

### 3 Medios de Transmisión

El medio de transmisión constituye el soporte físico a través del cual emisor y receptor pueden comunicarse en un sistema de transmisión de datos. Distinguimos dos tipos de medios: **guiados** y **no guiados**. En ambos casos la transmisión se realiza por medio de ondas electromagnéticas. Los medios guiados conducen (guían) las ondas a través de un camino físico, ejemplos de estos medios son el cable coaxial, la fibra óptica y el par trenzado. Los medios no guiados proporcionan un soporte para que las ondas se transmitan, pero no las dirigen; como ejemplo de ellos tenemos el aire y el vacío.

La naturaleza del medio junto con la de la señal que se transmite a través de él constituyen los factores determinantes de las características y la calidad de la transmisión. En el caso de medios guiados es el propio medio el que determina el que determina principalmente las limitaciones de la transmisión: velocidad de transmisión de los datos, ancho de banda que puede soportar y espaciado entre repetidores. Sin embargo, al utilizar medios no guiados resulta más determinante en la transmisión el espectro de frecuencia de la señal producida por la antena que el propio medio de transmisión.

#### 3.1. Medios guiados más usuales

##### Medio magnético

Una de las formas más comunes para el transporte de datos, de un ordenador a otro, consiste en escribir dicha información sobre una cinta magnética o en discos, y transportar físicamente la cinta o los discos hasta la máquina destino, para que después ésta pueda leer la información. Este método, aunque no tan sofisticado como aquellos en los que se utilizan satélites de comunicación geosíncronos, es bastante efectivo en coste, en especial en los casos en los que se necesitan anchos de banda grandes o en donde el coste por bit transportado representa un factor clave.

## Física y electrónica básica

### Líneas de hilo desnudo

Es el medio más simple de transmisión. Prácticamente ha caído ya en desuso. La información se transmite por medio de cables conductores sin recubrimiento aislante que deben por tanto, ir separados. La señal, que es típicamente un voltaje o nivel relativo de corriente respecto a una referencia, se aplica a uno de los hilos mientras que el otro se conecta a tierra.

No constituye un buen medio porque tiene una elevada atenuación y además es muy sensible a los ruidos eléctricos (diafonía) causados por el acoplamiento capacitivo entre dos hilos.

### Pares trenzados

Este consiste en dos alambres de cobre aislados, en general de 1mm de espesor. Los alambres se entrelazan en forma helicoidal, como en una molécula de DNA. La forma trenzada del cable se utiliza para reducir la interferencia eléctrica con respecto a los pares cercanos que se encuentran a su alrededor, (Dos cables paralelos constituyen una antena simple, en tanto que un par trenzado no.)

La aplicación más común del par trenzado es el sistema telefónico, casi todos los teléfonos están conectados a la oficina de la compañía telefónica a través de un par trenzado. La distancia que se puede recorrer con estos cables es de varios kilómetros, sin necesidad de amplificar las señales, pero si es necesario incluir repetidores en distancias más largas. Cuando hay muchos pares trenzados colocados paralelamente que recorren distancias considerables, como podría ser el caso de los cables de un edificio de departamentos que se dirigen a la oficina de teléfonos, éstos se agrupan y se cubren con una malla protectora. Los pares dentro de estos agrupamientos podrían sufrir interferencias mutuas si no estuviera trenzados. En algunos lugares del mundo en donde las líneas telefónicas se instalan en la parte alta de los postes, se observan frecuentemente dichos agrupamientos, como cables con diámetros de varios centímetros.

## Física y electrónica básica

Los pares trenzados se pueden utilizar tanto para transmisión analógica como digital, y su ancho de banda depende del calibre del alambre y de la distancia que recorre; en muchos casos pueden obtenerse transmisiones de varios megabits/s, en distancias de pocos kilómetros. Debido a su adecuado comportamiento y bajo costo, los pares trenzados se utilizan ampliamente y es probable que se presencia permanezca por muchos años.

El principal factor limitador de las línea de par trenzado es causado por un fenómeno conocido como *efecto piel*. Al aumentar la velocidad de transmisión y por tanto la frecuencia de la señal transmitida, la corriente tiende a fluir únicamente por la superficie del cable. Esto tiene el efecto de aumentar la resistencia de los hilos para las señales de alta frecuencia, lo que provoca una mayor atenuación de las señales transmitidas. A altas frecuencias una cantidad creciente de la potencia de la señal se pierde debido a los efectos de la radiación. Por eso, tradicionalmente para aquellas aplicaciones que requieren una velocidad superior a 1Mbps solían emplearse otros medios de transmisión. Una línea de transmisión que minimiza ambos efectos es el cable coaxial.

### Cable coaxial de banda base

El cable coaxial es otro medio típico de transmisión. Hay dos tipos de cable coaxial que se utilizan con frecuencia, uno de ellos es el cable de 50 ohms, que se utiliza en la transmisión digital y es precisamente el tema de esta sección; en tanto que el otro tipo, el cable de 75ohms, que se emplea en la transmisión analógica, será el tema de la sección siguiente.

El cable coaxial consta de un alambre de cobre duro en su parte central, es decir, que constituye el núcleo, el cual se encuentra rodeado por un material aislante. Este material aislante está rodeado por un conductor cilíndrico que frecuentemente se presenta como una malla de tejido trenzado. El conductor externo está cubierto por una capa de plástico protector.

La construcción del cable coaxial produce una buena combinación e un gran ancho de banda y una excelente inmunidad al ruido. El ancho de banda que se puede obtener depende de la longitud del cable; para cables de 1km, por ejemplo, es factible obtener velocidades de datos de hasta 10Mbps, y en cables de longitudes menores, es posible obtener velocidades superiores. Se pueden utilizar cables con mayor longitud, pero se obtienen

## Física y electrónica básica

velocidades muy bajas. Los cables coaxiales se emplean ampliamente en redes de área local y para transmisiones de larga distancia del sistema telefónico.

### Cable coaxial de banda ancha

El sistema que considera el otro tipo de cable coaxial emplea la transmisión analógica en el cableado que se utiliza comúnmente para el envío de la señal de televisión por cable, y se le denomina de **banda ancha**. Aunque el término *banda ancha* proviene del medio telefónico, en el cual se refiere a frecuencias superiores a los 4kHz, el significado de este término en el medio de redes de ordenadores se asocia a las redes de cables utilizadas para la transmisión analógica. Dado que las redes de banda ancha utilizan la tecnología patrón para envío de señales de televisión por cable, los cables pueden emplearse para aplicaciones que necesiten hasta los 300 Mhz (y en algunos casos hasta los 450 Mhz), y extenderse a longitudes que alcanzan hasta los 100 Km, gracias a la naturaleza analógica de la señal, que es menos crítica que la del tipo digital. Para transmitir señales digitales en una red analógica, cada interfaz debe tener un dispositivo electrónico que convierta en señal analógica el flujo de bits de envío, y otro para convertir la señal analógica que llega en un flujo de bits. Dependiendo del tipo (y precio) de estos dispositivos electrónicos, 1 bps puede llegar a ocupar un ancho de banda que va desde 1 a 4 Hz. Un cable típico de 300Mhz, por lo general puede mantener velocidades de transmisión de datos de hasta 150 Mbps.

### Fibras ópticas

Una fibra óptica es un cilindro de pequeña sección (diámetro del orden de 2 a 125  $\mu\text{m}$ ), de un medio flexible –cristal, plástico- capaz de conducir un rayo óptico. Las mejores son las de silicio puro, y que tienen menos pérdidas, aunque su precio es más elevado..

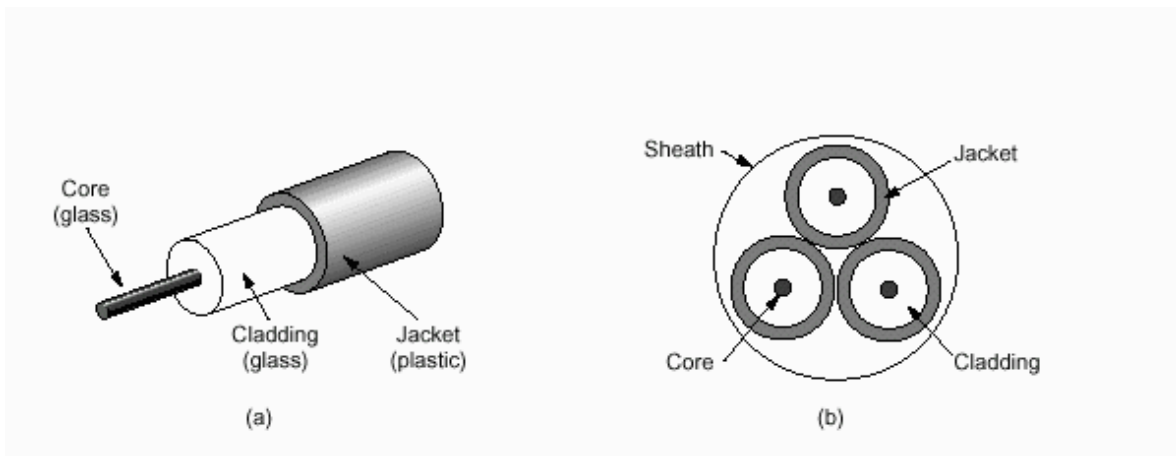
Un cable de fibra óptica consta de tres secciones concéntricas. La más interna, el núcleo, consiste en una o más hebras o fibras hechas de cristal o plástico. Cada una de ellas lleva un revestimiento de cristal o plástico con propiedades ópticas distintas a las del núcleo. La capa más exterior, que recubre una o más fibras, debe ser de un material opaco y resistente.

Un sistema de transmisión por fibra óptica está formado por una fuente luminosa muy

monocromática (generalmente un láser), la fibra encargada de transmitir la señal luminosa y un fotodiodo que reconstruye la señal eléctrica.

La luz se propaga en zig-zag debido a los fenómenos de reflexión total que tienen lugar en el interior de la fibra. Por este motivo las pérdidas son muy escasas. Además, las fibras son inmunes a las interferencias electromagnéticas y a su vez no interfieren en otros sistemas. Por lo tanto, resultan extremadamente útiles para la transmisión de señales en medios muy ruidosos. Entre otras de sus ventajas podemos citar su elevado ancho de banda (permite alcanzar velocidades del orden de Gbps sobre decenas de Km) y sus reducidos peso y tamaño.

Los sistemas de fibra óptica suelen resultar más caros que los de cable coaxial y mecánicamente más delicados, por lo que presentan más dificultades en su instalación. Se utilizan en telecomunicaciones a larga distancia, aplicaciones militares, redes locales, distribución de señales de audio/vídeo.



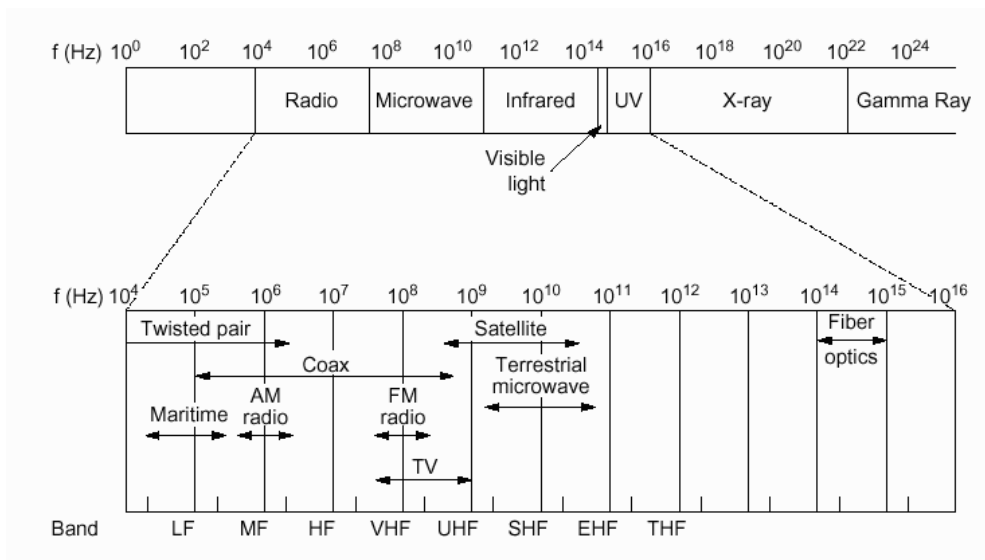
(a) Vista de fibra óptica. (b) Vista de extremo de una envoltura con tres fibras

### 3.2. Medios no guiados

En muchas ocasiones resulta problemática la instalación de un tendido de cables para la transmisión de señales. Los enlaces inalámbricos emplean la propagación de las ondas electromagnéticas en el espacio y por lo tanto no precisan de ningún tipo de cableado entre emisor y receptor.

#### El espectro electromagnético

Cuando los electrones se mueven crean ondas electromagnéticas que se pueden propagar por el espacio libre. En el vacío todas las ondas electromagnéticas viajan a la misma velocidad, sin importar cual sea su frecuencia (velocidad de la luz  $c = 3 \times 10^8$  m/seg).



La cantidad de información que puede llevar una onda electromagnética se relaciona con su ancho de banda. Con la tecnología actual, es posible codificar unos cuantos bits por hertz a frecuencias bajas, pero a frecuencias altas el número puede llegar a 40 en ciertas condiciones, de modo que un cable con un ancho de banda de 500 MHz puede transportar varios gigabits/seg.

### MICROONDAS

Por encima de los 100 MHz las ondas viajan en línea recta, por lo que se pueden enfocar en un haz estrecho. Estos enlaces de microondas se utilizan mucho como enlaces allí donde los cables coaxiales o de fibra óptica no son prácticos. Se necesita una línea de visión directa para transmitir en la banda de SHF, de modo que es necesario disponer de antenas de microondas en torres elevadas en las cimas de los cerros o accidentes del terreno para asegurar un camino directo con la intervención de pocos repetidores.

Las bandas de frecuencias más comunes para comunicaciones mediante microondas son las de 2,4, 6 y 6.8 GHz. Un enlace de microondas a 140 Mbits/s puede proporcionar hasta 1920 canales de voz o bien varias comunicaciones de canales de 2 Mbits/s multiplexados en el tiempo.

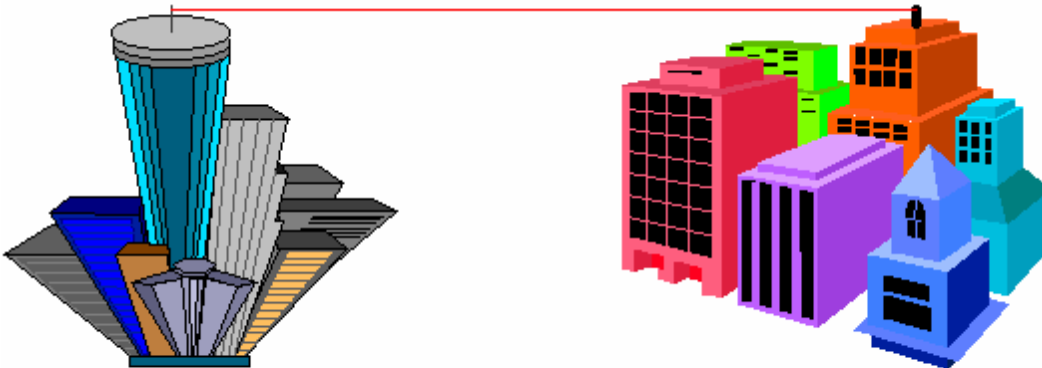
Los enlaces de microondas presentan unas tasas de error en el rango de 1 en  $10^5$  a 1 en  $10^{11}$  dependiendo de la relación señal/ruido en los receptores. Pueden presentarse problemas de propagación en los enlaces de microondas, incluyendo los debidos a lluvias intensas que provocan atenuaciones que incrementan la tasa de errores. Pueden producirse pequeños cortes en la señal recibida cuando una bandada de pájaros atraviesa el haz de microondas, pero es poco frecuente que ocurra.

### SEÑALES DE RADIO

Consiste en la emisión/recepción de una señal de radio, por lo tanto el emisor y el receptor deben sintonizar la misma frecuencia. La emisión puede traspasar muros y no es necesario la visión directa de emisor y receptor, pueden alcanzar largas distancias y son omnidireccionales. Poseen un ancho de banda relativamente bajo.

### ENLACES ÓPTICOS AL AIRE LIBRE

El principio de funcionamiento de un enlace óptico al aire libre es similar al de un enlace de fibra óptica, sin embargo el medio de transmisión no es un polímero o fibra de vidrio sino el aire.



El emisor óptico produce un haz estrecho que se detecta en un sensor que puede estar situado a varios kilómetros en la línea de visión. Las aplicaciones típicas para estos enlaces se encuentran en los campus de las universidades, donde las carreteras no permiten tender cables, o entre los edificios de una compañía en una ciudad en la que resulte caro utilizar los cables telefónicos.

Las comunicaciones ópticas al aire libre son una alternativa de gran ancho de banda a los enlaces de fibra óptica o a los cables eléctricos. Las prestaciones de este tipo de enlace pueden verse empobrecidas por la lluvia fuerte o niebla intensa, pero son inmunes a las interferencias eléctricas y no necesitan permiso de las autoridades responsables de las telecomunicaciones.

Las mejoras en los emisores y detectores ópticos han incrementado el rango y el ancho de banda de los enlaces ópticos al aire libre, al tiempo que reducen los costos. Se puede permitir voz o datos sobre estos enlaces a velocidades de hasta 45 Mbits/s . El límite para comunicaciones fiables se encuentra sobre los dos kilómetros. Para distancias de más de dos kilómetros son preferibles los enlaces de microondas.

Existen dos efectos atmosféricos importantes a tener en cuenta con los enlaces ópticos al aire libre :

- La dispersión de la luz que atenúa la señal óptica en proporción al número y al tamaño de las partículas en suspensión en la atmósfera. Las partículas pequeñas, como la niebla, polvo o humo, tienen un efecto que es función de su densidad y de la relación existente entre su tamaño y de la longitud de onda de la radiación infrarroja utilizada. La niebla, con una elevada densidad de partículas, de 1 a 10  $\mu m$  de diámetro, tienen un efecto más acusado sobre el haz de luz. Las partículas de humo, más grandes, tienen menor densidad y, por tanto, menor efecto.
- Las brisas ascensionales (originadas por movimientos del aire como consecuencia de las variaciones en la temperatura) provocan variaciones en la densidad del aire y, por tanto, variaciones en el índice de refracción a lo largo del haz. Esto da lugar a la dispersión de parte de la luz a lo largo del haz. Este efecto puede reducirse elevando el

## Física y electrónica básica

haz de luz lo bastante con respecto a cualquier superficie caliente o utilizando emisores múltiples. La luz de cada emisor se ve afectada de diferente forma por las brisas, y los haces se promedian en el receptor.

Estos sistemas suelen emplearse para transmisiones digital de alta velocidad en banda base. En EE.UU, todos los fabricantes de productos láser deben tener una certificación que garantiza la seguridad de sus productos.

### COMUNICACIONES VIA SATÉLITE

Los satélites artificiales han revolucionado las comunicaciones desde los últimos 20 años. Actualmente son muchos los satélites de comunicaciones que están alrededor de la tierra dando servicio a numerosas empresas, gobiernos, entidades ... .

Un satélite de comunicaciones hace la labor de repetidor electrónico. Una estación terrena A transmite al satélite señales de una frecuencia determinada (canal de subida). Por su parte, el satélite recibe estas señales y las retransmite a otra estación terrena B mediante una frecuencia distinta (canal de bajada). La señal de bajada puede ser recibida por cualquier estación situada dentro del cono de radiación del satélite, y puede transportar voz, datos o imágenes de televisión. De esta manera se impide que los canales de subida y de bajada se interfieran, ya que trabajan en bandas de frecuencia diferentes.

La capacidad que posee un satélite de recibir y retransmitir se debe a un dispositivo conocido como transpondedor.

## Física y electrónica básica

La siguiente figura muestra un satélite trabajando con microestaciones VSAT (very small aperture terminals). Estas diminutas terminales tienen antena de 1 metro y salidas de potencia de cerca de 1 watt. Estas microestaciones no tienen potencia suficiente para comunicarse entre ellas por lo que se usa una estación terrena especial llamada eje (hub) con una antena grande de ganancia alta para retransmitir el tráfico entre VSAT.

