

MODULO TRES

MEDIOS DE CONDUCCION

3.1 Introducción.

Un medio de transmisión es el conducto que lleva la señal desde el equipo transmisor hasta el equipo receptor. Existen dos formas de transmitir señales, una es guiando la señal a través de un conductor cerrado (un cable, por ejemplo) y otra es emitiendo la señal a un medio disperso para que se propague a través de él (el aire, agua, espacio por ejemplo). De modo pues, que se habla de *medios guiados* y *medios no guiados*, respectivamente.

3.2 Medios Guiados.

A los medios guiados se les conoce como cables, cualquier cable está formado por 3 elementos perfectamente definidos:

- *La Unidad Básica de Conducción.*- Es la parte básica de cualquier cable, contiene el conductor o grupo de conductores característicos, pudiendo ser fibras ópticas, pares trenzados o axiales.
- *Elementos de Aplicación.*- Es el componente o grupo de componentes que califican a un cable para ser utilizado en alguna aplicación en particular, proporcionándole características como rigidez, ductilidad, resistencia higroscópica, resistencia mecánica a la torsión, a la tensión, a la compresión, al ataque de roedores, etc.
- *Manga o Cubierta Exterior.*- Es la cubierta que envuelve a la *unidad básica* y a los *elementos de aplicación*, esta formada por diferentes polímeros según la aplicación de la que se trate; por ejemplo Alloy, PVC, Teflón, Polipropileno, poliestireno, etc. Es costumbre que los fabricantes imprimen sobre la cubierta exterior su marca, el tipo de cable, año de fabricación, medida, etc.

Características de un cable

Todos los cables tienen características propias a la aplicación para la cual fueron diseñados. Dentro de las *características mecánicas* tenemos cables que gracias al diseño de *sus elementos de aplicación* pueden soportar esfuerzos de tensión y/o compresión propios de las instalaciones verticales o bien soportar grandes presiones atmosféricas muy comunes en el fondo del océano donde se instalan. Asimismo, y debido a las *características químicas* de sus componentes, esos mismos cables pueden ser instalados dentro de edificios sin ser un peligro para los usuarios o en su caso soportar la humedad y salinidad sin degradarse al estar sumergidos en el mar.

Clasificación de los cables¹.

La forma mas difundida para clasificar los cables a nivel mundial, es la del Código Eléctrico Nacional (NEC) de los Estados Unidos, que agrupa los cables de la siguiente manera:

¹ Webs recomendados:

www.nfpa.org

CMX.- Cables para Comunicaciones con conductores Metálicos restringidos a casa unifamiliares, no para edificios.

CM.- Cables para Comunicaciones con conductores Metálicos, uso general en interiores dentro de un mismo piso en edificios.

MP.- Cables para Comunicaciones y seguridad con conductores Metálicos, para uso general en interiores dentro de un mismo piso en edificios.

CMR.- Cables para Comunicaciones con conductores Metálicos, para uso especial en cableados verticales (*raiser*) entre pisos de edificios.

MPR.- Cables para Comunicaciones y seguridad con conductores Metálicos, para uso especial en cableados verticales (*raiser*) entre pisos de edificios.

CMP.- Cables para Comunicaciones con conductores Metálicos, para uso especial en cableados verticales (*raiser*) entre pisos de edificios y cableados en falso plafón (*plenum*).

MPP.- Cables para Comunicaciones y seguridad con conductores Metálicos, para uso especial en cableados verticales (*raiser*) entre pisos de edificios y cableados en falso plafón (*plenum*).

OFN.- Cables de Fibras Ópticas, No conductivos, para uso general en interiores dentro de un mismo piso en edificios.

OFNR.- Cables de Fibras Ópticas, No conductivos, para uso especial en cableados verticales (*raiser*) entre pisos de edificios.

OFNP.- Cables de Fibras Ópticas, No conductivos, para uso especial en cableados verticales (*raiser*) entre pisos de edificios y cableados en falso plafón (*plenum*).



Fig. 3.1 National Electric Code.

Medios guiados para señales eléctricas².- Las comunicaciones en la gran mayoría de las redes se realizan utilizando señales eléctricas balanceadas y no balanceadas³. Los conductores para señales eléctricas utilizados en redes locales, generalmente están contruidos con cobre aunque en algunos casos, utilizan mallas y pantallas de otros metales o aleaciones como aluminio o estaño.

² Webs recomendados: www.belden.com, www.cdtc.com, www.canare.com, www.amphenol.com.

³ Se llama conducción no balanceada a aquella en la cual la señal viaja por un conductor principal y utiliza otro conductor secundario como referencia o nivel de tierra. Se llama conducción balanceada aquella en la cual una señal viaja por un par de conductores en dos componentes de polaridad opuesta.

Medios guiados para señales no balanceadas.

El cable para señales no balanceadas por excelencia es el coaxial, en el cual la señal se conduce por el conductor del centro y se utiliza el conductor perimetral como referencia a tierra. El cable coaxial es el conductor para redes más antiguo, las redes pioneras lo utilizaron por ser en aquellos tiempos el único medio que ofrecía el mayor ancho de banda y la mejor inmunidad al ruido, lo que lo hizo favorito en las telecomunicaciones. Hay muchos tipos de cable coaxial y se pueden clasificar por su uso, su impedancia nominal o por su número de conductores:

Clasificación	Uso	<ul style="list-style-type: none"> De banda ancha ó De banda base. Convencionales, Alimentadores ó Radiantes.
	Impedancia	<ul style="list-style-type: none"> 50 Ω, 75 Ω, 93 Ω ó 150 Ω.
	Número de conductores	<ul style="list-style-type: none"> Monoaxial, Twinaxial ó Triaxial.

Partes de un cable coaxial.- En un cable coaxial se distinguen los siguientes elementos en su estructura:

- **Conductor central.-** Generalmente es de cobre, pero también se le puede encontrar de estaño, es la guía principal por donde fluye la señal en uno o ambos sentidos. Es sólido en cables rígidos y semirígidos ó multifilar en los cables dóciles. También llamado conductor axial.
- **Dieléctrico.-** Esta construido a partir de polímeros porosos o semiporosos y forma un cilindro entorno al *conductor central*, como su nombre lo indica, no es conductivo y su función es mantener el equilibrio capacitivo del cable en su conjunto.
- **Pantalla.-** Una pantalla esta formada por un papel aluminio/estaño o plástico metalizado que envuelve al *dialéctico* y en el cual se reflejan y expelen los campos magnéticos y frentes de onda, impidiendo que lleguen al *conductor central*. Es un elemento que solo los cables de buena calidad lo tienen y viene a reforzar la Jaula de Faraday formada por la malla.
- **Malla.-** Es un elemento clásico en todo coaxial y esta formada por una trama de hilos de cobre o estaño que envuelve a la pantalla o dialéctico. Su función es absorber la energía electromagnética de las señales y ruido externos drenándola a tierra.
- **Manga o cubierta exterior.-** Es el recubrimiento exterior que protege a toda la unidad.

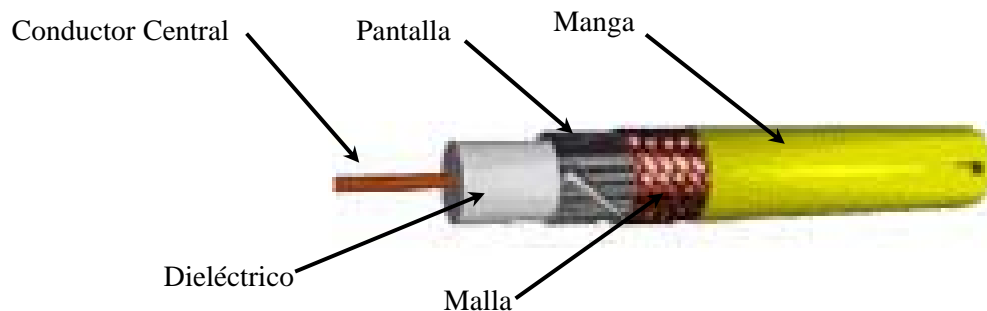


Fig. 3.2 Partes del Cable Coaxial.

Conectores para cables coaxiales.- Existen en el mercado una amplia variedad de conectores para axiales, formando líneas de conectores que incluyen jacks (hembras), plugs (machos), terminadores⁴, *tes*⁵, adaptadores, etc.

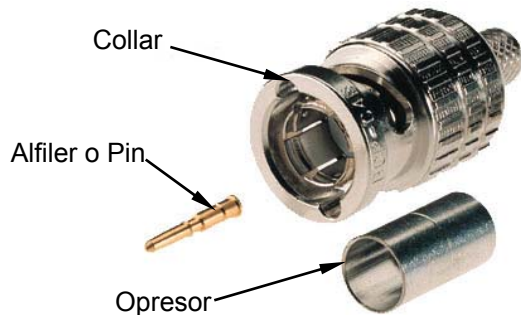


Fig. 3.3 Partes del un conector para cable coaxial.

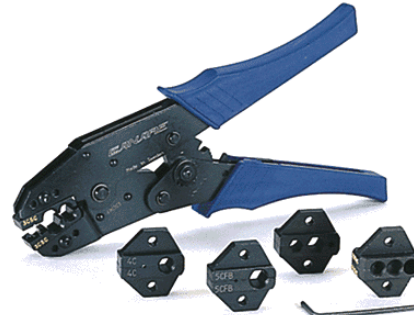


Fig. 3.4 Herramienta para crimpado.

Partes de un conector axial.- Fácilmente se pueden distinguir tres partes en cualquier conector para coaxial:

- El Alfiler.- Es la continuación del conductor central del cable.
- El Collar.- Es propiamente el cuerpo del conector y da continuidad a la pantallas y/o la malla.
- El Opresor.- Es el cilindro que asegura las pantallas y/o mallas al collar, garantizando la continuidad eléctrica.

Formas de acoplamiento de los conectores axiales.- El acoplamiento de conectores es la forma cómo el plug ensambla con el jack y ambos se mantienen sujetos entre si. Hay tres diferentes formas de acoplamiento en los conectores axiales:

- Por bayoneta.- En este caso el jack o hembra tiene dos guías que embonan en el plug durante el acoplamiento y sirven para mantener firme el contacto.
- Por enroscadura.- En este caso el jack tiene una rosca en la cual gira la cuerda del plug durante el acoplamiento, manteniendo así el contacto.
- Por deslizamiento.- El plug entra con presión calculada al jack, sosteniendo el contacto de esta forma.



Fig. 3.5 Cable Twinaxial.



Fig. 3.6 Cable Alimentador.

⁴ En todas las aplicaciones de coaxial instalado en “bus”, es necesario poner terminadores en ambos extremos.

⁵ Una *te* es un conector triple con forma de la letra T, de ahí su nombre.

Métodos de terminación de un conector coaxial.- Hay tres formas básicas de terminar o instalar un conector en cable coaxial:

Enroscamiento.- Consiste en torcer el alfiler y/o el collar contra el cable en forma forzada lo cual permite que se mantengan unidos; esta técnica solo es recomendable para instalaciones provisionales y en reparaciones urgentes.

Soldadura.- En este caso se utiliza soldadura de estaño entre las partes, lo cual le da una firmeza superior a la instalación; por lo laborioso y complicado esta técnica es poco usada.

*Crimpado*⁶.- Utilizando una herramienta especial el alfiler y el collar se sujetan con el cable; siendo esta la técnica mas moderna, limpia y sencilla.

Familias de conectores para cables coaxiales.- Una familia de conectores esta compuesta una gama de terminales con las mismas medidas y sistema de acoplamiento, donde se encuentran machos y hembras con diferentes acomodos para cada aplicación. Algunas de las principales familias de conectores coaxiales son BNC, TNC, N, F, Twinaxial, UHF, N, SMA, SMB, etc.

Sin embargo solo los cinco primeros tienen aplicación en sistemas teleinformáticos, por ejemplo el conector tipo BNC se emplea para redes 10base2 y Arcnet, los tipos TNC y N para redes 10Bbase5, el tipo F en redes de televisión e Internet por cable mientras que el tipo Twinaxial para sistemas de redes IBM y WANG.



Fig. 3.8 Conector tipo N.



Fig. 3.7 Conector tipo BNC



Fig. 3.9 Conector tipo Twinaxial.

⁶ El termino “crimpado” es un barbarismo derivado del vocablo ingles *crimp* de difícil traducción al español.

Medios guiados para señales balanceadas.

Los medios utilizados para transmitir *señales balanceadas* en redes locales son cables de par trenzado en sus diferentes presentaciones. El par trenzado surge como el perfeccionamiento y la adaptación del cable telefónico para ser utilizado en transmisiones de mayor demanda, Es hasta mediados de los 80's cuando se le empieza a dar uso en redes locales con buenos resultados.

Partes del cable de par trenzado.- Las partes de este tipo de cables son:

- *Par conductor.-* Esta formado por dos conductores aislados y torcidos entre si, de ahí su nombre de par trenzado. Hay dos variantes, una son los pares sólidos y la otra son los pares multifilares, en la primera cada conductor del par esta formado por un solo hilo de cobre (o estaño) mientras que en la segunda cada conductor esta formado por siete hilos de cobre (o estaño); los primeros forman cables relativamente rígidos y los segundos se utilizan cuando se necesitan cables mas flexibles.
- *Pantalla.-* Similar en construcción y funciones que para un cable coaxial.
- *Malla.-* Similar en construcción y funciones que para un cable coaxial.
- *Manga o cubierta exterior.-* Es el recubrimiento final igual que todo cable.

Los cables de par trenzado de uso común en redes locales son:

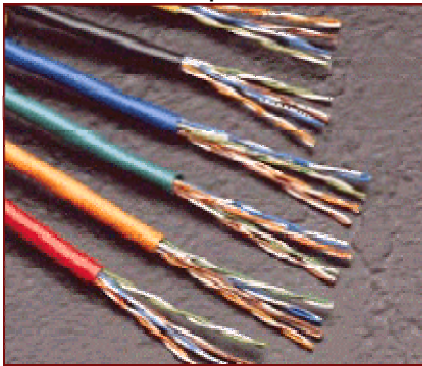


Fig. 3.10 Cable UTP.

Cable UTP (Unshielded Twisted Pair).- Constituido en su forma básica por ocho conductores sólidos (unifilares) de cobre calibre 24 AWG, cada conductor cubierto con su propio aislante y torcido helicoidalmente con otro para formar un par, reuniendo los cuatro pares en una manga exterior. El UTP en México debe tener una impedancia nominal de 100Ohms. Sus variantes son el *cable patch* y el *cable múltipar*, en el cable patch los conductores no son sólidos, sino que están formados por 7 hilos calibre 32AWG en forma multifilar y pueden ser de cobre o estaño; los múltipares, por su parte, son aquellos cables que reúnen mas de cuatro pares UTP, siendo 25, 50, 100

o hasta 500 pares en una sola manga. Los primeros sirven para administración y conexiones y los otros para el cableado de dorsales. El UTP es el mas utilizado hoy en día en redes de cómputo, ya que gracias a los sistemas de cableado estructurado cualquier tipo de red corre sobre el.

Para identificar cada par en un cable de varios, se utiliza un código basado en la combinación de 5 colores principales y cinco asociados para distinguir cada conductor: blanco, rojo, negro, amarillo, violeta y azul, naranja, verde, café, gris. La nomenclatura es como sigue:

- El primer conjunto (de cinco pares) es del blanco: **Par 1** Blanco-Azul, **Par 2** Blanco-Naranja, **Par 3** Blanco-Verde, **Par 4** Blanco-Café y **Par 5** Blanco-Gris.
- El segundo conjunto es del Rojo: **Par 6** Rojo-Azul, **Par 7** Rojo-Naranja, **Par 8** Rojo-Verde, etc., etc.
- Cuando se agotan los cinco conjuntos principales (Blanco, Rojo, Negro, Amarillo y Violeta) con sus respectivos asociados; se agrupan en 25 pares, donde el primer mazo se encinta de Blanco y Azul, el siguiente mazo de Blanco y Naranja, etc.

Cable STP (Shielded Twisted Pair).- Esta formado por cuatro conductores sólidos (unifilares) de cobre calibre 22AWG, cada conductor es cubierto por con propio aislante y torcido helicoidalmente con otro para formar un par, cada uno de los dos pares esta cubierto con su propia pantalla y ambos están torcidos entre si, siendo envueltos por una malla de estaño; finalmente es cubierto por una manga exterior de color negro. Tiene una Impedancia nominal de 150Ohms. Este tipo de cable fue diseñado por IBM y tiene aplicación en las redes TokenRing de la misma compañía. En el STP original se utilizan cuatro colores para distinguir cada conductor de un cable: verde y rojo, negro y amarillo; aunque en algunos países de Europa se acostumbra fabricar STP de cuatro pares con los colores iguales al UTP.



Fig. 3.11 Cable STP.

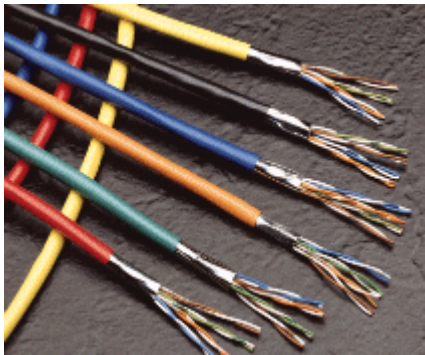


Fig. 3.12 Cable FTP.

Cable FTP (Foiled Twisted Pair).- O también llamado ScTP, por dentro es exactamente igual que el UTP pero tiene la variante de que una pantalla de aluminio o estaño o papel metalizado cubre los cuatro pares juntos antes de la manga. El FTP es muy utilizado en Europa y tiene muy poca aceptación en América, particularmente en México. Su impedancia nominal es también de 100Ohms. Es un excelente cable utilizado para sistemas de cableado estructurado, sin embargo su alto precio y las dificultades para su instalación no lo han dejado ser popular. Es común que la gente cometa el error de confundir el STP con el FTP.

Hoy existe una fuerte preferencia por las redes con par trenzado reemplazando los coaxiales, entre otras cosas debido a la confiabilidad, facilidad de instalación y precio; hoy en día, mediante los sistemas de cableado estructurado, cualquier tipo de red puede correr sobre par trenzado mediante el uso de los *baluns* adecuados.

Medios guiados para señales compuestas y seriales.

Existen también los cables multiconductores, que aun cuando no llevan señales balanceadas y generalmente su aplicación es entre terminales y periféricos, es importante considerarlos en este espacio. Estos cables están formados por determinados números impares de conductores que van desde tres hasta cincuenta y uno, siempre multifilares protegidos por pantallas y mallas. Tienen su aplicación en "cables AUI", cables para periféricos, etc., y carecen de una impedancia nominal.



Fig. 3.13 Cable Multiconductor.

Conectores para par trenzado y multiconductores⁷. - La variedad de conectores para estos tipos de cables es extensa, pero se puede decir que los cables UTP y FTP utilizan Conectores Modulares, los cables STP usan Conectores Tipo A, mientras que los cables multiconductor pueden utilizar conectores tipo DB9, DB15, DB25, Telco, Centronics o USB. Obviamente cada uno de estos tipos de conectores representan una línea completa con machos (plugs), hembras (jacks), adaptadores, acopladores, etc.

Partes del conector para par trenzado y multiconductores.- Se pueden distinguir al menos tres partes en cualquier conector para cables de estos tipos:

- *Contactos.*- Es la continuación de cada conductor, un conector tiene tantos contactos como conductores tenga su cable; también llamados pines o alfileres.
- *Cuerpo del conector.*- Es la coraza en partes o moldeada en una sola pieza, que tiene los contactos y recibe el cable.
- *Liberador de esfuerzo o boots.*- Es un elemento plástico que sostiene el cable por su manga antes de entrar al conector, evitando así que se salga o que se resienta el punto de unión entre conductor-contacto.

La forma en que el contacto y el conductor se unen y mantienen la continuidad eléctrica se conoce *forma de contacto*, y hay tres tipos de hacerlo:

- Contacto por desplazamiento de aislamiento (IDC).- En este caso cada *contacto* metálico tiene en su parte posterior una guía filosa que se “encaja” en el conductor mediante la aplicación de una fuerza; al hacer esto, el aislante se rasga y es desplazado, quedando en unión física y eléctrica el contacto y el conductor. Este es el sistema utilizado en los conectores modulares.
- Contacto por soldadura.- En este cada conductor es soldado a la parte posterior de cada contacto, esta forma de unión se utiliza en conectores para cables multiconductores.
- Contacto por crimpado.- Cada conductor es fijado a su respectivo contacto por presión mecánica, el crimpado es muy utilizado en conectores para multiconductor.

Familias de conectores para cables par trenzado y multiconductores.- Los tipos o familias mas importantes son las siguientes:

- Para cable UTP.- El conector *Modular de 8hilos/8posiciones* utilizado en sistemas de cableado estructurado, las redes 10BASET utilizan un conector *Modular de 8hilos/4posiciones* comúnmente llamado RJ45, la red telefónica utiliza un conector *Modular de 4hilos/2posiciones* también llamado RJ11.
- Para cable FTP.- Tipo Modular Blindado, que es parecido al *Modular de 8hilos/8posiciones* pero tiene una delgada lamina de aluminio o estaño formando una jaula de Faraday en torno al conector y dando continuidad a la pantalla del cable.
- Para cable STP.- El conector *Tipo A* ó hermafrodita, también conocido como *conector universal de datos*, utilizado en las redes de computo propietarias de IBM.

⁷ Webs recomendados:

www.amp.com



Fig. 3.14 Plug Modular 8P/ 8H.

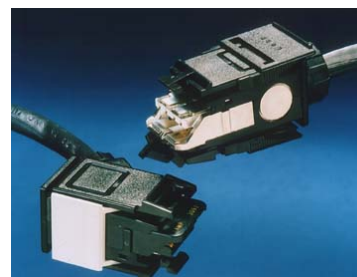


Fig. 3.15 Conector Tipo A.

Para cable Multiconductor.- Los conectores tipo DB ó Subminiatura, en versión 9 pines, 15 pines y 25 pines; utilizados con cables multiconductores en redes de computo (el DB9 en Token Ring y el DB15 en Ethernet) así como para la interconexión de sistemas seriales y paralelos (DB15 y DB25). También para este tipo de cables se emplean los conectores Tipo Centronic usado en cables de impresora y en interfases SCSI clase 1, o el conector Tipo USB (*Universal Serial Bus*) para interfases del mismo nombre.



Fig. 3.16 Cable SCSI con conectores CENTRONIC.



Fig. 3.17 Conector DB25 y cable multiconductor.



Fig. 3.18 Cordon de conectores USB.

Parámetros de transmisión para las señales eléctricas.

Los parámetros que se deben considerar en los conductores para teleinformática son:

La atenuación.- Todas las señales electromagnéticas pierden fuerza conforme se propagan por un medio. Esta pérdida de poder debido a la distancia se llama Atenuación o Pérdida por Atenuación. Las dos principales causas de Atenuación son el "efecto corteza" y la atenuación por absorción del dieléctrico.

La impedancia: La Impedancia es una medida en Ohms Ω de la oposición al flujo de corriente en un cable, es una oposición dinámica que incluye los efectos de la resistencia, la inductancia y la capacitancia con respecto a una frecuencia particular.

La pérdida estructural de retorno: La Pérdida Estructural de Retorno (SRL) es una medida de la uniformidad de Impedancia en el cable, ya que los cables no están perfectamente uniformes en su construcción y estas variaciones causan pequeños cambios en la Impedancia del cable, cada cambio en la Impedancia contribuye en la atenuación de la señal.

La capacitancia: La Capacitancia es una medida de la cantidad total de carga almacenada entre dos componentes eléctricos, los valores altos de capacitancia tienen un efecto destructor en las señales de comunicación, especialmente en altas frecuencias. El exceso de capacitancia tiende a falsear las señales y limita el ancho de banda de los enlaces de comunicaciones.

Medios guiados para señales ópticas⁸.

Cuando se habla de medios guiados para señales ópticas, forzosamente nos estamos refiriendo a la fibra óptica. Una señal óptica es una señal ubicada dentro del espectro de frecuencias consideradas como luz.

Una fibra óptica es un conductor de señales luminosas, donde dichas señales se desplazan regidas por las Leyes de la Óptica.

Las comunicaciones por fibra óptica tienen muchas ventajas sobre los otros medios:

- a) Son totalmente inmunes a las interferencias electromagnéticas, lo que no sucede con el cobre y radio.
- b) Son el sistema de comunicaciones mas difícil de intervenir, prácticamente imposible comparado con el radio y el cobre.
- c) Bajo costo de operación, comparado con radio y cobre.
- d) Un cable de fibra proporciona más canales en un cable menor y de menor costo.
- e) Es el sistema que presenta mayor ancho de banda por canal.

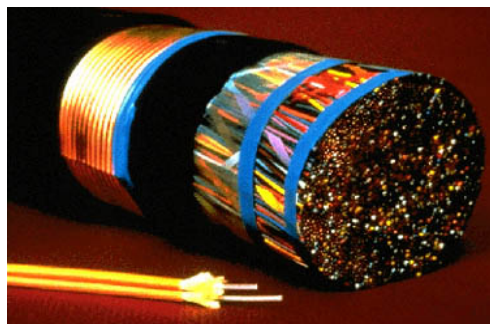


Fig. 3.19 Cable de cobre vs Cable de fibra óptica.

⁸ Webs recomendados: www.corningfiber.com

Partes de una fibra óptica.- Inicialmente las fibras ópticas se fabricaban de plástico, pero a medida que se fueron depurando las técnicas para obtener vidrios de silicio de características adecuadas, se fue desplazando la manufactura en plástico para ser ahora casi totalmente en vidrio. Una fibra óptica consta de las siguientes partes:

- **Núcleo.**- El *core* es el centro por el cual se desplazan los rayos de luz en forma cautiva, esta construido en vidrio de alta pureza con índices de refracción del orden de 1.48 y dependiendo el tipo de la fibra puede tener un diámetros de 8.3µm, 9.5µm, 10µm, 50µm, 62.5µm o 100µm.
- **Revestimiento.**- El *cladding* es la capa de vidrio que envuelve axialmente al núcleo y que gracias a su índice de refracción ligeramente menor (1.46) impide que la luz que viaja por el núcleo salga de él. Forma un solo cuerpo con el núcleo de modo que es imposible separar ambos. Puede tener dos diferentes diámetros: 125µm y 140µm, dependiendo el tipo de fibra o fabricante del que se trate.
- **Recubrimiento.**- El *coating* es una cubierta de resina (acrilato) ó algún tipo de PVC y que sirve para proteger al revestimiento. Las medidas comerciales que tiene son tres, 250µm, 500µm y 900µm.

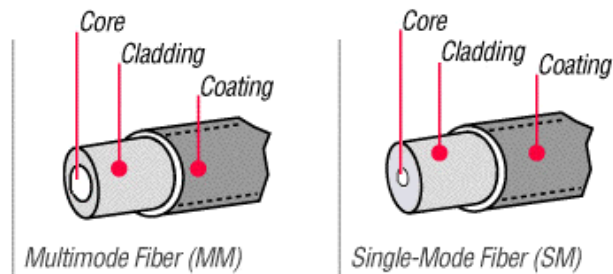


Fig. 3.20 Partes de la fibra óptica.

Tipos de fibra óptica⁹.- En el mercado hay una variedad de fibras ópticas para diferentes necesidades, y dependiendo la combinación de diámetros núcleo-recubrimiento-revestimiento que tenga, será la aplicación para la cual sea la indicada. Una fibra óptica se puede describir por sus diámetros, por ejemplo: 62.5/125/250 lo cual indica que es una fibra con núcleo de 62.5µm, revestimiento de 125µm y 250µm de recubrimiento.

Podemos agrupar las fibras ópticas en dos tipos:

Fibra óptica Multimodo.- (*multimode*) Es la fibra en la cual gracias a su construcción y diámetro de núcleo, los rayos de luz pueden viajar a través de ella por muchas vías o formas. Los diámetros de esta fibra pueden ser de 50µm, 62.5µm o 100µm para el núcleo; 125µm o 140µm para el revestimiento; y 250µm ó 900µm para el recubrimiento. Las fibras ópticas Multimodo mas utilizadas para redes locales son las de 62.5µm/125µm. Este tipo de fibras se utilizan para conexiones donde la distancia no es mayor a los 2Km.

Fibra óptica Monomodo.- (*singlemode*) En este tipo de fibra, la luz solo puede viajar en una sola forma, o sea paralelo al eje del núcleo. Los diámetros de esta fibra pueden ser de 8.3µm, 9.5µm ó 10µm para el núcleo; 125µm o 140µm para el revestimiento; y 250µm ó 900µm para el recubrimiento. Este tipo de fibras se utilizan para conexiones donde la distancia es mayor a los 2Km.

⁹ NOTAS:

Un micrómetro (µm) es la millonésima parte de un metro.

Principios de operación de la fibra óptica.- Las transmisiones a través de las fibras ópticas están regidas por las leyes de la óptica, siendo las mas importantes de ellas:

- *Principio de la reflexión interna total.-* Se lleva a cabo en el núcleo y consiste en que un rayo de luz se refleja consecutivamente en la interfase creada por el núcleo y el recubrimiento, provocando que la luz se mantenga en él durante todo el trayecto.
- *Índice de refracción.-* Es una relación comparativa de que tan rápido viaja la luz en un medio con relación a como lo hace en el vacío.
- *Angulo critico.-* Es la inclinación máxima, con respecto al eje, con la que un haz de luz puede entrar al núcleo sin riesgo de que se refracte en vez de reflejarse; solo el haz que entre al núcleo con el ángulo adecuado podrá viajar a través de la fibra gracias a la reflexión interna.
- *Apertura numérica (NA)* es el término industrial que se maneja para definir el ángulo critico de cada fibra y se obtiene del seno del cono generado por dicho ángulo.

Índices de Conducción.- Existen dos tipos diferentes de fibras multimodo, ya que dependiendo su construcción hay dos formas diferentes de conducir la luz, las fibras de **ÍNDICE ESCALONADO** llevan la luz mediante rebotes discretos haciendo zigzag; las fibras de **ÍNDICE GRADUADO** conducen la luz mediante rebotes secuenciales haciendo curvas suaves, este sistema es el mas utilizado. La fibra óptica monómodo carece de índice de conducción, ya que solo conduce en una forma.

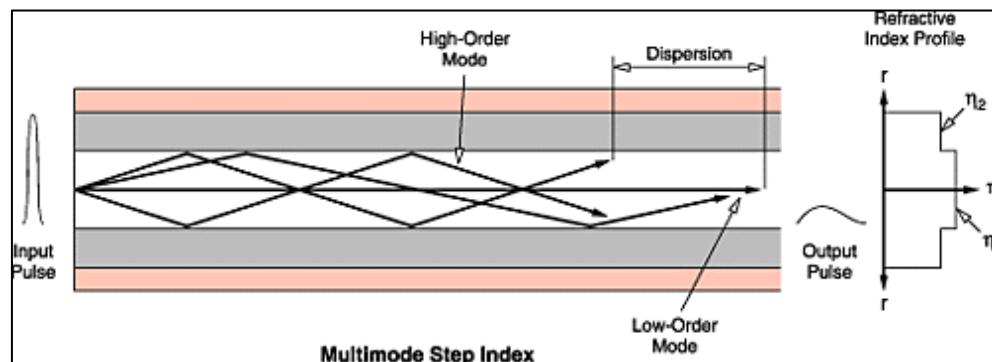


Fig. 3.21 Conducción de un pulso por una fibra de índice escalonado, la dispersión asociada y el perfil de su índice.

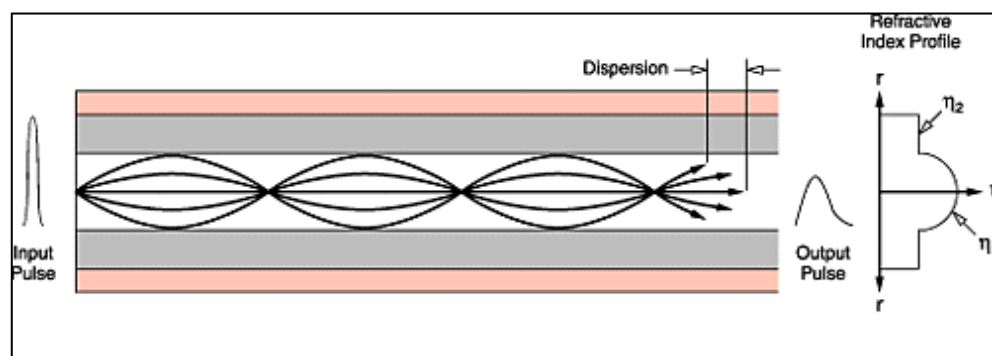


Fig. 3.22 Conducción de un pulso por una fibra de índice graduado, la dispersión asociada y el perfil de su índice.



Fig. 3.23 Conducción de un pulso por una fibra Monómodo y el perfil de su índice.

Conectores para fibra óptica.- Existen múltiples tipos de conectores para fibra óptica, desde los mas comunes hasta los mas especializados. Generalmente cada campo de aplicación utiliza cierto tipo de ellos.

La fibra óptica utiliza un canal (una fibra) para transmitir y otro canal para recibir; por ello es que los cables de fibra óptica vienen por pares de *unidades básicas de conducción*, igualmente hay algunos conectores que manejan las dos fibras en una misma pieza.

Familias de conectores para fibra óptica.- Algunos de estos tipos de conectores utilizados para sistemas de teleinformática son los siguientes:

- Tipo ESCON.- Utilizado en las redes SONET de las compañías telefónicas de Estados Unidos para interconectar las centrales de interurbanas, un ESCON conector maneja dos fibras ópticas en una misma pieza. Tiene acoplamiento por deslizamiento con seguro lateral doble.
- Tipo ST.- Utilizado en equipos para redes de computo y de telecomunicaciones. Conecta una sola fibra óptica en cada conector, su acoplamiento es por bayoneta igual que el conector BNC para coaxial. Es el conector característico de 10BASEF.
- Tipo FSD.- De uso exclusivo en redes FDDI, de ahí que también sea conocido como conector FDDI, la primer red de computo por fibra óptica. Conecta dos fibras en un mismo conector. Tiene acoplamiento por deslizamiento con seguro lateral doble.



Fig. 3.24 Conector ESCON.



Fig. 3.25 Conector ST.

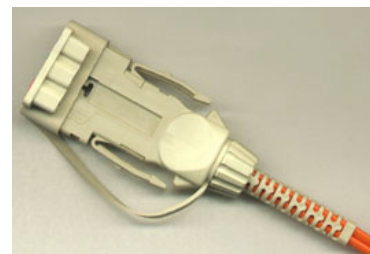


Fig. 3.26 Conector FDDI.

- Tipo SC.- Es utilizado en equipos para redes de computo de alta velocidad o banda ancha sobre fibra óptica. Maneja una fibra por conector y tiene acoplamiento por deslizamiento. Las redes 100BASEFX lo utilizan.
- Tipo APC-SC.- Conector de **Pulido Angular SC**, empleado por las redes HFC de la televisión por cable. Es similar al SC pero su férula tiene un ángulo de 8° lo que le permite el acoplamiento con una atenuación reducida, necesaria para transmisiones de banda ancha (luz modulada).
- Tipo FC.- Es un conector para una fibra y se acopla por enroscamiento; utilizado en equipos modem, robótica, control, seguridad, video y audio.
- Tipo MT-RJ.- Es un conector para dos fibras acopladas por deslizamiento en equipos *de gran densidad*, diseñado para redes de alta velocidad con un mínimo de pérdidas por acoplamiento. Utiliza un seguro superior similar al conector RJ45. Es empleado en switches 100BASEFX y 1000BASEFX.
- Tipo MU.- Conector de una fibra acoplada por deslizamiento, es un estándar japonés considerado de la nueva generación, donde el tamaño pequeño es la principal ventaja. Utilizado por carriers en equipos multiplexores de modulación de longitud de onda.



Fig. 3.27 Conector SC.



Fig. 3.28 Conector APC-SC.



Fig. 3.29 Conector FC.



Fig. 3.30 Conector MT-RJ.



Fig. 3.31 Conector MU.

Parámetros de transmisión para las señales ópticas.

Así como en señales eléctricas se utilizan parámetros tales como impedancia y capacitancia, en fibras ópticas se aplican los siguientes:

1. *Longitud de onda*.- Las diferentes componentes de la luz se miden por su longitud de onda, en el espectro visible, la longitud de onda de una luz determina su tonalidad o color. La unidad de medición es el nanómetro (nm) y equivale a 10^{-9} m.

Cualquier señal puede ser representada por su frecuencia o por su longitud de onda, ya que una corresponde a la otra; sin embargo se acostumbra utilizar la frecuencia cuando dicha señal es menor a 1×10^{14} Hertz, arriba de esta frecuencia se mide con su longitud de onda. Matemáticamente la *longitud de onda* (λ) de una señal es igual a la velocidad (v) de propagación de dicha señal a través del medio en cuestión dividido entre la frecuencia (f) de la misma ($\lambda = v/f$), y cuando esa señal es luz como en este caso:

$$\lambda = c/f$$

$$\text{Donde } c = 2.998 \times 10^8 \text{ m/s}$$

2. *Ventanas de aplicación*.- Una ventana está definida como un rango de longitudes de onda con las que mejor puede operar una fibra óptica en particular; existen en el espectro tres diferentes ventanas de aplicación:

- La ventana de 850nm que abarca desde 800nm a los 900nm. Los haces de luz en este rango tienen tonalidades rojas e infrarrojas y su potencia se considera como baja, la mayoría de los equipos de redes utilizan esta ventana. La fibra óptica Multimodo trabaja con esta ventana.
- La ventana de los 1,310nm que cubre desde los 1,250nm hasta los 1,350nm. Esta gama de luz es invisible y su potencia es alta, solo los equipos de redes de excelente calidad o para cubrir largas distancias utilizan esta ventana. Usualmente la fibra óptica Monómodo trabaja con esta ventana y opcionalmente la Multimodo.

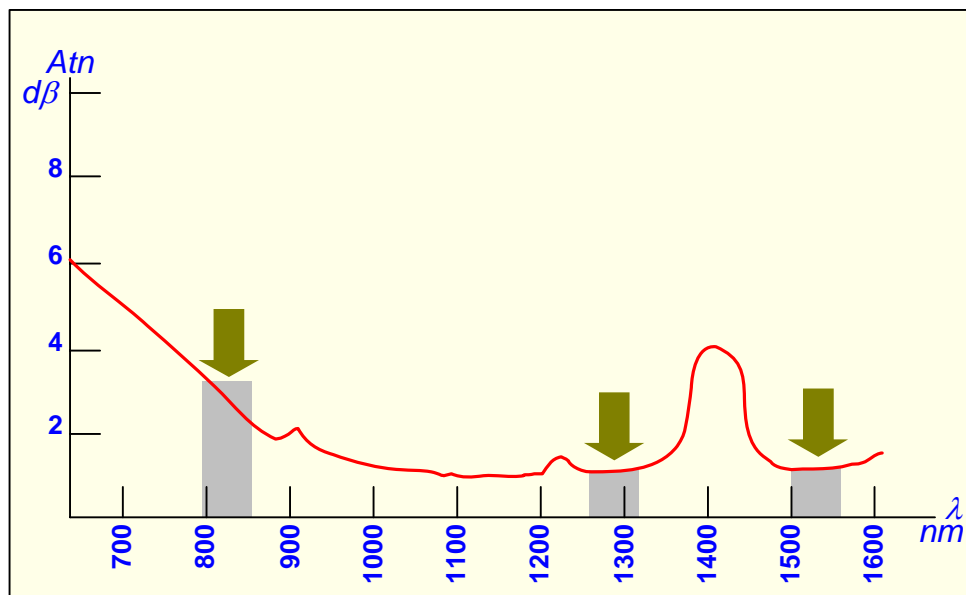


Fig. 3.32 Las tres ventanas utilizadas en la transmisión por fibra óptica.

- La ventana de los 1,550nm que va desde los 1,500nm hasta los 1,600nm. Propiamente son emisiones láser invisibles, su potencia se considera muy alta y sus aplicaciones comerciales se ven muy reducidas debido al alto costo de los equipos. Solo la fibra óptica Monómodo soporta esta ventana.

3. *Atenuación.*- La fibra óptica tiene impurezas microscópicas que forman obstáculos que impiden un adecuado desplazamiento de la luz ya que provocan una disminución en la potencia de la señal; a esto se conoce como atenuación y esta definida como una pérdida de potencia por unidad de longitud. Cada fabricante proporciona la *atenuación nominal* de su fibra, siendo este el mas importante indicador del desempeño de una fibra. Por ejemplo a los 1,310nm una fibra de buena calidad tendría una atenuación nominal de 1.5 dβKm mientras que otra de mala calidad pudiera tener 1.9 dβKm.

Se debe tener presente que una misma fibra óptica tiene diferente atenuación a distinta longitud de onda.

4. *Dispersión.*- Es el ensanchamiento que sufren los pulsos de una señal al viajar a través de una fibra, un ensanchamiento excesivo provoca que los pulsos se traslapen volviendo ininteligible la señal. La dispersión es la que define el ancho de banda de una fibra óptica.

5. *Ancho de banda.*- Esta definida como la capacidad de la fibra óptica para conducir una señal manteniendo sus pulsos de luz distinguibles por el receptor. El ancho de banda (BW) depende de la distancia y esta especificado en Mhz*Km. Una fibra Multimodo típica tiene un ancho de banda de 500MHz-Km a 1,310nm, mientras que una Monómodo ha alcanzado anchos de banda de hasta 2GHz-Km.

3.2 Medios No Guiados

Al referirnos a transmisiones a través de medios no guiados, estamos hablando de comunicaciones donde la señal se propaga libremente por el espacio, atmósfera y agua; y en tal caso la portadora viaja en forma de onda electromagnética ó luz.

Ondas electromagnéticas

La explotación y uso del espectro radioeléctrico ha tenido un gran desarrollo a partir de la Segunda Guerra Mundial, incorporándose su uso a la vida civil y con ello a la teleinformática. Algunas ondas de radio tienen como principal característica que son fáciles generar, pueden viajar largas distancias y penetran edificios fácilmente; otras, además, son omnidireccionales¹⁰, lo que significa que se dispersan en todas las direcciones desde su origen, esto permite que el Tx y RX no tengan que guardar línea de vista¹¹.

Las propiedades de ondas electromagnéticas dependen de la frecuencia, ya que por ejemplo, una señal a frecuencia baja atraviesa fácil los obstáculos sólidos, pero pierde mucha energía cuando se aleja de su antena emisora. Por otra parte, a frecuencias altas, las ondas tienden a viajar en líneas rectas y a rebotar en los obstáculos; también las señales de estas frecuencias son fácilmente absorbidas por la lluvia.

Todas las señales a cualquier frecuencia están sujetas a la interferencia de los motores y otros equipos eléctricos.

Enlaces de Microondas

Un enlace terrestre de microondas esta constituido por un sistema de dos canales en forma encontrada (Tx y Rx), cada canal con una frecuencia ligeramente diferente de la otra, de modo que la frecuencia Tx de uno coincida con la frecuencia Rx del otro y viceversa; estas frecuencias están en el rango de los 2.0 a 40.0 GHz. En un sistema de este tipo se concentra toda la energía de transmisión en una haz pequeño y mediante el uso de antenas parabólicas se optimiza la recepción de señales con una razón señal a ruido bastante alta permitiendo así la comunicación.

Un sistema de microondas requiere que ambas antenas estén alineadas con gran exactitud entre si y una línea de vista libre, ya que a diferencia de las ondas de bajas frecuencias, las microondas no atraviesan ningún obstáculo. Por esta razón es que dichas antenas se instalan en lugares altos como edificios o torres de telecomunicaciones; mientras mas alto se situé una antena mayor será su alcance.

Mediante enlaces encadenados se pueden cubrir grandes distancias, a este conjunto de sistemas entrelazados se les conoce como *red de microondas*. Una *red de microondas* esta compuesta de torres transmisoras instaladas en línea de vista sobre puntos elevados a distancias entre 30 y 65 kilómetros; es normal que en una sola torre se instalen varias antenas pertenecientes a distintos enlaces.

¹⁰ Una emisión **omnidireccional** es aquella en la cual la señal electromagnética se dispersa en la atmósfera irradiándose en todos sentidos, contrariamente a como lo hace una emisión **direccional** que concentra la potencia de su emisión en una sola dirección cubriendo una porción del espacio llamada *lóbulo de emisión*.

¹¹ En telecomunicaciones se dice que existe **línea de vista** entre dos puntos cuando es posible establecer contacto visual entre ellos, sin obstáculo intermedio de cualquier tipo.

Durante mucho tiempo México basó su capacidad de telecomunicaciones en una red de este tipo llamada *Red Federal de Microondas*, utilizando la banda de 2.0GHz a 6.0GHz para telefonía, telegrafía y televisión. La banda de los 21.0 a los 23.8GHz se emplea para uso privado en forma controlada por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes mediante licencias para enlaces sencillos, de modo que compañías y particulares pueden explotar dicho espectro previa licitación y pago anual por los derechos de uso. Los modernos sistemas de microondas permiten velocidades de hasta 500Mbps con señalización analógica y hasta 100Mbps en digital

Enlaces Satelitales¹²

Un satélite es en realidad una antena repetidora de microondas ubicada a gran altura, a mayor altura mayor alcance y esto se logra colocándola en órbita terrestre. Un satélite de comunicaciones está formado por varios subsistemas que le permiten al subsistema de comunicaciones operar; el cual a su vez se compone de uno o más dispositivos receptores-transmisores llamados transponders.

Cada transponder funciona como un repetidor con dos frecuencias de operación, recibe la señal desde la Tierra en una frecuencia (*frecuencia uplink*), la modula en una frecuencia diferente (*frecuencia downlink*), la amplifica y después la retransmite; ambas frecuencias son ligeramente diferentes para evitar interferencias entre ambas señales. Los enlaces satelitales son mucho más lentos que los enlaces de microondas, los retardos son muy altos (típicamente 270 milisegundos) comparados con los enlaces de microondas (3 μ seg/km) y los de coaxial (5 μ seg/km).



Fig. 3.33 Torre de telecomunicaciones para microondas.

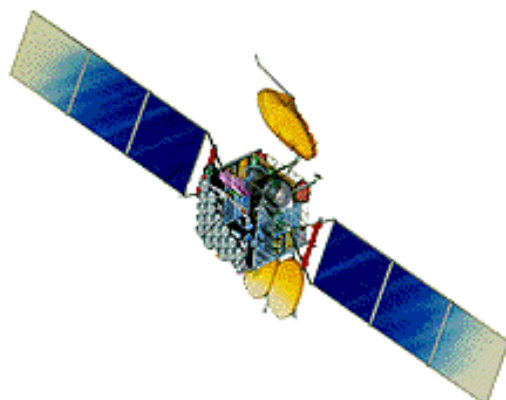


Fig. 3.34 Satélite Solidaridad.

¹² Webs recomendados:

www.hughespace.com

Bandas de frecuencia satelitales. - La ITU ha establecido estándares internacionales sobre el uso de las frecuencias, definiéndose la Banda SHF (Súper Altas Frecuencias) que a su vez se divide en las bandas C, X, Ku, Ka y V, donde la Banda X es de uso militar. El ancho de las bandas C, X y Ku es de 500MHz, los cuales se dividen en una docena de transponders con un ancho de banda individual de 36MHz, cada uno de ellos puede utilizarse para codificar un flujo de información de 50Mbps, equivalentes a un canal de televisión u 800 canales de voz digitalizada a 64Kbps. El ancho de la banda Ka es de 3,500MHz y el de la Banda V es de 3,000MHz.

TABLA 3.1 BANDAS, FRECUENCIAS Y USOS SATELITALES				
Banda		Uplink	Downlink	Servicio ¹³
C	6/4GHz	5.92-6.42GHz	3.70-4.20GHz	FSS
X	8/7GHz	7.90-8.40GHz	7.25-7.75GHz	militar
Ku	14/12GHz	14.0-14.5GHz	11.7-12.GHz	FSS
	17/12GHz	17.3-17.8GHz	12.2-12.7GHz	BSS
Ka	30/20GHz	27.5-31.0GHz	17.7-21.2GHz	FSS
V	50/40GHz	47.2-50.2GHz	39.5-42.5GHz	FSS

Tipos de Satélites.-Los satélites se clasifican según la distancia a la que se encuentran de la tierra y la velocidad de rotación que se les imprima; eso permite que tengan coberturas periódicas ó permanentes y locales, regionales ó globales. Los tipos de satélites de uso civil y comercial mas importantes son:

a) **Los satélites de órbita elíptica** (*high earth orbit, HEO*), fueron los primeros satélites diseñados especialmente para telecomunicaciones. Se desplazan a diferente velocidad de la tierra, se alejan y acercan a ella en diferentes momentos. Tardan 12 horas en completar una revolución y ofrecen mejores condiciones de uso cuando su altitud es de 40 mil kilómetros.

b) **Los satélites geoestacionarios** (*geosynchronous earth orbit, GEO*) se ubican sobre el ecuador a 36 mil kilómetros de la tierra y viajan a la misma velocidad del planeta (3,705m/s, de ahí su nombre de geosíncronos) ó geoestacionarios (ya que parecen estar estacionados o inmóviles) y completan su recorrido en 24 horas. Tienen una área de cobertura tal que proporciona una huella de hasta de una tercera parte de la tierra, bastan tres satélites de este tipo colocados adecuadamente para cubrir casi toda la tierra.

¹³ FSS.- Servicio Fijo por Satélite
BSS.- Servicio de Radiodifusión por Satélite.
MSS.- Servicio Móvil por Satélite.

Son los más utilizados para transmisión de datos, señales de televisión y telefonía de larga distancia. La órbita geoestacionaria es la más congestionada ya que en ella están colocados además de los satélites para comunicaciones otros de aplicaciones diversas como meteorológicos, experimentales y militares.

c) **Los satélites de órbita terrestre baja** (*low earth orbit, LEO*). Los LEO se ubican a una altitud entre 900 y 1300 kilómetros y son no geoestacionarios, ya que registran una velocidad distinta a la de rotación de la tierra. Su área de cobertura terrestre es de un radio promedio de 5,500 kilómetros, por lo que tienen que colocarse muchos satélites con trayectorias diferentes para brindar cobertura local, regional y mundial. Los sistemas de comunicación mediante satélites de órbita baja utilizan antenas y quipos de tamaño reducido, lo que les permite ser utilizados en sistemas portátiles y móviles.



Fig. 3.34 Órbitas satelitales de uso civil y comercial.

Redes inalámbricas¹⁴.

En la banda de las microondas también operan las *wireless*, que son redes de computo “sin alambres” o inalámbricas. Las wireless hasta escritorio permanecieron hasta cierto punto sin mercado ni futuro hasta 1996 en que se liberó una norma que permitía la compatibilidad de equipos en una misma red, tal como ocurre con las redes convencionales. Dicha norma fue la IEEE 802.11 y en ella se definen todas las características y funcionamiento de este tipo de redes, semejante a la popular Ethernet pero que utiliza como medio el aire, frecuencias en el rango de los 2.4GHz y velocidades de hasta 11Mbps.



Fig. 3.35 Equipos wireless.

Este tipo de sistemas se está volviendo muy importante en el mercado de la teleinformática, por una parte gracias a la existencia de una norma que sirve como patrón a todos los fabricantes dando certeza de compatibilidad a los usuarios y por otro lado el abaratamiento de las computadoras portátiles¹⁵.

Los sistemas wireless se utilizan como **puntos de acceso** o como **punto remoto**; en algunos modelos solo basta cambiar la antena para que opere de una u otra forma.

¹⁴ Webs recomendados: www.wlana.com

¹⁵ Refiérase al apartado 1.9 *El Espectro de frecuencias* del Módulo 1 de este curso.

Sistemas de transmisión inalámbrica con señales ópticas¹⁶

Existen dos técnicas de transmisión óptica factibles de ser utilizadas en teleinformática, los rayos infrarrojos y rayos láser.

Infrarrojos.- Las emisiones infrarrojas son invisibles para el ojo humano ya que se encuentran abajo del espectro de la luz visible, en el orden de los 1,400 a 1,000 nanómetros; es la misma λ que se utiliza en los controles remotos de los televisores y tienen distancias muy limitadas ya que transmiten a baja potencia.

A finales de los 1980's y principios de los 90's aparecieron en el mercado dos aplicaciones de esta tecnología para computo, se trataba de las versiones inalámbricas para LocalTalk y TokenRing (llamadas PHOTOLINK e INFRALAN, respectivamente) las cuales requerían estricta línea de vista y distancias menores de 25m entre los equipos; sin embargo en su momento no tuvieron la aceptación esperada por sus fabricantes.

Actualmente la *Infrared Data Association (IrDA)*¹⁷ impulsa el desarrollo de nuevas aplicaciones mediante sistemas relativamente direccionales, baratos y fáciles de construir; explotando precisamente el inconveniente de que los rayos IR no atraviesan objetos sólidos, ya que este hecho también es una ventaja puesto que un sistema IR en una oficina no interferirá con un sistema similar en otra oficina adyacente. Además, en términos de seguridad resulta imposible que un sistema IR sea captado fuera de la oficina donde esta funcionando, cosa que no sucede con los sistemas de radio, estas propiedades le han dado a los sistemas IR un uso interesante para LANs inalámbricas interiores.



Fig. 3.36 Sistema Clarinet EthIR LAN.

¹⁶ Refiérase al apartado 1.9 *El Espectro de frecuencias* del Módulo 1 de este curso.

¹⁷ Webs recomendados: <http://www.irda.org/>

Láser.- Son emisiones de luz con potencia concentrada que tienen un excelente ancho de banda y pueden manejar altas velocidades, se utilizan en enlaces inalámbricos bajo una tecnología conocida como OFS (*“Optics Free Space”*), la cual necesita una línea de vista precisa ya que son muy vulnerables a la lluvia y al smog, por lo cual su uso es muy reducido. Pueden alcanzar distancias de hasta 2km y tasas de transmisión de 1.25Gbps; su precio es relativamente elevado y recién fueron homologados en México.



Fig. 3.37 Equipo OFS.

Bibliografía:

Lan Design Manual. Vol. II.
BICSI., U.S.A., 1997.

Technician's Guide to Fiber Optics. 2nd Edition.
Sterling, Donald J. Jr.
Delmar Publisher Inc. U.S.A., 1993.

Introducción a la Ingeniería de la Fibra Óptica
Rubio Martínez, Baltasar.
Addyson-Wesley Iberoamericana; U.S.A., 1994.

Cabling The Complete Guide Network Wiring. 2nd Edition.
Groth, David/ McBee, Jim. & Barnett, David.
SYBEX; U.S.A. 2001.

Network Cabling Design for LAN, Building and Campus Applications
Siecor, USA. 1996.
Documentos de Curso.

Telecommunications Cabling Installation
BICSI
McGraw Hill. U.S.A. 2001.

Comunicaciones por satélite
Neri Vela, Rodolfo.
Thomson. Mexico, 2003.

Y los **catálogo de producto** de las siguientes marcas registradas:

3M, Communication Products. USA. 2001.
AMP, NetConnect. USA. 2001.
Amphenol RF. USA. 2000.
Anixter, USA. 1999.
Anixter, Communications Products. USA. 2001.
Belden, Lan Cables. USA. 2000.
Belden, USA. 2001.
Conductores Monterrey, Cables de Telecomunicaciones. México. 2000.
Conductores Monterrey, Cables Coaxiales. México. 2000.
Conductores Monterrey, Cables de Fibra Óptica. México. 2000.
Conductores Monterrey, Cables de Telecomunicaciones. México. 2002.
Conductores Monterrey, Cables Coaxiales. México. 2002.
Conductores Monterrey, Cables de Fibra Óptica. México. 2002.
OpticalCable. USA. 2001.
Panduit. Network Connectivity Systems. USA. 2001.