diámetro del núcleo y la variación del índice de refracción. Sin embargo, el tipo de fibra que se trate también es otro factor indispensable.

Si la fibra es monomodo, sólo existe en ella un modo de propagación como se observó en la figura, en cambio, una fibra multimodo puede tener  $n$  modos de propagación diferentes como se observó también en su respectiva figura.

La propagación de ondas electromagnéticas a lo largo de un cilindro circular dieléctrico ideal de longitud infinita, en un medio dieléctrico homogéneo e infinito, es algo complicado.

Debido a las condiciones de frontera de no conductividad de una fibra óptica, todos los componentes de campo magnético y eléctrico existen dentro y fuera de la frontera. La estructura modo resultante puede ser extremadamente compleja, pues incluye los modos de propagación a lo largo de la guía, las pérdidas por radiación y los modos efímeros.

Una fibra óptica escalonada usualmente esta formada por un núcleo de fibra óptica dentro de un revestimiento de índice de refracción ligeramente diferente; bajo esta condición, todos los campos dentro de la guía pueden volverse débiles.

# COMUNICACIONES CON FIBRAS ÓPTICAS

## I. INTRODUCCIÓN

Un sistema de comunicación se encuentra siempre que surja la necesidad de transmitir información de un punto a otro, y durante los últimos años han aparecido muchas formas de sistemas para realizar esta tarea. Las principales motivaciones para generar tales sistemas y para su evaluación han sido mejorar la fidelidad en su transmisión, incrementar la velocidad de transferencia de información, e incrementar la distancia entre repetidores, entre otras.

En su forma más elemental, un sistema de comunicación consta de los siguientes elementos: un transmisor, un medio de comunicación y un receptor. el primero tiene como función el procesar el mensaje a ser transmitido, modificarlo y convertirlo en una señal eléctrica u óptica de tal modo que puede enviarse a través del medio de comunicación; el receptor se encarga de transmitir dicha señal, y modificarla para recuperar el mensaje original.



Figura 1. Elementos fundamentales de un sistema de comunicación

Es parte importante entonces, es un sistema de comunicación, el mensaje o la información a transmitir y las modificaciones que sufre para poder ser enviadas de un lugar a otro. En este capítulo estudiaremos los principios básicos de los sistemas de comunicaciones, sus elementos, y las formas en que se procesa la información para poder ser transmitida.

El descubrimiento del telégrafo por Samuel Morse en 1838 nos impulsó a una nueva época en comunicaciones, la era de comunicaciones eléctrica. El uso de cables metálicos para la transmisión de información se generalizó con la instalación de la primera red telefónica en Connecticut en 1878. El cable metálico era el único medio de comunicación eléctrica hasta el descubrimiento de la radiación electromagnética de longitud de ondas grandes efectuado por Hertz en 1887.

En los años siguientes una gran región de espectro electromagnético se utilizó para transmitir información de un lugar a otro. La razón para esto es que, en sistemas eléctricos, los datos son usualmente transferidos sobre el canal de comunicación mediante la super imposición de la señal de información en una onda electromagnética senoidal que es conocida como portadora. En el destino la información se extrae de la portada. Dado por la cantidad de información que puede ser transmitida ésta directamente relacionada a el rango de frecuencias sobre el cual la

portadora opera, incrementando la frecuencia de la portadora teóricamente incrementaría el ancho de banda disponible y, consecuentemente, tendría una mayor capacidad de información. Así la tendencia en sistemas de comunicación eléctrica era empleada progresivamente altas frecuencias, que ofrecieran incrementos correspondientes en anchos de banda y por lo tanto, incrementasen la capacidad de información. Esta actividad condujo al nacimiento de la televisión, radar, y enlaces de microondas.

Un gran interés a comunicaciones a frecuencias ópticas se creó en 1960 con el advenimiento del láser el cual era una fuente óptica coherente. Dado que las frecuencias ópticas son del orden de  $5 \times 10^{14}$  Hz, el láser tiene teóricamente una capacidad de información que excede al de los sistemas de microondas por un factor de  $10^5$ , que es aproximadamente igual a 10,000,000 de canales de televisión con impotencia de tales anchos de banda, se generaron una gran cantidad de experimentos usando canales ópticos atmosféricos en los años 60's. Estos experimentos mostraron la posibilidad de modular una portadora óptica coherente a frecuencias muy altas. Sin embargo los tremendos costos necesarios para desarrollar componentes, y las limitaciones impuestas en el canal atmosférico (lluvia, niebla, nieve, polvo) hace este sistema económicamente inatractivo.

Simultáneamente con el trabajo de canales ópticos atmosféricos se realizaron investigaciones en fibras ópticas. Inicialmente, las pérdidas de más de 1,000 dB x Km. en las mejores fibras hicieron parecer este un canal impráctico. en 1970 Corning Glass Works fabricó una fibra con 20 dB x Km. de atenuación y con esto nació una nueva era en las comunicaciones.

Las fibras ópticas tienen menores pérdidas de transmisión y mayores anchos de bandas que los cables de cobre. Además de ser ligeros y de bajas dimensiones. Una característica importante de las fibras ópticas es su naturaleza dialéctica. Esto provee guías ópticas inmunes a la interferencia electromagnética, tal como rayos y radiación de equipos.

## II. ENLACES CON FIBRAS ÓPTICAS

### Elementos de un enlace de transmisión con fibras ópticas

Las secciones esenciales son un transmisor consistente de una fuente luminosa y su circuitería asociada, un cable con fibras ópticas protegido mecánicamente del ambiente, y un receptor consistente de un fotodetector más amplificación y restauración de la señal.

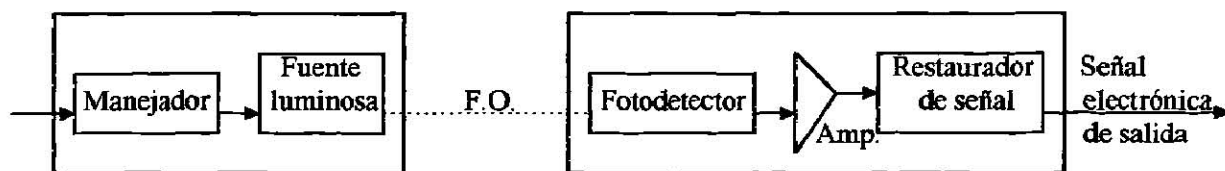


Figura 2. Elementos básicos de un enlace con fibra óptica

La instalación de cables de fibras puede ser aérea, en ductos, submarina, o enterrada directamente en la tierra. La longitud en las diferentes instalaciones varía de cientos de metros a varios kilómetros de distancia. Una de las principales características de la fibra es su atenuación como función de la longitud de onda. Inicialmente se hizo uso exclusivo de la banda de 800 a 900 nm, dado que en esta región las fibras hechas en ese tiempo exhibían un mínimo en la curva de atenuación, y se disponía de fuentes ópticas fotodetectores a estas longitudes de onda. Mediante la reducción de concentración de iones de hidróxido y de impurezas metálicas, los fabricantes obtuvieron fibras con muy bajas pérdidas en la región de 1,100 a 1,600 nm.

### Sistema de fibras ópticas

Las primeras aplicaciones de la tecnología de fibras ópticas se centró en enlaces digitales punto a punto. Esta primera generación de enlaces ha sido diseñada para velocidades de 2 a 50 mbits por seg. Los componentes electro ópticos usados en este sistema operan en la región de 810 a 890 nm, en donde la pérdida nominal es de 4 a 6 dB x Km después de instalación y empalme. Esto permite repetidores de cada 5 a 10 km. La segunda generación de sistemas opera a 1.3 micrómetros en donde las pérdidas son de alrededor de 1 dB x Km.

Además de aplicaciones en telecomunicación, se han instalado fibras ópticas en plantas de generación de energía eléctrica. Estos enlaces son usados para transmitir información de protección, supervisión, y control, que son extremadamente importantes en las grandes plantas de energía.

## III. TÉCNICAS DE TRANSMISIÓN

### Conceptos básicos

**Definición de modulación.** Pedimos definir la modulación como la modificación análoga de algunas características de una señal continua llamada portadora. En general una portadora es una onda electromagnética de una sola frecuencia que sirve como medio de propagación. Es modificar de manera que pueda ser detectada con exactitud en la terminal receptora por una señal que contiene la información que deseamos transmitir. Esta señal suele ser una señal de "banda de base" que analizaremos en seguida.

Las características de la portadora modificables por la señal moduladora son su amplitud, frecuencia, fase o una combinación de ellas. La complejidad de la señal modulada resultante depende 1.- del tipo de modulación que se emplee (la o las características que se varían) y 2.- del número de condiciones o estados discretos que la señal debe representar.

### Señales de la banda de base

a) Señales análogas: Estas son señales que varían de forma continua. Como se muestra en la figura 3.



b) Señales digitales: En la figura 4 (a y b), la serie de bits (10110) representa el valor de una parte de la señal propagada. La línea de trazos indica el nivel de decisión y ha sido dibujada aproximadamente en la mitad de la amplitud de la señal. El valor binario de la señal en cualquier instante lo determina su presencia sobre o bajo el nivel de decisión (llamado a veces nivel de corte).



Figura 3. Señal análoga

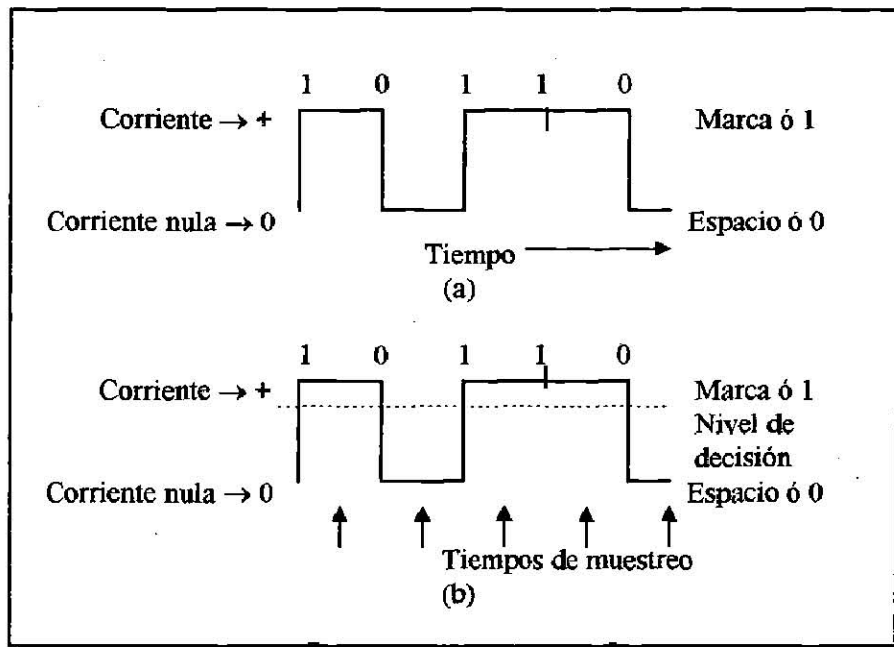


Figura 4. Señal digital

# INSTALACIÓN DEL CABLE ÓPTICO

## I. INTRODUCCIÓN

El cable de fibra óptica por su característica de tamaño y peso, permite que sea colocado en grandes longitudes de hasta 5000 mts. 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 cinco tipos de instalación de cable óptico:

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

## II. TIPOS DE INSTALACIÓN

### Instalación en ductos subterráneos

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 de ductos ya instalada para cables de cobre, también a que pueden manejarse ambos tipos de cables 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 ente 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 el carrete del cable, el número de fibras, la longitud del cable, etc. correspondan 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 (pozos). El conjunto de subductos es instalado en el interior del ducto telefónico en una sola operación, para lo cual hay que preparar los subductos.

#### **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, cuevas, cables de energía enterrados, tuberías de gas y agua y de otros cables telefónicos enterrados y complementar con 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 adecuados.

Se debe dejar una cantidad de cable suficiente para hacer una espira en las cajas de empalme. Los puntos de empalme deberán 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 realicen con bastante rapidez, si se usa una máquina excavadora que en general éste es el método más 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 exceda en los radios mínimos de curvatura.

En los lugares donde el avance de la máquina excavadora sea impedido por algún obstáculo o donde existan cambios repentinos de nivel significantes, el cable, deberá desenterrarse y enviarse para comprobar que no ha sufrido daño.

Durante la operación de enterrado del cable, se vigilará 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 lubricando constantemente el eje de la bobina para que gire libremente.

Cualquier cambio en la velocidad del excavador, puede causar un cambio en la velocidad del suministro del cable y provocando una sobretensión 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 no presente físicamente 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 debe de levantarse ya que de lo contrario el cable se dañará 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 la zanja no debe ser superior a los 10 cm. para obtener una máxima de velocidad y eficiencia.

Debe cuidarse también que el cable al 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 recubrir el cable también con varios centímetros de tierra cernida o arena antes de rellenar nuevamente la zanja. Sin embargo, cuando se usan máquinas 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 de la zanja, ya que éste 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 más 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 mts. En los campos agrícolas, la profundidad debe ser mayor, para permitir que los trabajos de labranza se realicen sin afectar al cable.

después de que se ha instalado una sección del cable, ésta debe probarse con el fin de verificar que no hay daños en el cable.

### Instalación aérea

Existen dos tipos de cables para ser usados en instalaciones aéreas.

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

Los cables ópticos autosoportados 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 solo 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 mts. Antes de hacer la instalación, se deben calcular los esfuerzos mecánicos a que estará sometido el cable y verificar que éstos no excedan a los valores máximos que especifica el fabricante, si las condiciones del 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 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 requieren 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 instalarse por adelantado, siguiendo los métodos convencionales o bien puede usarse alguno ya existente que esté realizando alguna otra función. (cables de guarda, 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 enroscará al rededor del cable óptico y de la guía.

El cable óptico se surte desde un carrete que está montado sobre un camión. Cuando se recorra 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 operación.

El método de utilizar bandas o grapas es recomendable solo en distancias cortas por ser un método lento.

### Instalación submarina

La instalación de éste tipo de cables 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 poliuretanos.

Los cables ópticos en las centrales telefónicas normalmente se instalan sobre charolas de cable 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 deberán de proteger al menos con una cubierta metálica en forma de U. Para no exceder la máxima carga de tensión del cable, cuando éste corre en forma vertical, se deberá sujetar cada metro. esa sujeción se deberá de hacer con cintillas de material suave con el propósito de no dañar el cable.



# EMPALMES DE FIBRA ÓPTICA

## I. UNIONES DE FIBRAS ÓPTICAS

La interconexión y acoplamiento de fibras ópticas son diferentes dispositivos, tales como fuentes de luz y detectores, requieren de especial cuidado, ya que en una instalación se desea reducir al mínimo las pérdidas causadas por uniones de fibras ópticas necesarias en el sistema.

Las uniones de fibras pueden ser fijas o temporales, en las primeras la unión se lleva por un empalme permanente, y en las segundas se utilizan conectores que pueden ser removibles. El tipo de unión que se elija dependerá de la necesidades de la instalación, por ejemplo, si se requiere una unión permanente de tramos largos de fibra óptica con muy bajas atenuaciones, se hace un empalme permanente, por otra parte, cuando se necesita instalar o retirar una fibra fácil y rápidamente, se emplean los conectores. El incremento en las pérdidas de un enlace es el factor más importante que introduce cualquier unión de fibras ópticas, por lo cual, deben considerarse sus causas y la magnitud de sus efectos.

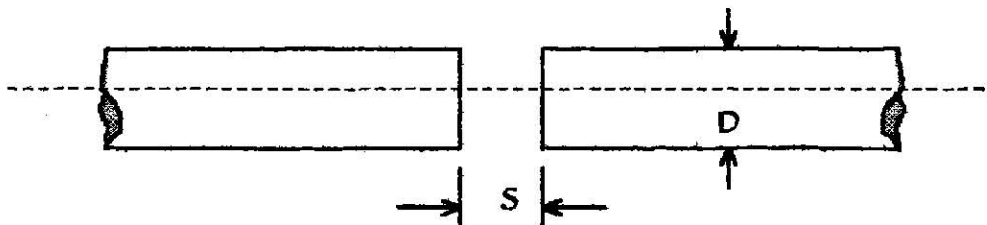
## II. PÉRDIDAS EXTRÍNSECAS E INTRÍNSECAS

Por las causas que las provocan, las pérdidas pueden dividirse en: extrínsecas e intrínsecas.

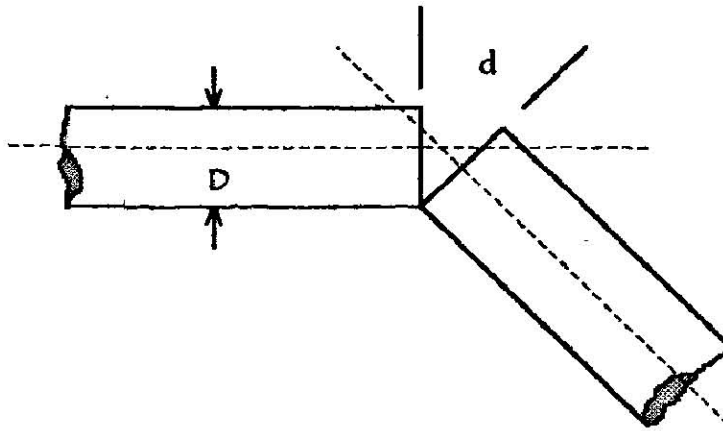
Las primeras son causadas por desalineamiento mecánico de la unión de las fibras. Este desalineamiento causa pérdidas de radiación ya que el cono de radiación de la fibra emisora no compagina con el cono de aceptación de la fibra receptora.

Existen tres tipos principales de desalineamiento:

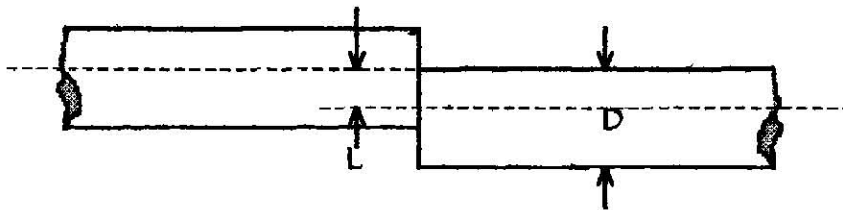
1. Separación longitudinal, la cual ocurre cuando las fibras a unirse están a un mismo eje, pero tienen un mismo espacio entre las caras y sus extremos. Ver figura.



2. Desalineamiento o falla angular, la cual sucede cuando los ejes de las fibras forman un ángulo y las caras de los extremos de las fibras dejan de estar paralelas. Ver la siguiente figura.



3. Desplazamiento o falla axial en donde los ejes de las fibras no están colineales sino que están separadas paralelamente por una distancia determinada, como se puede observar en la figura a continuación.



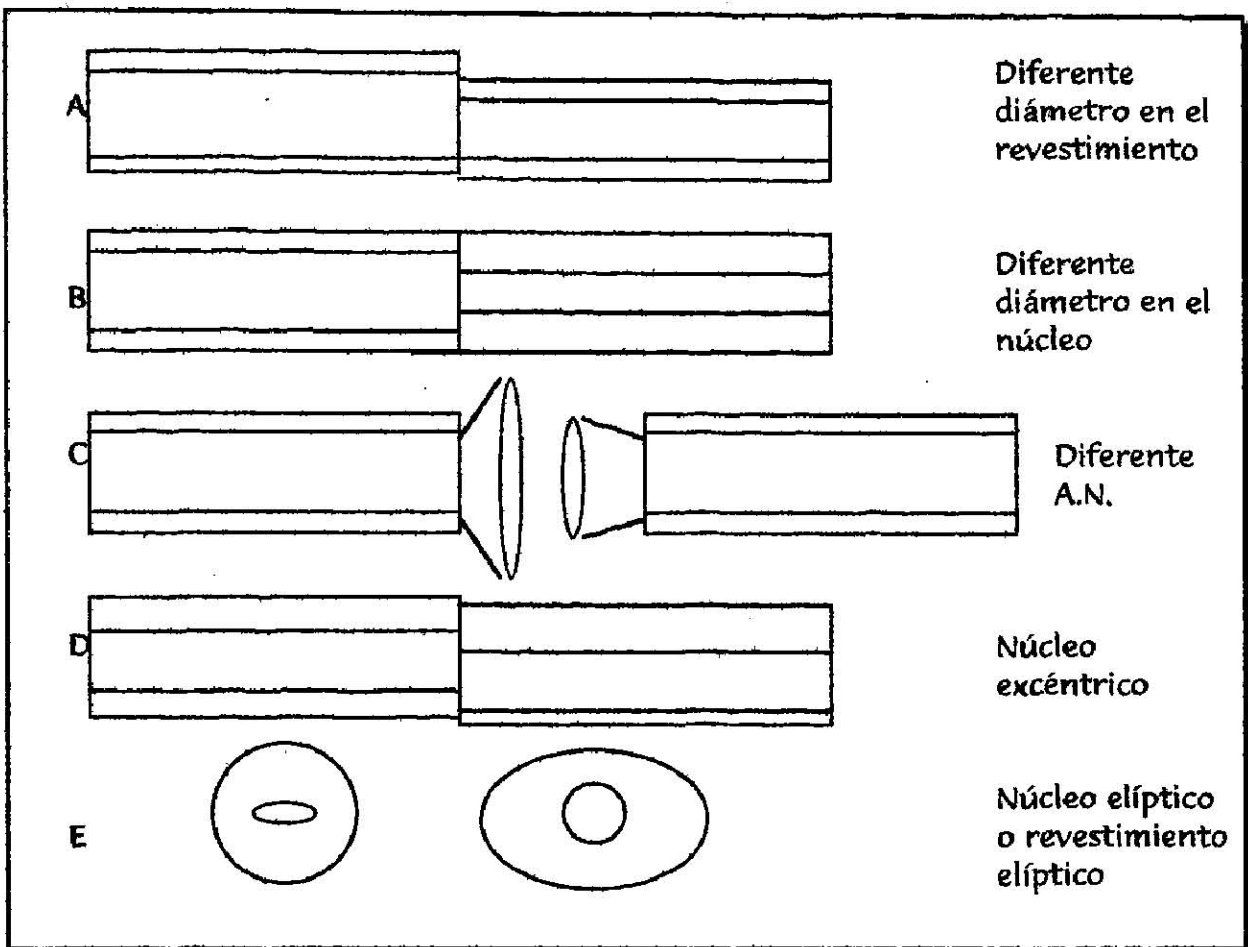
Esta última falla es la más usual y a su vez, la que genera más pérdidas, ya que al reducir el área de traslape entre los núcleos de las fibras, se disminuye la potencia óptica que pasa de la fibra transmisora a la receptora.

Las pérdidas que se generan por desplazamientos mecánicos en la unión de fibras, están en función del método o los instrumentos utilizados para unir las fibras. También deben considerarse como causa de pérdidas, las imperfecciones superficiales en las caras de los extremos de las fibras a unir, ya sea en empalmes o conectores. Para ello es importante preparar adecuadamente estas caras para evitar deflexiones o reflexiones en la unión de las fibras.

Por otra parte, las pérdidas intrínsecas son ocasionadas por variaciones en la geometría de la fibra y sus características de diseño, éstas pérdidas también tienen un efecto importante en las pérdidas totales del sistema.

Los parámetros de variación en la geometría son:

1. Diámetro del núcleo.
2. Elipticidad del núcleo.
3. Apertura numérica.
4. Perfil del índice de refracción.
5. Concentricidad del núcleo y el revestimiento, como se muestra en la siguiente figura.



De éstos parámetros, los que generan mayores pérdidas son las variaciones del diámetro del núcleo, sobre todo cuando la fibra transmisora tiene un núcleo de mayor tamaño que la fibra receptora, y la variación de apertura numérica, ya que si la fibra transmisora tiene una apertura numérica mayor que la receptora, toda la potencia óptica que se salga del cono de aceptación de la fibra receptora estará perdida. Éste tipo de pérdidas son causadas por la fibra durante su proceso de fabricación, y la forma de disminuirla es mediante la utilización de fibras ópticas de alta calidad, que cumplan con rigurosas especificaciones y aseguren pérdidas intrínsecas despreciables al unirlos entre sí.

### III. EMPALMES

Las dos técnicas básicas para realizar empalmes son mecánicas y por fusión.

#### Empalmes mecánicos

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

### Método de varillas

Éste es uno de los primeros métodos utilizados de empalmes mecánicos.

Por lo general se utilizan 3 varillas de acero o vidrio (o pins) acomodadas juntas de tal manera que en el orificio central (espacio entre las varillas) queden alineadas las fibras a unir.

Se puede agregar una sustancia epóxica para adherir las fibras y además actuar como acoplador óptico.

Las varillas son de un diámetro mucho mayor que el de la fibra y deben tener dimensiones muy precisas con tolerancias menores a  $0.04 \mu\text{m}$ .

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

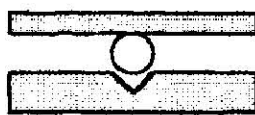
### Método de ranura en V

El método más utilizado de empalme mecánico es el de Ranura en V (V-Groove), en el que las fibras ya cortadas y preparadas se colocan en ambos extremos de una ranura acanalada en forma de V, que alinea las fibras para su unión, y se agrega un adhesivo con un índice de refracción igual al del núcleo de la fibra.

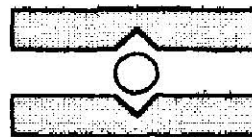
La unión se logra mediante una tapa que sujeta las fibras, manteniéndolas en contacto. El material acanalado puede ser silicon, plástico, material cerámico, acero o aluminio.

Las fibras se unen a la mitad del canal y se ponen en contacto con la ayuda de bloques móviles supervisando la unión ya sea a simple vista o con una lupa.

Existen distintos tipos de empalmes con el método de ranura en V. El más sencillo utiliza una tapa plana como la mostrada en la figura (a). También puede utilizarse otra tapa con otra ranura en V, como se ve en la figura (b) e inclusive existe un diseño con 3 secciones ranuradas, éstas ofrecen una alineación de la fibra en forma más precisa con la desventaja que requieren más piezas de precisión, lo cual eleva su costo.



(a)



(b)

En este método se tiene la limitación de unir sólo fibras con diámetros de revestimiento iguales y con una alta concentricidad.

Las ventajas del método son, su facilidad y rapidez de elaboración. La pérdida por empalme es de hasta 1dB.

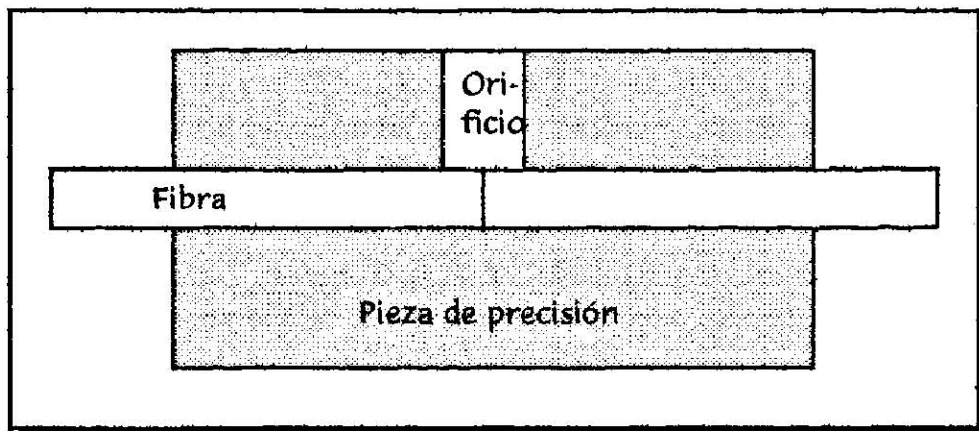
### Métodos elastomérico

Otro método de empalme mecánico es el elastomérico, que consiste en dos tubos de material elástico con un pequeño orificio en el centro y de diámetro ligeramente menor que el del revestimiento de la fibra. Cuando se efectúa la inserción, el diámetro de orificio se expande de tal forma, que el material elástico ejerce una fuerza simétrica sobre la fibra. Esta fuerza hace que los ejes de las fibras a unir queden automáticamente alineadas sin importar si son de diferente diámetro. Además, con ello se eliminan las fallas angulares y radiales reduciendo las pérdidas en el empalme.

### Otros métodos

Existen distintos elementos mecánicos que actúan para alinear las fibras a unir. El más sencillo es el empalme por tubo en donde se tiene una pieza de vidrio u otro material, con un orificio en forma de tubo y con un diámetro ligeramente mayor al de la fibra a unir, incluyendo un orificio lateral para el adhesivo.

Se tiene el inconveniente de que es difícil introducir la fibra en un orificio tan pequeño y además la pieza debe tener una precisión en su construcción para evitar un desalineamiento en la unión. Ver figura.



Una variación de este método es el empalme "crimpeado". En éste método el tubo tiene un diámetro mayor y es menos elaborada su construcción. Se tiene una herramienta especializada que comprime en forma precisa el tubo para que queden alineadas las fibras.

Otra variación al método del tubo es que utiliza un tubo con dobleces de 15° en sus extremos. La construcción puede hacerse con 4 pequeñas varillas de vidrio. Los dobleces obligan a la fibra a apoyarse en la ranura que forman dos de las varillas quedando así alineadas.

También existen empalmes mecánicos que se basan en esferas macizas de fina construcción, entre los cuales se alinean las fibras a unir.

Por otra parte, se han desarrollado empalmes multifibra para satisfacer la aparición de cables multifibra en forma de listón. En un principio se basan en los empalmes de ranura en V.

En la mayoría de los empalmes que utilizan adhesivo debe "curarse" este con luz ultravioleta en ambientes limpios.

### Empalmes por fusión.

Este es el método más usado y consiste en aplicar calor en una zona específica entre las fibras a unir, suavizándolas y fusionándolas. Las fibras pueden prepararse precisamente en sus extremos quitándoles las cubiertas secundaria y primaria, cortando las caras de los extremos para que estén planas y perpendiculares al eje y limpiando la fibra de grasa y polvo. A continuación la fibra se monta en una base ranurada o en sujetadores controlados por microposicionadores accionados por motores o manualmente, con la libertad de poder moverse en las tres direcciones para obtener un alineamiento óptimo, supervisado mediante un microscopio.

Cuando los extremos de las fibras presentan imperfecciones, pueden generarse burbujas de aire y deformaciones del núcleo durante la elaboración del empalme. Para evitarlo, se hace una prefusión, la cual consiste en aplicar calor en un lapso muy pequeño, mucho menor que en la fusión, con lo que se redondean los extremos suavizando su superficie, evitando con esto las imperfecciones.

Para aplicar calor a la unión se utiliza principalmente un arco eléctrico, aunque también se tiene fusión. Para evitar movimientos indeseables de la fibra, ésta es sujeta por un sistema de bloques móviles o por sujetadores mecánicos.

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

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

Una vez hecho el empalme por fusión se deben proteger con una fibra que sustituya las cubiertas primaria y secundaria de la fibra y además almacenarse de tal forma que no reciba esfuerzos de tensión, ya que la combinación de daños superficiales por manejo de la fibra, crecimiento de grietas por calentamiento y esfuerzos residuales por cambios en la composición química disminuyen considerablemente resistencia mecánica del punto de unión de las fibras.



# REDES LOCALES

## CONCEPTO DE RED

En general, una red se considera como una serie de dispositivos conectados dentro de un ambiente común con el fin de compartir recursos (entre ellos la información).

## TIPOS DE REDES

Desde el punto de vista de redes de información se reconocen básicamente tres tipos de redes:

- Redes de Área Local (Local Area Network), las cuales son un modo de conectar sistemas múltiples en una área geográfica limitada. Podemos considerar como redes de área local las utilizadas en universidades, edificios y en general a aquellas que se encuentren en un mismo campus.
- Redes de Área Metropolitana (Metropolitan Area Network), este tipo de redes comprenden una extensión geográfica más amplia y se utilizan para comunicar edificios, campus y elementos dentro de una ciudad.
- Redes de Área Extendida (Wide Area Network), las cuales se manejan a nivel mundial conectando distintos puntos geográficos con los continentes o países que la integran.

## I. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de las redes locales ha venido a responder principalmente a las demandas de los usuarios por una mayor capacidad y mayor velocidad de transmisión en el intercambio de información entre computadoras independientes. Aún cuando los medios públicos de comunicación son adecuados para la comunicación entre terminales y otros equipos, el intercambio de información entre computadoras independientes requiere no las velocidades de dichos medios, sino velocidades de canal.

Las redes locales también han venido a solucionar los requerimientos por un mejor tiempo de respuesta de los sistemas. Además, debido a que los costos por hardware de las computadoras personales han decrecido drásticamente en los últimos años, los usuarios han empezado a añadir computadoras a sus centros de cómputo para proveer redundancia y un mayor capacidad de procesamiento, o a formar su sistema de procesamiento de datos a partir de una red de computadoras.

Si bien es cierto que los costos de las computadoras personales están disminuyendo, el precio de ciertos dispositivos periféricos de alto rendimiento tales como impresoras de calidad y discos de alta capacidad permanece relativamente alto. Este hecho aunado a que el costo y complejidad de mantener una base de datos sigue un aumento, traen consigo la necesidad de compartir tales recursos en una red local de tal modo que todos los usuarios de la red tengan acceso a ellos.

En su forma más elemental las redes locales han existido desde hace mucho tiempo, como una conexión punto a punto entre dos procesadores; sin embargo actualmente se define como un sistema de comunicación de datos que permite a un número de procesadores independientes y heterogéneos comunicarse entre sí.

Una red local se distingue de otro tipo de redes en que la comunicación está confinada en una área geográfica de tamaño moderado (<10 km), tal como un edificio o un campus, y es usada por una sola organización, en contraste con las redes de cobertura amplia las cuales interconectan facilidades en diferentes partes del país o son usadas como una red pública de datos.

Por medio de estas redes locales es posible enlazar oficinas, equipos de producción, laboratorios, etc., permitiendo a cualquier usuario crear, almacenar, transmitir y recibir información, además de usar los recursos (impresoras, discos, graficadores) del sistema de una manera más eficiente.

## II. ELEMENTOS DE UNA RED

Los elementos más sobresalientes de una red local son:

- Técnicas de transmisión
- Topología de la red
- Métodos de acceso
- Medios de comunicación

### Técnicas de transmisión

Los datos pueden transmitirse tanto en *banda base (baseband)* como en *banda ancha (broadband)*.

En *banda base* los datos se introducen a la red tal como se generan, esto es, como un tren de bits discretos; en esta modalidad es posible tener únicamente un canal de transmisión de datos.

Las redes locales en banda base son menos complejas que las de banda ancha y representan las redes más populares actualmente; utilizan elementos cableados y cable coaxial como medios de transmisión. Se utilizan esquemas de división de tiempo y topologías de bus o anillo para dividir un solo canal y acomodar múltiples usuarios. Típicamente las redes banda base operan a 5 ó 10 Mbps y soportan hasta 100 dispositivos.

Debido a su relativo bajo costo, en comparación con las redes en banda ancha, su velocidad de transmisión y su flexibilidad en la implementación, las redes en banda base son mejores para la interconexión de terminales interactivas, estaciones de trabajo inteligentes y estaciones de trabajo ejecutivas.

Las principales ventajas son:

- Generalmente menos caras que las redes en banda ancha.
- Utilizan técnicas de múltiples accesos.
- Pueden utilizar elementos cableados o cable coaxial.

Las principales desventajas son:

- Capacidad de transmisión limitada (generalmente limitadas a computadoras, no vídeo).
- Crecimiento en número de nodos limitado.
- Distancias limitadas en el cableado (1500 pies).

En la técnica de *banda ancha*, los datos se introducen a la red después de que han modulado una señal portadora de radio frecuencia; es similar a los sistemas de transmisión por cable. Las redes locales en banda ancha representan el mayor ancho de banda de las tecnologías de comunicaciones locales. Generalmente son más costosas de implementar y mantener, requieren tiempo para asegurar su adecuada operación. Sin embargo, actualmente sólo este tipo de redes pueden soportar transmisión de vídeo en tiempo real, así como múltiples canales T1.

Las redes locales de banda ancha (basadas en los sistemas de transmisión por cable) son las más apropiadas para aquellas aplicaciones que requieren un mayor ancho de banda y un mayor volumen de datos.

Las principales ventajas son:

- Velocidad de transferencia de datos de 56Kbps o mayores.
- Canal con mayor ancho de banda.
- Capacidad de tráfico de hasta 400 Mbps.

Las principales desventajas son:

- El tipo más costoso de red local
- Un poco más difícil de diseñar
- Difícil para añadir estaciones

Comparando ambas técnicas de transmisión, en resumen se podría decir que banda ancha consiste esencialmente en un medio de múltiples canales basados en radio frecuencia; banda base es un medio de un sólo canal usando transmisión digital. El medio banda base es capaz de manejar hasta 30 Mbps, mientras que banda ancha es capaz de manejar 10 veces más.

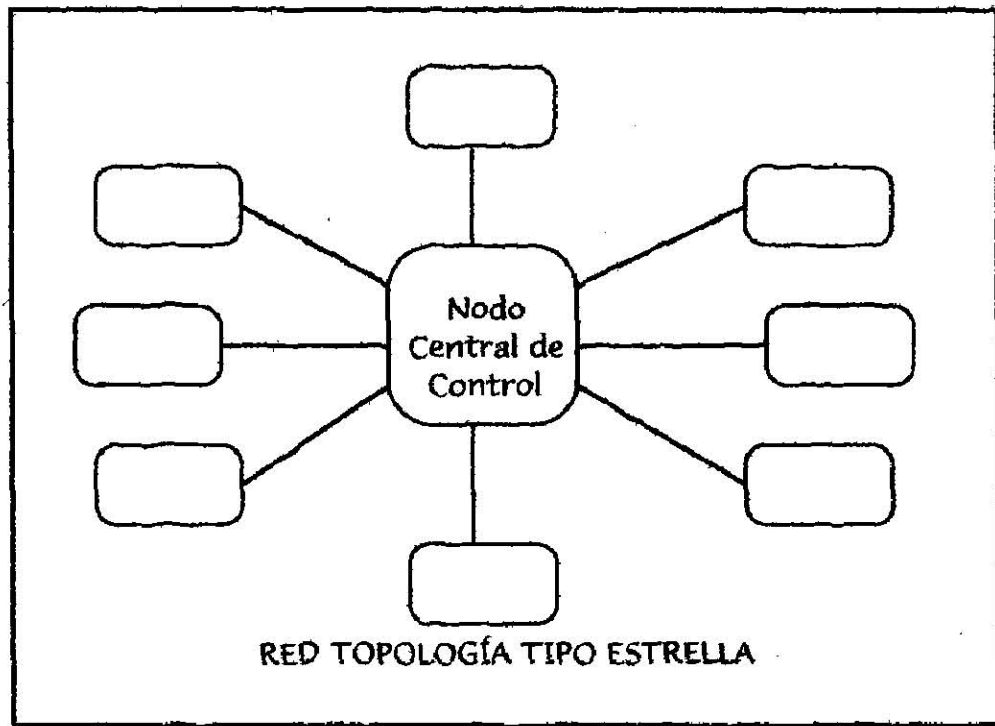
La evolución de estas dos técnicas de transmisión ha sido considerable, mientras banda ancha fue desarrollada para cubrir las necesidades de la industria de la televisión por cable y más tarde fue adaptada para la transmisión de datos; banda base fue desarrollada para transportar señales digitales en distancias cortas.

## Topología de la red

La topología de la red es la manera en la cual las computadoras o nodos que la forman, se conectan físicamente entre sí. Las topologías más empleadas son:

- Topología tipo estrella
- Topología tipo anillo
- Topología tipo bus
- Topología tipo árbol

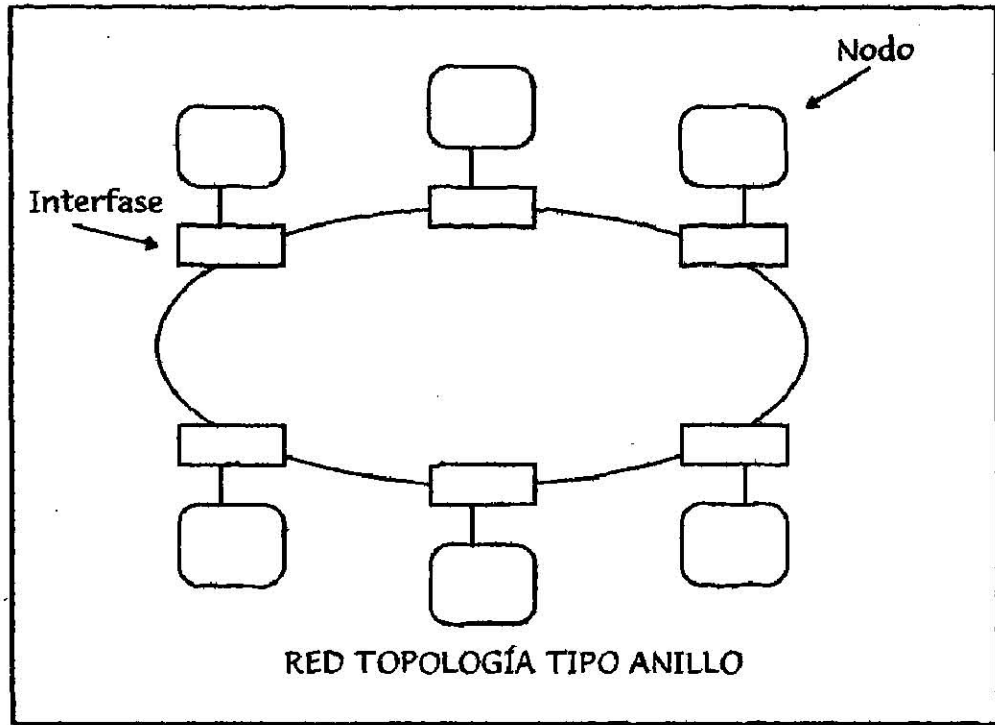
### a). Topología tipo estrella



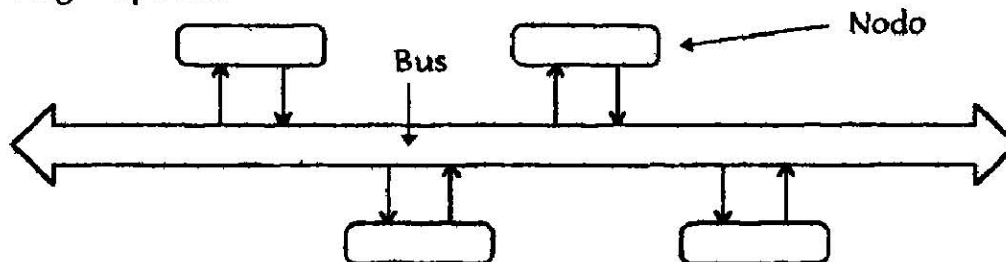
La topología tipo estrella es simplemente una conexión punto a punto de todos los nodos en la red hacia un nodo o procesador central; este nodo central es generalmente una computadora dedicada o un procesador especial trabajando en conjunto con una unidad de almacenamiento masivo (disco duro) y actúa como controlador del sistema, canalizando los datos que llegan al destinatario tal como lo haría la operadora de un conmutador telefónico.

Una red de estrella es relativamente fácil de implementar debido a que los nodos se conectan directamente al procesador, el cual puede utilizar un simple algoritmo de poleo, consistente en su forma más elemental de un proceso en el que el controlador pregunta de manera ordenada a cada nodo si tiene algo que transmitir; si es así, se efectúa la comunicación, de otra manera pasa al siguiente nodo.

La principal ventaja de este tipo de red es su facilidad de conexión.

b). Topología tipo *anillo*

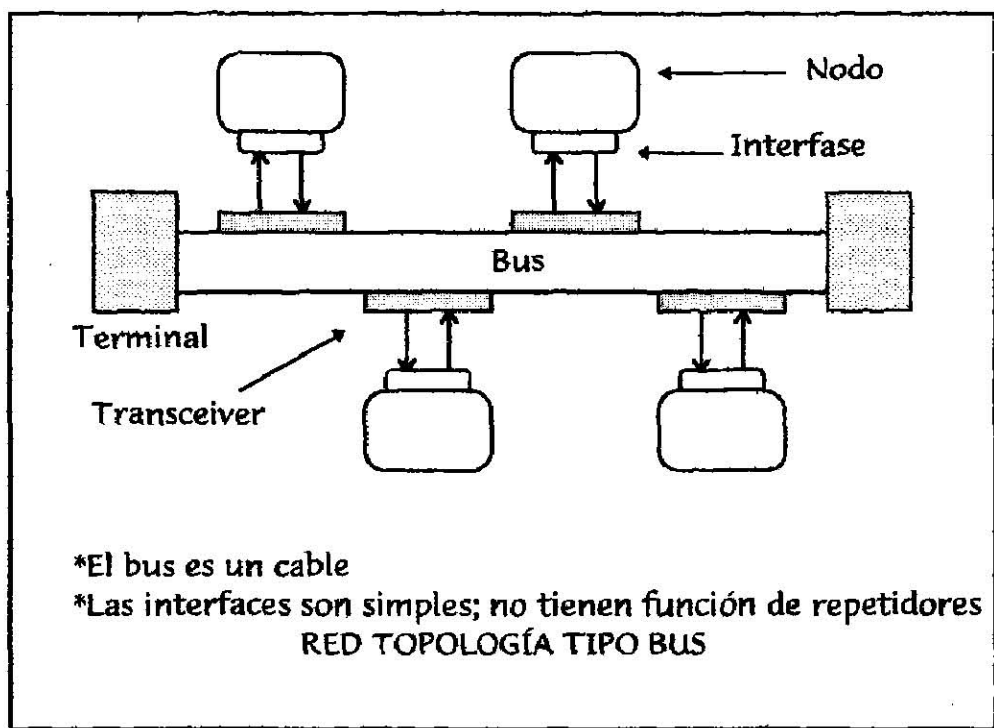
Como se puede apreciar en la figura, en esta topología las computadoras que integran la red están conectadas punto a punto formando un anillo. Las interfaces, denominadas también repetidores, conectan los nodos al canal de comunicación. Las funciones principales de estos repetidores son recibir, regenerar y retransmitir las señales. Se emplea banda base como técnica de transmisión y las señales de datos viajan en una sola dirección; aunque también se puede diseñar un anillo doble para poder transmitir en forma bidireccional, pero es más complicado y por lo mismo no es muy utilizado.

c). Topología tipo *bus*

En esta topología, todos los equipos se conectan directamente a un cable troncal, esto es, tienen un medio común de comunicación. El enlace que conecta a un nodo de la red con el cable troncal se denomina derivación.

A diferencia de las redes tipo anillo, en las redes tipo bus, el medio de transmisión es pasivo ya que las interfaces sólo proveen el acceso del nodo hacia la red y no existe la regeneración y retransmisión de las señales.

La transmisión es abierta (broadcast) en forma inherente, ya que el medio de transmisión es común a todos los nodos en la red. Los datos enviados por una estación son recibidos por todas las demás en forma simultánea, sin embargo, el mensaje enviado sólo es atendido por aquella estación que reconoce en dicho mensaje su dirección y las demás estaciones lo ignoran. En la siguiente figura puede apreciarse el esquema general de una red tipo bus, así como de los elementos principales que la integran.



La técnica de transmisión usada puede ser banda base o banda ancha y en ambas se implementa la transmisión bidireccional a lo largo del bus. El transeiver o transreceptor provee la conexión al medio de comunicación.

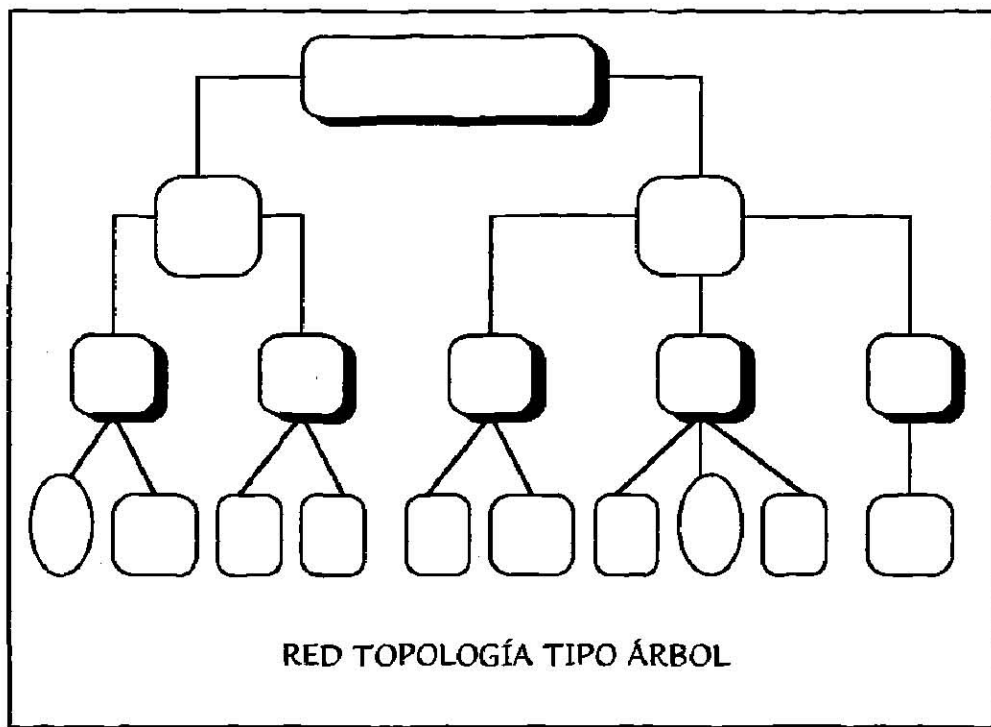
El repetidor es empleado para extender la longitud del bus, y debe ser capaz de identificar el estado en que se encuentran los tramos del bus que está uniendo y además transmitir las señales en ambas direcciones.

Por otro lado es posible utilizar la técnica de transmisión de banda ancha, y para ello se utiliza la modulación en frecuencia o en fase. La transmisión, aunque es unidireccional, puede implementarse en forma bidireccional; si se utilizan dos canales de datos, uno para transmitir y otro para recibir. La manera más sencilla de implementar este tipo de bus es mediante un dispositivo que a través del mismo cable reciba datos modulados en una frecuencia y los transmita de regreso modulados en una frecuencia diferente. Dicho dispositivo no es más que un convertidor de frecuencia, y su función es trasladar a una frecuencia superior las señales que recibe.



Una ventaja que se tiene al usar esta topología es que está ampliamente difundida y es empleada por muchas redes comerciales; esto da como resultado un buen soporte técnico y conocimiento de esta topología.

#### d). Topología tipo árbol



La topología de árbol es una extensión de la topología de bus o una combinación de las tres topologías anteriores, donde un mensaje es recibido por todas las terminales que actúan como controladoras y éstas a su vez, reenrután al mensaje a la terminal dirigida.

Las redes locales se pueden clasificar también en dispositivos de acuerdo a la forma de conexión al medio de transmisión:

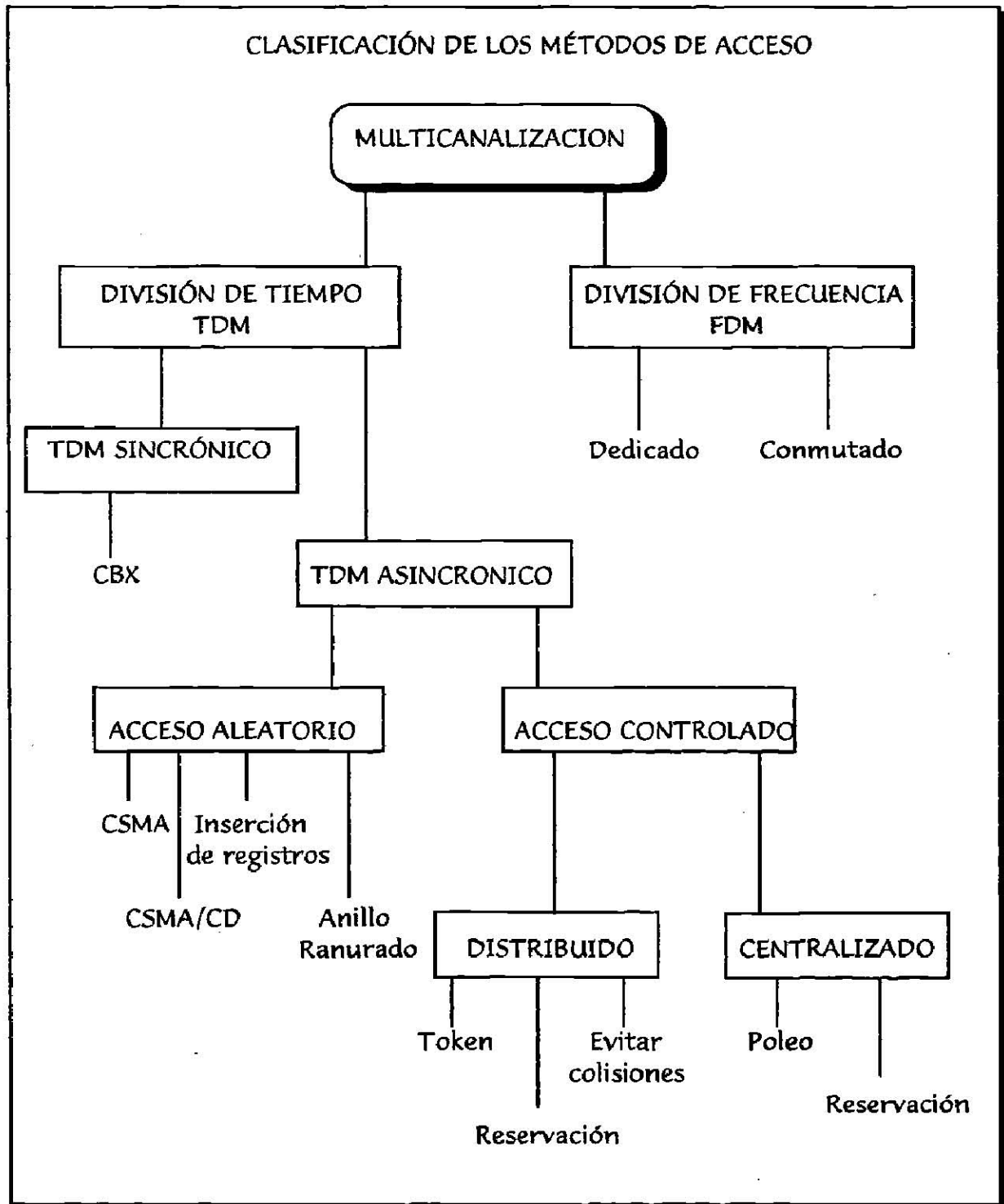
- Redes punto a punto.
- Redes de canal abierto (broadcast).

En las primeras existe una conexión entre cada uno de los nodos de la red, y la manera de comunicarse entre dos dispositivos es pasando a través de los nodos intermedios. En el segundo tipo de redes, se tiene un canal o medio de comunicación común para todos los nodos. Dentro de la primera clase caen las topologías de estrella y anillo principalmente; y en la segunda, las topologías de bus y árbol.

#### Métodos de acceso

El método de acceso en una red local define la manera como cada uno de los nodos en dicha red van a hacer uso del medio de transmisión y bajo qué condiciones.

En la figura se muestra una clasificación de los principales métodos de acceso. Puede observarse que todos se derivan de la multicanalización; esto es debido a que en una red local se tiene un gran número de nodos o estaciones conectados a un medio de transmisión que minimiza el número de conexiones entre éstos. La multicanalización es una técnica que permite utilizar un medio físico único o limitado para establecer conexiones virtuales o lógicas entre los dispositivos conectados a este medio.



El acceso a su vez puede ser aleatorio o controlado. Aleatorio, si la estación puede iniciar la comunicación en cualquier momento, y controlado, si depende de un evento determinado para obtener el acceso.

Las principales técnicas de acceso se describen a continuación. Cabe mencionar que cada una de ellas se relaciona con una topología particular, aunque es posible implementarla en alguna otra topología.

#### -Poleo (Polling)

La técnica de poleo cae dentro de la clasificación de acceso controlado y centralizado y opera de la siguiente manera:

Se define un nodo como controlador de la red, típicamente el nodo central en una red con topología de estrella. Dicho controlador otorga el derecho de transmisión mediante el envío de un mensaje de poleo (polling) a cada uno de los nodos en un orden predefinido relacionado con la dirección de cada estación. El nodo que recibe este mensaje envía lo que tenga que transmitir en un tiempo también establecido por el controlador de la red. En caso de no tener datos a transmitir, envía un mensaje indicándolo (poll reject), y el controlador se dirige al siguiente nodo.

Bajo este esquema, el diálogo entre controlador y nodos genera una sobrecarga en el tráfico de datos en la red, el cual se puede simplificar un poco si el nodo seleccionado que no tiene nada para transmitir, envía el mensaje de poleo a la siguiente estación en lugar de esperar a que lo genere el controlador de la red.

#### -CSMA (Carrier Sense Multiple Access)

Las técnicas de acceso aleatorio comprenden aquellas que establecen un método en el cual el nodo que quiera transmitir pueda iniciar dicha transmisión en cualquier momento, sin necesidad de pedir permiso para tener acceso al canal de comunicación. Esto trae como consecuencia la posibilidad de que dos o más estaciones puedan transmitir simultáneamente, originando una colisión, esto es, la corrupción de los datos transmitidos por una estación por la presencia de otra señal en el mismo medio.

Una de las técnicas más ampliamente difundidas en redes locales es la CSMA. El método CSMA tiene como finalidad proveer accesos múltiples a los nodos de una red con topología de bus, y se basa en sensar la actividad del canal antes y/o durante la transmisión de un paquete, partiendo del hecho que el retraso de propagación es muy corto comparado con el tiempo de transmisión del paquete o bloque de datos. Puede entenderse como tiempo o retraso de propagación el tiempo que tarda un bit desde que es transmitido hasta que es recibido por la estación receptora.

Esta técnica se utiliza generalmente en redes tipo "broadcast" o canal abierto, en las cuales se tiene un canal o medio común de transmisión.

### -Token Passing

Haciendo referencia a la clasificación de los métodos de acceso controlado donde el control se encuentra distribuido, la técnica más conocida es la de Token Passing.

Este método de acceso, utilizado más comúnmente en redes con topología de anillo, permite que la transferencia de datos se realice ordenadamente y definiendo un tiempo máximo de espera para el acceso al medio. Tiene como característica su alto rendimiento aún cuando el tráfico es elevado, ya que no existen las colisiones.

Su operación se basa en un patrón de bits llamado token que circula a lo largo de la red y es recibido por cada nodo integrante de la misma. Cuando uno de ellos quiere transmitir y ha recibido el token, modifica uno de los bits de éste y toma control del medio; es entonces cuando inicia la transmisión.

El token ocupado circula por la red mientras se realiza la transferencia de datos entre las máquinas, hasta que regresa al nodo que modificó su condición, donde este mismo nodo restaura el token a su condición de desocupado y termina la transferencia. En este momento cualquier otro nodo que quiera iniciar una comunicación puede tomar control de la red, mediante el mismo proceso. Aunque permite un tiempo de acceso bueno, este método es sensible al número de nodos en una red y a la longitud física del anillo o bus.

Esta técnica puede implementarse en redes con topología de anillo o bus, aún cuando es inherente a la primera. En el caso de implementarse en una red tipo anillo, el método de acceso se conoce como Token Ring, y su operación básica es como se describió en los párrafos anteriores. Cuando es implementada en una red tipo bus, se le conoce como Token Passing Bus o Token Bus, y su operación se complica un poco; esto se debe a que para su funcionamiento es necesario definir un anillo lógico mediante una secuencia de direcciones.

### **Medios de comunicación**

Los medios de comunicación son los enlaces físicos a través de los cuales los datos son transmitidos de un nodo a otro en una red de computadoras, y pueden emplearse para ello diferentes tipos de cable.

Para la elección del tipo de cable a utilizar en la implementación de una red local es necesario observar y tomar en cuenta los requerimientos y características propias de cada red.

Cabe mencionar aquí uno de los factores importantes que caracteriza una red local, es la velocidad de transmisión, la cual nos indica la cantidad de datos que puede manejar la red en el canal de transmisión, y se mide en bits por segundo. Este parámetro es importante cuando se pretende seleccionar el medio de comunicación a utilizar por una red local.

Los tipos de cable más utilizados actualmente son:

- Cable multipar (o elementos cableados)
- Cable coaxial
- Fibra óptica

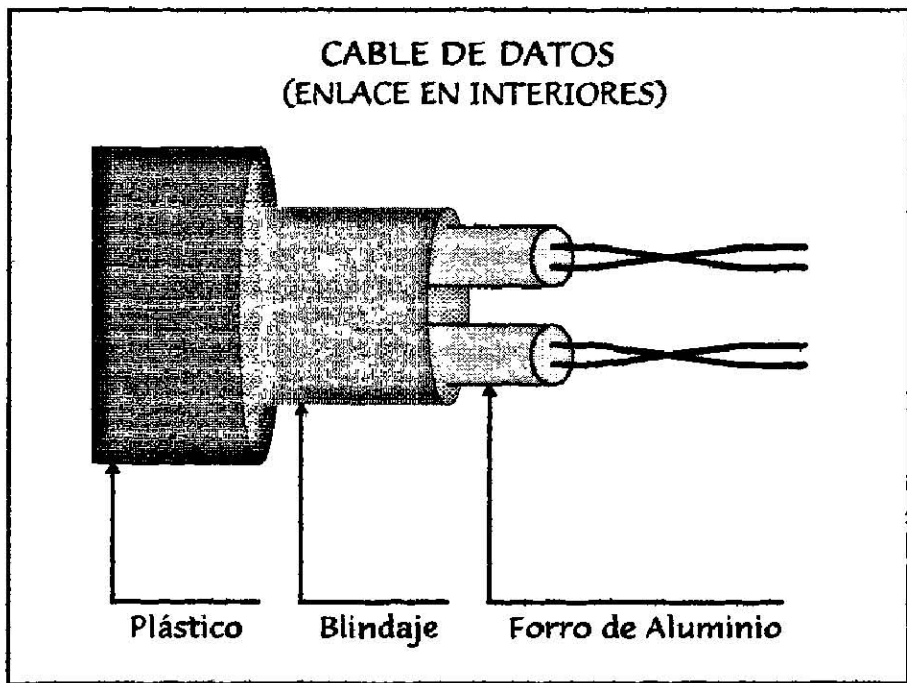
-Cable multipar o elementos cableados

Este tipo de cable está formado por varios conductores aislados en forma individual, torcidos por pares y reunidos todos bajo una cubierta o aislamiento externo; pueden llevar blindaje con cintas de aluminio o con mallas de alambres.

De acuerdo a su capacitancia pueden dividirse en grado de voz o grado de datos. Los primeros son similares a los empleados en las instalaciones telefónicas, cables con aislamiento de PVC (cloruro de polivinilo) o PE (polietileno), con capacitancia entre conductores de 90 a 115 pf/m. La forma transversal del cable puede ser circular u oval.

Los cables de grado de datos tienen un aislamiento especial para lograr una baja capacitancia del orden de 40 pf/m, empleando para ello materiales como PE celular o FEP (fluorotileno propileno). Además, si se requiere, cada par se blinda individualmente con una cinta de aluminio o con una malla de cobre estañado.

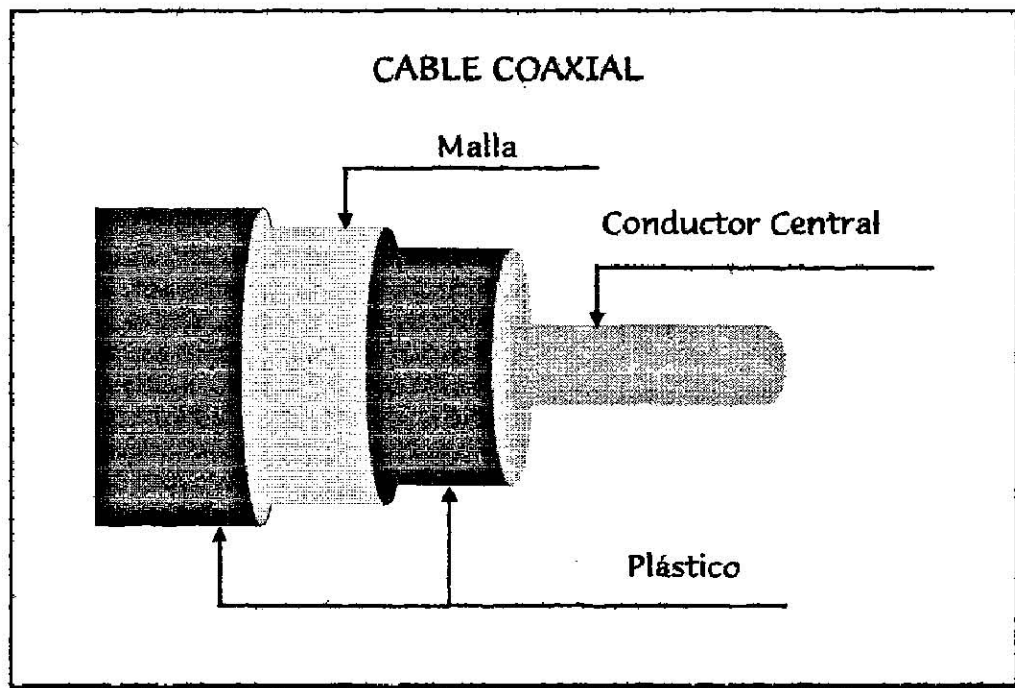
Estos cables son apropiados para la transmisión de datos en banda base a velocidades de transmisión bajas y medias del orden de 4 Mbps.



### Cable coaxial

Los cables coaxiales están formados por dos conductores, un conductor central rodeado por un material dieléctrico y sobre éste el conductor externo, el cual además de conductor tiene la función de proporcionar blindaje contra radiaciones de radiofrecuencia (RF).

Existe una variedad de cables coaxiales dependiendo de la aplicación específica. En redes locales se utilizan tanto cables coaxiales convencionales, como cables de diseño especial, dependiendo de la técnica de transmisión empleada (baseband, broadband) así como de la velocidad de transmisión de los datos. Los cables de diseño especial pueden contener más de un conductor central, tener material dieléctrico de alta velocidad de propagación o contener más de un blindaje.



Estos cables son apropiados para transmitir datos en banda ancha y a velocidades del orden de 10 Mbps en banda base.

### Fibra óptica

Como se ha hecho notar en puntos anteriores, los cables de fibras ópticas presentan una serie de ventajas con respecto a los cables metálicos, entre otras:

- Tiene un ancho de banda mucho mayor, alrededor de 50 GHz/Km, lo cual se traduce en una mayor capacidad de transmisión de información y la posibilidad de transmitir datos a velocidades muy altas, de hasta 100 Mbps.
- Ofrecen una atenuación muy baja, del orden de 0.5 dB/Km, eliminando por ende el uso de amplificadores y repetidores para enlaces distantes.
- Inmunidad completa a las radiaciones electromagnéticas.



- Es totalmente dieléctrica, eliminando los problemas de aterrizaje, lazos de tierra (ground loops), de corto circuito, descargas, etc.
- Se pueden transmitir señales tanto analógicas como digitales, prácticamente de cualquier frecuencia y velocidad, además de que no requiere acopladores de impedancia para transmitir con eficiencia.
- Sus dimensiones y pesos son pequeños comparados con los cables metálicos.
- Ofrece una mayor seguridad debido a que la fibra no radia señales, de tal modo que es prácticamente imposible extraer datos de un canal sin ser detectado.
- El costo, que inicialmente era alto comparado con los medios convencionales de transmisión, se ha tornado competitivo y en ocasiones más bajo.
- El mantenimiento de una instalación de fibra óptica es mínimo, ya que no se degradan con la humedad, ni por contaminantes.

El tipo de fibra óptica empleado más comúnmente para transmisión de datos es el *multimodo*, pudiendo ser de vidrio o de plástico, dependiendo del tipo de red, la velocidad de transmisión, cobertura de la red y el ambiente al que va a estar expuesta la fibra.

El cable de fibras ópticas puede tener varias presentaciones de acuerdo esencialmente al ambiente al cual va a estar expuesto y a la capacidad de transmisión requerida. Así, es posible tener cables para interiores, exteriores, dieléctricos, con armadura, autosoportados, o de aplicación especial.

