

CABLES

INTRODUCCIÓN

- Los medios de transmisión, utilizados para transportar información, se pueden clasificar como guiados y no guiados. Los medios guiados proporcionan un camino físico a través del cual la señal se propaga; entre otros cabe citar al **par trenzado, al cable coaxial y la fibra óptica**. Los medios no guiados utilizan una antena para transmitir a través del aire, el vacío o el agua.
- Tradicionalmente, el par trenzado ha sido el medio por excelencia utilizado en las comunicaciones de cualquier tipo. Con el cable coaxial se pueden obtener mayores velocidades de transmisión para mayores distancias, por esta razón, el coaxial se ha utilizado en redes de área local de alta velocidad y en aplicaciones de enlaces troncales de alta capacidad. No obstante, la capacidad tremenda de la fibra óptica está desplazando al cable coaxial, copando la mayor parte del mercado de las LAN de alta velocidad y las aplicaciones a larga distancia.
- La difusión por radio, las microondas terrestres y los satélites son las técnicas que se utilizan en la transmisión no guiada. La transmisión por infrarrojos se utiliza en algunas aplicaciones LAN.

En los sistemas de transmisión de datos, el medio de transmisión es el camino físico entre el transmisor y el receptor. Los medios de transmisión se clasifican en **guiados y no guiados**. En ambos casos, la comunicación se lleva a cabo con ondas electromagnéticas. En los medios guiados las ondas se confinan en un medio sólido, como, por ejemplo, el par trenzado de cobre, el cable de cobre coaxial o la fibra óptica. La atmósfera o el espacio exterior son ejemplos de medios no guiados, que proporcionan un medio de transmisión de las señales pero sin confinarlas; esto se denomina transmisión inalámbrica.

Las características y calidad de la transmisión están determinadas tanto por el tipo de señal, como por las características del medio. En el caso de los medios guiados, el medio en sí mismo es lo más importante en la determinación de las limitaciones de transmisión.

En medios no guiados, el ancho de banda de la señal emitida por la antena es más importante que el propio medio a la hora de determinar las características de la transmisión. Una propiedad fundamental de las señales transmitidas mediante antenas es la directividad. En general, a frecuencias bajas las señales son omnidireccionales; es decir, la señal desde la antena se emite y propaga en todas direcciones. A frecuencias más altas, es posible concentrar la señal en un haz direccional.

En el diseño de sistemas de transmisión es deseable que tanto la distancia como la velocidad de transmisión sean lo más grandes posibles. Hay una serie de factores relacionados con el medio de transmisión y con la señal que determinan tanto la distancia como la velocidad de transmisión:

- **El ancho de banda:** si todos los otros factores se mantienen constantes, al aumentar el ancho de banda de la señal, la velocidad de transmisión se puede incrementar.
- **Dificultades en la transmisión:** las dificultades, como, por ejemplo, la atenuación, limitan la distancia. En los medios guiados, el par trenzado sufre de mayores adversidades que el cable coaxial, que a su vez, es más vulnerable que la fibra óptica.
- **Interferencias:** las interferencias resultantes de la presencia de señales en bandas de frecuencias próximas pueden distorsionar o destruir completamente la señal. Las interferencias

son especialmente relevantes en los medios no guiados, pero a la vez son un problema a considerar en los medios guiados. Por ejemplo, frecuentemente múltiples cables de pares trenzados se embuten dentro de una misma cubierta, provocando posibles interferencias, no obstante, este problema se puede reducir utilizando un blindaje adecuado.

- **Número de receptores:** un medio guiado se puede usar tanto para un enlace punto a punto como para un enlace compartido, mediante el uso de múltiples conectores. En este último caso, cada uno de los conectores utilizados puede atenuar y distorsionar la señal, por lo que la distancia y/o la velocidad de transmisión disminuirán.

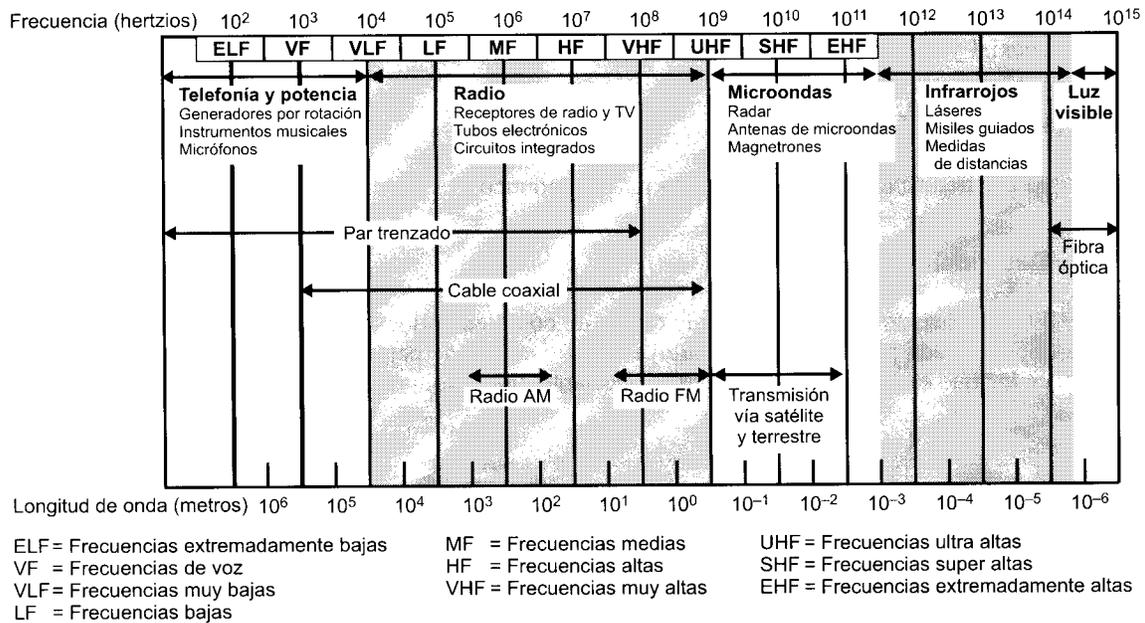


Figura 4.1. Espectro electromagnético para las telecomunicaciones

En la Figura 4.1 se muestra el espectro electromagnético, así como la frecuencia a la que operan diferentes técnicas de transmisión sobre medios guiados y no guiados. En este capítulo se estudiarán las diferentes alternativas tanto para medios guiados como para no guiados. En todos los casos, se describirán físicamente los sistemas, se discutirán brevemente las aplicaciones y se resumirán las características principales de transmisión.

4.1. MEDIOS DE TRANSMISIÓN GUIADOS

En los medios de transmisión guiados, la capacidad de transmisión, en términos de velocidad de transmisión o ancho de banda, depende drásticamente de la distancia y de si el medio se usa para un enlace punto a punto o por el contrario para un enlace multipunto, como, por ejemplo, en redes de área local (LAN). En la Tabla 4.1 se indican las prestaciones típicas de los medios guiados más comunes para aplicaciones punto a punto de larga distancia. El estudio de la utilización de estos medios en LAN se aplaza para más adelante, en la Parte IV del curso.

Tabla 4.1. Características de transmisión de medios guiados punto a punto (GLOV98)

	Rango de frecuencias	Atenuación típica	Retardo típico	Separación entre repetidores

Par trenzado (con carga)	0 a 3,5 kHz	0,2 dB/Km. @ 1 kHz	50 μ s/Km.	2 Km.
Pares trenzados (múltiples cables)	0 a 1 MHz	3 dB/Km. @ 1 kHz	5 μ s/Km.	2 Km.
Cable coaxial	0 a 500 MHz	7 dB/Km. @ 10 MHz	4 μ s/Km.	1 a 9 Km.
Fibra óptica	180 a 370 THz	0,2 para 0,5 dB/Km.	5 μ s/Km.	40 Km.

Los tres medios guiados más utilizados para la transmisión de datos son el par trenzado, el cable coaxial y la fibra óptica (véase Figura 4.2). A continuación examinaremos cada uno de ellos.

PAR TRENZADO

El par trenzado es el medio guiado más económico y a la vez más usado.

Descripción física

El par trenzado consiste en dos de cables de cobre embutidos en un aislante, entrecruzados en forma de espiral. Cada par de cables constituye sólo un enlace de comunicación. Normalmente, se utilizan haces en los que se encapsulan varios pares mediante una envoltura protectora. En aplicaciones de larga distancia, la envoltura puede contener cientos de pares. El uso del trenzado tiende a reducir las interferencias electromagnéticas (diafonía) entre los pares adyacentes dentro de una misma envoltura. Para este fin, los pares adyacentes dentro de una misma envoltura protectora se trenzan con pasos de torsión diferentes. Para enlaces de larga distancia, la longitud del trenzado varía entre 5 y 15 cm. Los conductores que forman el par tienen un grosor que varía entre 0,4 y 0,9 mm.

Aplicaciones

Tanto para señales analógicas como para señales digitales, el par trenzado es con diferencia el medio de transmisión más usado. Por supuesto es el medio más usado en las redes de telefonía, igualmente su uso es básico en el tendido de redes de comunicación dentro de edificios.

En telefonía, el terminal de abonado se conecta a la central local, también denominada «central final», mediante cable de par trenzado, denominado bucle de abonado. Igualmente, dentro de los edificios de oficinas, cada teléfono se conecta a la central privada (PBX, Private Branch Exchange) mediante un par trenzado. Estas instalaciones basadas en pares trenzados, se diseñaron para transportar tráfico de voz mediante señalización analógica. No obstante, con el uso de los módems, esta infraestructura puede utilizarse para transportar tráfico digital a velocidades de transmisión reducidas.

En señalización digital, el par trenzado es igualmente el más utilizado. Generalmente, los pares trenzados se utilizan para las conexiones al conmutador digital o a la PBX digital, con velocidades de 64 kbps. El par trenzado se utiliza también en redes de área local dentro de edificios para la conexión de computadores personales. La velocidad típica en esta configuración está en torno a los 10 Mbps. No obstante, recientemente se han desarrollado redes de área local con velocidades entre 100 Mbps y 1 Gbps mediante pares trenzados, aunque estas configuraciones están bastante limitadas por el número de posibles dispositivos conectados y extensión geográfica de la red. Para aplicaciones de larga distancia, el par trenzado se puede utilizar a velocidades de 4 Mbps o incluso mayores.

El par trenzado es mucho menos costoso que cualquier otro medio de transmisión guiado (cable coaxial y fibra óptica), y a la vez es sencillo de manejar. Ahora bien, comparado con los anteriores está más limitado en términos velocidad de transmisión y de distancia máxima.

Características de transmisión

Los cables de pares se pueden usar para transmitir tanto señales analógicas como señales digitales. Para señales analógicas, se necesitan amplificadores cada 5 o 6 Km.. Para transmisión digital (usando tanto señales analógicas como digitales), se requieren repetidores cada 2 o 3 Km..

Comparado con otros medios guiados (cable coaxial y fibra óptica), el par trenzado permite menores distancias, menor ancho de banda y menor velocidad de transmisión. En la Figura 4.3, se muestra para el par trenzado la fuerte dependencia de la atenuación con la frecuencia. Este medio se caracteriza por su gran susceptibilidad a las interferencias y al ruido, debido a su fácil acoplamiento con campos electromagnéticos externos. Así, por ejemplo, un cable conductor situado en paralelo con una línea de potencia que conduzca corriente alterna, se verá negativamente afectado por ésta. El ruido impulsivo también afecta a los pares trenzados. Para reducir estos efectos negativos es posible tomar algunas medidas. Por ejemplo, el blindaje del cable con una malla metálica reduce las interferencias externas. El trenzado en los cables reduce las interferencias de baja frecuencia, y el uso de distintos pasos de torsión entre pares adyacentes reduce la diafonía.

Para la señalización analógica punto a punto, un par trenzado puede ofrecer hasta 1 MHz de ancho de banda, lo que permite transportar un buen número canales de voz. En el caso de señalización digital punto a punto de larga distancia, se pueden conseguir del orden de unos pocos Mbps; para distancias cortas, actualmente ya hay disponibles productos comerciales que alcanzan los 100 Mbps e incluso 1 Gbps.

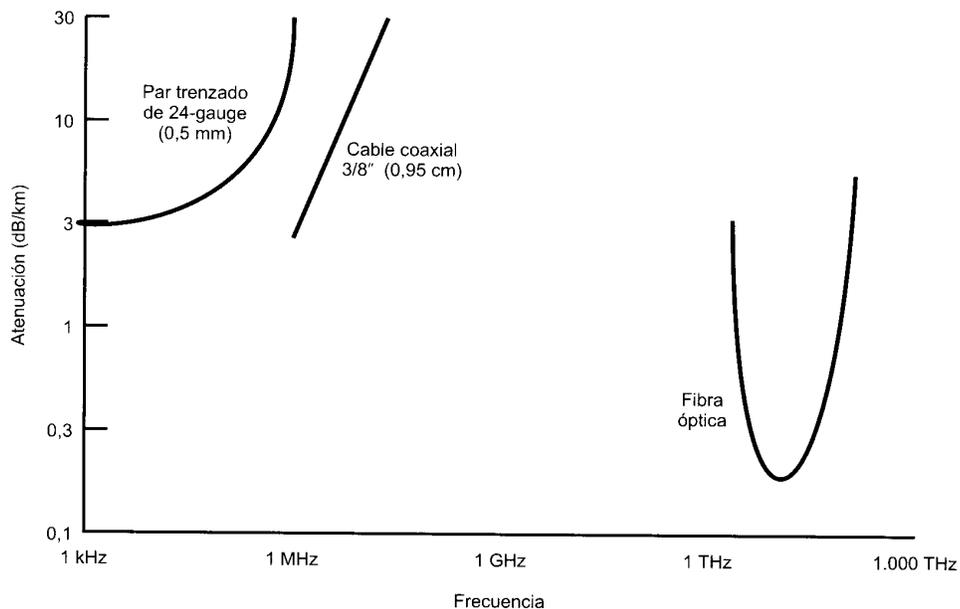


Figura 4.3. Atenuación en los medios guiados típicos

Pares trenzados blindados y sin blindar

Hay dos variantes de pares trenzados: blindado y sin blindar. El par trenzado no blindado (UTP, Unshielded Twisted Pair) es el medio habitual en telefonía. No obstante, actualmente es práctica habitual en el cableado de edificios, muy por encima de las necesidades reales de telefonía. Esto es así ya que hoy por hoy, el par sin blindar es el menos caro de todos los medios de transmisión que se usan en las redes de área local, además de ser fácil de instalar y de manipular.

El par trenzado sin blindar se puede ver afectado por interferencias electromagnéticas externas, incluyendo interferencias con pares cercanos y fuentes de ruido. Una manera de mejorar las características de transmisión de este medio es embutiéndolo dentro de una malla metálica, reduciéndose así las interferencias. El par trenzado blindado (STP, Shielded Twisted Pair) proporciona mejores resultados a velocidades de transmisión bajas. Ahora bien, este último es más costoso y difícil de manipular que el anterior.

UTP tipo 3 y tipo 5

En la mayoría de los edificios se hace una pre-instalación con un par trenzado de 100 ohmios denominado de calidad telefónica («voice-grade»). Por tanto, este tipo de pre-instalaciones se deben considerar siempre como una alternativa bastante atractiva y poco costosa para las LAN. No obstante, hay que tener en cuenta que las velocidades de transmisión y las distancias que se pueden alcanzar con este medio no siempre cubren las necesidades típicas.

En 1991, la EIA (Electronic Industries Association) publicó el estándar EIA-568, denominado «Commercial Building Telecommunications Cabling Standard», que define el uso de pares trenzados sin blindar de calidad telefónica y de pares blindados como medios para aplicaciones de transmisión de datos en edificios. Nótese que por aquel tiempo, las características de dichos medios eran suficientes para el rango de frecuencias y velocidades típicas necesarias en entornos ofimáticos. Es más, en esa época el objetivo diseño en las LAN tenía velocidades de transmisión comprendidas entre 1 y 16 Mbps. Con el tiempo, los usuarios han migrado tanto a estaciones de trabajo como a aplicaciones de mayores prestaciones. Como consecuencia, ha habido un interés creciente en las LAN que proporcionen hasta 100 Mbps sobre medios no costosos. Como respuesta a esa necesidad, en 1995 se propuso el EIA-568A. Esta norma incorpora los más recientes avances tanto en el diseño de cables y conectores como en métodos de test. En esta especificación se consideran tanto cables de pares blindados a 150 ohmios como pares no blindados de 100 ohmios.

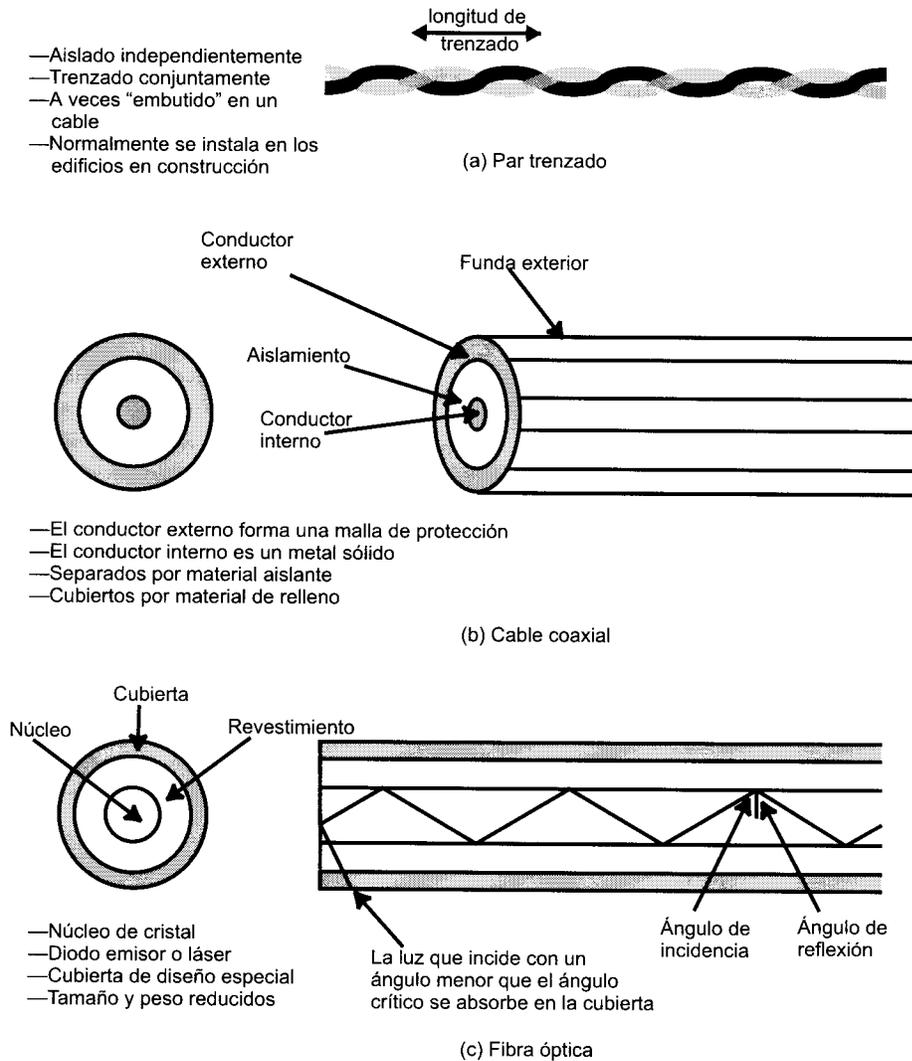


Figura 4.2. Medios de transmisión guiados

En el estándar EIA-568-A se consideran tres tipos o categorías de cables UTP:

- **Tipo 3:** consiste en cables y su hardware asociado, diseñados para frecuencias de hasta 16 MHz.
- **Tipo 4:** consiste en cables y su hardware asociado, diseñados para frecuencias de hasta 20 MHz.
- **Tipo 5:** consiste en cables y su hardware asociado, diseñados para frecuencias de hasta 100 MHz.

De entre los anteriores, los tipos 3 y 5 son los más utilizados en los entornos LAN. El tipo 3 corresponde a los cables de calidad telefónica que existen en la mayoría de las edificaciones. Con un diseño apropiado y a distancias limitadas, con cables tipo 3 se pueden conseguir velocidades de hasta 16 Mbps. El tipo 5 («data-grade») es un cable de mejores características para la transmisión de datos, y cada vez se está utilizando más y más como pre-instalación en los nuevos edificios de reciente construcción. Con un diseño apropiado y a distancias limitadas, con tipo 5 se pueden alcanzar 100 Mbps.

La diferencia esencial entre los cables tipo 3 y 5 está en el número de trenzas por unidad de distancia. La longitud de la trenza en el tipo 5 es del orden de 0,6 a 0,85 cm, mientras que el tipo 3 tiene una trenza de 7,5 o 10 cm. El trenzado del tipo 5 es por supuesto más caro, ahora bien proporciona prestaciones superiores que el de tipo 3.

En la Tabla 4.2 se resumen las prestaciones de los mencionados cables: UTP tipo 3 y UTP tipo 5, así como el cable STP (Shielded Twisted Pair) especificado en el EIA-568-A. El primer parámetro para establecer la comparativa es la atenuación. Como es sabido la energía de la señal decrece con la distancia recorrida en el medio de transmisión. En medios guiados la atenuación obedece a una ley logarítmica, por tanto, se expresa como un número constante de decibelios por unidad de longitud.

La diafonía que sufren los sistemas basados en pares trenzados es debida a la inducción que provoca un conductor en otro cercano. Por conductor debe entenderse tanto los pares que forman el cable, como los «pines» (patillas metálicas) del conector. Este tipo de diafonía se denomina cercana al extremo porque la señal transmitida en el enlace se acopla en un conductor cercano e induce una señal en sentido contrario (es decir, la energía transmitida es capturada por un par de recepción).

Tabla 4.2. Comparación de pares trenzados blindados y sin blindar

	Frecuencia (MHz)	Atenuación (dB por 100 m)			Diafonía en el extremo final (dB)		
		UTP tipo 3	UTP tipo 5	STP 150 ohmios	UTP tipo 3	UTP tipo 5	STP 150 ohmios
	1	2,6	2,0	1,1	41	62	58
	4	5,6	4,1	2,2	32	53	58
	16	13,1	8,2	4,4	23	44	50,4
	25	-	10,4	6,2	-	41	47,5
	100	-	22,0	12,3	-	32	38,5
	300	-	-	21,4	-	-	31,3

CABLE COAXIAL

Descripción física

El cable coaxial, al igual que el par trenzado, tiene dos conductores pero está construido de forma diferente para que pueda operar sobre un rango mayor de frecuencias. Consiste en un conductor cilíndrico externo que rodea a un cable conductor (Figura 4.2b). El conductor interior se mantiene a lo largo del eje axial mediante una serie de anillos aislantes regularmente espaciados o bien mediante un material sólido dieléctrico. El conductor exterior se cubre con una cubierta o funda protectora. El cable coaxial tiene un diámetro aproximado entre 1 y 2,5 cm. Debido al tipo de blindaje realizado, es decir, a la disposición concéntrica de los dos conductores, el cable coaxial es mucho menos susceptible a interferencias y diafonías que el par trenzado. Comparado con éste, el cable coaxial se puede usar para cubrir mayores distancias, así como para conectar un número mayor de estaciones en una línea compartida.

Aplicaciones

El cable coaxial es quizás el medio de transmisión más versátil, por lo que cada vez más se está utilizado en una gran variedad de aplicaciones. Las más importantes son:

- Distribución de televisión.
- Telefonía a larga distancia.
- Conexión con periféricos a corta distancia.
- Redes de área local.

El cable coaxial se emplea para la distribución de TV por cable hasta el domicilio de los usuarios. Diseñado inicialmente para proporcionar servicio de acceso a áreas remotas (CATV, Community Antenna Television), la TV por cable llega probablemente a casi tantos hogares y oficinas como el actual sistema telefónico. El sistema de TV por cable puede transportar docenas e incluso cientos de canales a decenas de kilómetros.

Tradicionalmente, el coaxial ha sido fundamental en la red de telefonía a larga distancia, aunque en la actualidad tiene una fuerte competencia en la fibra óptica, las microondas terrestres y las comunicaciones vía satélite. Cuando se usa multiplexación con división en frecuencia (FDM, Frequency Division Multiplexing, véase Capítulo 8), el cable coaxial puede transportar más de 10.000 canales de voz simultáneamente.

El cable coaxial también se usa con frecuencia para conexiones entre periféricos a corta distancias. Con señalización digital, el coaxial se puede usar como medio de transmisión en canales de entrada/ salida (E/S) de alta velocidad en computadores.

Características de transmisión

El cable coaxial se usa para transmitir tanto señales analógicas como digitales. Como se puede observar en la Figura 4.3, el cable coaxial tiene una respuesta en frecuencias mejor que la del par trenzado, permitiendo por tanto mayores frecuencias y velocidades de transmisión. Como ya se ha dicho, por construcción el cable coaxial es mucho menos susceptible que el par trenzado tanto a interferencias como a diafonía. Sus principales limitaciones son la atenuación, el ruido térmico, y el ruido de intermodulación. Este último aparece sólo cuando se usan simultáneamente sobre el mismo cable varios canales (FDM) o bandas de frecuencias.

Para la transmisión de señales analógicas a larga distancia, se necesitan amplificadores separados entre sí a distancias del orden de pocos kilómetros, estando más alejados cuanto mayor es la frecuencia de trabajo. El espectro de la señalización analógica se extiende hasta aproximadamente 500 MHz. Para señalización digital, en cambio, se necesita un repetidor aproximadamente cada kilómetro, e incluso menos cuanto mayor sea la velocidad de transmisión.