

## 2.2 MEDIOS DE TRANSMISIÓN GUIADOS

El propósito de la capa física es transportar un flujo de datos puro de una máquina a otra. Es posible utilizar varios medios físicos para la transmisión real. Cada uno tiene su propio nicho en términos de ancho de banda, retardo, costo y facilidad de instalación y mantenimiento. Los medios se clasifican de manera general en medios guiados, como cable de cobre y fibra óptica, y medios no guiados, como radio y láser a través del aire. Analizaremos estos temas en las siguientes secciones.

### 2.2.2 Par trenzado

Aunque las características del ancho de banda de una cinta magnética son excelentes, las de retardo son pobres. El tiempo de transmisión se mide en minutos u horas, no en milisegundos. Para muchas aplicaciones se necesita una conexión en línea. Uno de los medios de transmisión más viejos, y todavía el más común, es el cable de par trenzado. Éste consiste en dos alambres de cobre aislados, por lo regular de 1 mm de grueso. Los alambres se trenzan en forma helicoidal, igual que una molécula de DNA. Esto se hace porque dos alambres paralelos constituyen una antena simple. Cuando se trenzan los alambres, las ondas de diferentes vueltas se cancelan, por lo que la radiación del cable es menos efectiva. La aplicación más común del cable de par trenzado es en el sistema telefónico. Casi todos los teléfonos están conectados a la compañía telefónica mediante un cable de par trenzado. La distancia que se puede recorrer con estos cables es de varios kilómetros sin necesidad de amplificar las señales, pero para distancias mayores se requieren repetidores. Cuando muchos cables de par trenzado recorren de manera paralela distancias considerables, como podría ser el caso de los cables de un edificio de departamentos que van hacia la compañía telefónica, se suelen atar en haces y se cubren con una envoltura protectora. Los cables dentro de estos haces podrían sufrir interferencias si no estuvieran trenzados. En algunos lugares del mundo en donde las líneas telefónicas se instalan en la parte alta de los postes, se observan frecuentemente dichos haces, de varios centímetros de diámetro. Los cables de par trenzado se pueden utilizar para transmisión tanto analógica como digital. El ancho de banda depende del grosor del cable y de la distancia que recorre; en muchos casos pueden obtenerse transmisiones de varios megabits/seg, en distancias de pocos kilómetros. Debido a su comportamiento adecuado y bajo costo, los cables de par trenzado se utilizan ampliamente y es probable que permanezcan por muchos años. Hay varios tipos de cableado de par trenzado, dos de los cuales son importantes para las redes de computadoras. Los cables de par trenzado categoría 3 consisten en 2 alambres aislados que se trenzan de manera delicada. Cuatro de estos pares se agrupan por lo regular en una envoltura de plástico para su protección. Antes de 1988, la mayoría de los edificios de oficinas tenía un cable de categoría 3 que iba desde un gabinete de cableado central en cada piso hasta cada oficina. Este esquema permitió que hasta cuatro teléfonos comunes o dos teléfonos de múltiples líneas en cada oficina se conectaran con el equipo de la compañía telefónica en el gabinete de cableado.

A comienzos de 1988 se introdujeron los cables de par trenzado categoría 5 más avanzados. Son similares a los de la categoría 3, pero con más vueltas por centímetro, lo que produce una menor diafonía y una señal de mejor calidad a distancias más largas. Esto los hace más adecuados para una comunicación más rápida entre computadoras. Las siguientes son las categorías 6 y 7, que tienen capacidad para manejar señales con anchos de banda de 250 y 600 MHz, respectivamente (en comparación con los 16 y 100 MHz de las categorías 3 y 5, respectivamente). Todos estos tipos de cableado comúnmente se conocen como UTP (Par Trenzado sin Blindaje), en comparación con los cables de par trenzado costosos, blindados y voluminosos que IBM introdujo a principios de la década de 1980, los cuales no ganaron popularidad fuera de las instalaciones de IBM. En la figura 2-3 se muestra un cableado de par trenzado.



Figura 2-3. (a) UTP categoría 3. (b) UTP categoría 5.

### 2.2.3 Cable coaxial

Otro medio común de transmisión es el cable coaxial (conocido frecuentemente tan sólo como “coax”). Este cable tiene mejor blindaje que el de par trenzado, así que puede abarcar tramos más largos a velocidades mayores. Hay dos clases de cable coaxial que son las más utilizadas. Una clase: el cable de 50 ohms, se usa por lo general para transmisión digital. La otra clase, el cable de 75 ohms, se utiliza comúnmente para la transmisión analógica y la televisión por cable, pero se está haciendo cada vez más importante con el advenimiento de Internet a través de cable. Esta distinción se basa en hechos históricos, más que en técnicos (por ejemplo, las antenas antiguas de dipolos tenían una impedancia de 300 ohms y era fácil utilizar los transformadores adaptadores de impedancia 4:1). Un cable coaxial consiste en un alambre de cobre rígido como núcleo, rodeado por un material aislante. El aislante está forrado con un conductor cilíndrico, que con frecuencia es una malla de tejido fuertemente trenzado. El conductor externo se cubre con una envoltura protectora de plástico. En la figura 2-4 se muestra una vista en corte por capas de un cable coaxial. La construcción y el blindaje del cable coaxial le confieren una buena combinación de ancho de banda alto y excelente inmunidad al ruido. El ancho de banda posible depende de la calidad y longitud del cable, y de la relación señal a ruido de la señal de datos. Los cables modernos tienen un ancho de banda de cerca de 1 GHz. Los cables coaxiales solían ser ampliamente usados en el sistema telefónico para las líneas de larga distancia, pero en la actualidad han sido reemplazados por la fibra óptica en rutas de distancias considerables. Sin embargo, el cable coaxial aún se utiliza ampliamente en la televisión por cable y en las redes de área metropolitana.

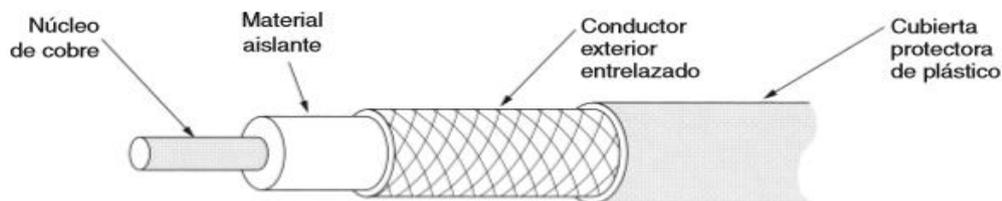


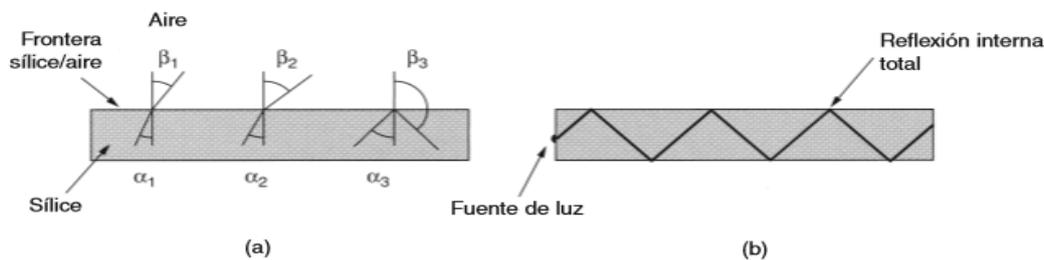
Figura 2-4. Un cable coaxial.

### 2.2.4 Fibra óptica

Muchas personas de la industria de la computación se enorgullecen de lo rápido que está mejorando la tecnología en esta área. La PC original de IBM (1981) se ejecutaba a una velocidad de reloj de 4.77 MHz. Veinte años más tarde, las PCs pueden correr a 2 GHz, con un factor de ganancia de 20 por década. No está nada mal. En el mismo periodo, la comunicación de datos de área amplia pasó de 56 kbps (ARPANET) a 1 Gbps (comunicación óptica moderna), con un factor de ganancia de más de 125 por década, y al mismo tiempo la tasa de error pasó de 10<sup>-5</sup> por bit hasta casi cero. Además, las CPUs individuales están empezando a aproximarse a límites físicos, como la velocidad de la luz y los problemas de la disipación de calor. En contraste, con la tecnología actual de fibras, el ancho de banda alcanzable ciertamente está por encima de los 50,000 Gbps (50 Tbps) y muchas personas se están esforzando arduamente para encontrar mejores tecnologías y materiales. El límite práctico de señalización actual de aproximadamente 10 Gbps se debe a nuestra incapacidad para convertir con mayor rapidez las señales eléctricas a ópticas, aunque en el laboratorio se han alcanzado hasta 100 Gbps en una sola fibra. En la competencia entre la computación y la comunicación, esta última ganó. La generación de científicos e ingenieros de computación acostumbrados a pensar en términos de los bajos límites de Nyquist y Shannon impuestos por el alambre de cobre aún no ha comprendido todas las implicaciones del ancho de banda prácticamente infinito (aunque no sin un costo). El nuevo sentido común debería ser que todas las computadoras son desesperadamente lentas y que las redes deberían tratar de evitar las tareas de cómputo a cualquier precio, sin importar cuánto ancho de banda se desperdicie. En esta sección analizaremos la fibra óptica para ver cómo funciona esa tecnología de transmisión. Un sistema de transmisión óptico tiene tres componentes: la fuente de luz, el medio de transmisión y el detector. Convencionalmente, un pulso de luz indica un bit 1 y la ausencia de luz indica un bit 0. El medio de transmisión es una fibra de vidrio ultradelgada. El detector genera un pulso eléctrico cuando la luz incide en él. Al agregar una fuente de luz en un extremo de una fibra óptica y un detector en

el otro, se tiene un sistema de transmisión de datos unidireccional que acepta una señal eléctrica, la convierte y transmite mediante pulsos de luz y, luego, reconvierte la salida a una señal eléctrica en el extremo receptor.

Este sistema de transmisión tendría fugas de luz y sería inútil en la práctica excepto por un principio interesante de la física. Cuando un rayo de luz pasa por un medio a otro —por ejemplo, de sílice fundida al aire—, el rayo se refracta (se dobla) en la frontera de la sílice y el aire, como se muestra en la figura 2-5(a). En ella vemos un rayo de luz que incide en la frontera con un ángulo  $\alpha_1$  y que emerge con un ángulo  $\beta_1$ . El grado de refracción depende de las propiedades de los dos medios (en particular sus índices de refracción). Para ángulos con incidencias mayores de ciertos valores críticos, la luz se refracta nuevamente a la sílice; ninguna parte de él escapa al aire. Por lo tanto, un rayo de luz que incide en un ángulo mayor o igual que el crítico queda atrapado dentro de la fibra, como se muestra en la figura 2-5(b), y se puede propagar por varios kilómetros prácticamente sin pérdida

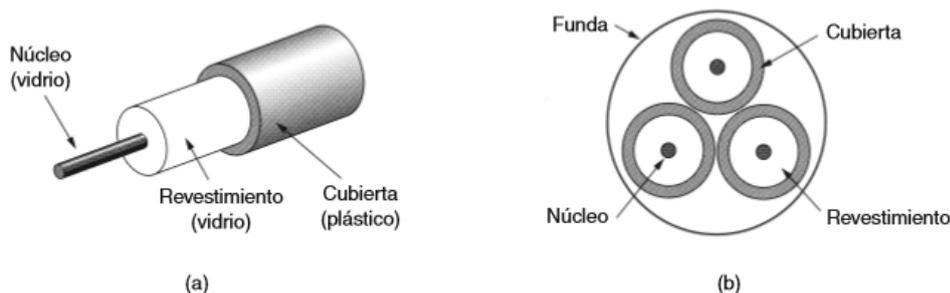


**Figura 2-5.** (a) Tres ejemplos de un rayo de luz procedente del interior de una fibra de sílice que incide sobre la frontera de la sílice y el aire con diferentes ángulos. (b) Luz atrapada por reflexión interna total.

El diagrama de la segunda figura únicamente muestra un rayo atrapado, pero puesto que cualquier rayo de luz que incida en la frontera con un ángulo mayor que el crítico se reflejará internamente, muchos rayos estarán rebotando con ángulos diferentes. Se dice que cada rayo tiene un modo diferente, por lo que una fibra que tiene esta propiedad se denomina fibra multimodo. Por otro lado, si el diámetro de la fibra se reduce a unas cuantas longitudes de onda de luz, la fibra actúa como una guía de ondas y la luz se puede propagar sólo en línea recta, sin rebotar, lo cual da como resultado una fibra monomodo. Las fibras monomodo son más caras, pero se pueden utilizar en distancias más grandes. Las fibras monomodo disponibles en la actualidad pueden transmitir datos a 50 Gbps a una distancia de 100 km sin amplificación. En el laboratorio se han logrado tasas de datos todavía mayores a distancias más cortas

### Cables de fibra

Los cables de fibra óptica son similares a los coaxiales, excepto por el trenzado. La figura 2-7(a) muestra una fibra individual vista de lado. Al centro se encuentra el núcleo de vidrio, a través del cual se propaga la luz. En las fibras multimodo el diámetro es de 50 micras, aproximadamente el grosor de un cabello humano. En las fibras monomodo el núcleo es de 8 a 10 micras.



**Figura 2-7.** (a) Vista de lado de una fibra individual. (b) Vista de extremo de una funda con tres fibras.

El núcleo está rodeado por un revestimiento de vidrio con un índice de refracción menor que el del núcleo, con el fin de mantener toda la luz en este último. A continuación está una cubierta plástica delgada para proteger al revestimiento. Las fibras por lo general se agrupan en haces, protegidas por una funda exterior. La figura 2-7(b) muestra una funda con tres fibras. Las cubiertas de fibras terrestres por lo general se colocan en el suelo a un metro de la superficie, donde a veces pueden sufrir daños ocasionados por retroexcavadoras o tuzas. Cerca de la costa, las cubiertas de fibras transoceánicas se entierran en zanjas mediante una especie de arado marino. En las aguas profundas, simplemente se colocan al fondo, donde los barcos de arrastre pueden tropezar con ellas o los calamares gigantes pueden atacarlas. Las fibras se pueden conectar de tres formas diferentes. Primera, pueden terminar en conectores e insertarse en enchufes de fibra. Los conectores pierden entre 10 y 20% de la luz, pero facilitan la reconfiguración de los sistemas. Segunda, se pueden empalmar de manera mecánica. Los empalmes mecánicos acomodan dos extremos cortados con cuidado, uno junto a otro, en una manga especial y los sujetan en su lugar. La alineación se puede mejorar pasando luz a través de la unión y haciendo pequeños ajustes para maximizar la señal. Personal especializado realiza los empalmes mecánicos en alrededor de cinco minutos, y la pérdida de luz de estos empalmes es de 10%.

Tercera, se pueden fusionar (fundir) dos tramos de fibra para formar una conexión sólida. Un empalme por fusión es casi tan bueno como una sola fibra, pero aun aquí hay un poco de atenuación. Con los tres tipos de empalme pueden ocurrir reflejos en el punto del empalme, y la energía reflejada puede interferir la señal