



## 1) INTRODUCCIÓN:

El medio de transmisión es el camino físico entre el transmisor y el receptor.

- **Guiados:** la señal electromagnética es guiada o encerrada en un cable (par paralelo, par trenzado, cable coaxial, fibra óptica).
- **No guiados:** La señal electromagnética viaja libre (microondas terrestres, microondas por satélite, ondas de radio e infrarrojos).

Todos los fenómenos electromagnéticos tienen frecuencia de distintos valores. 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 (BW): 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.
- 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.

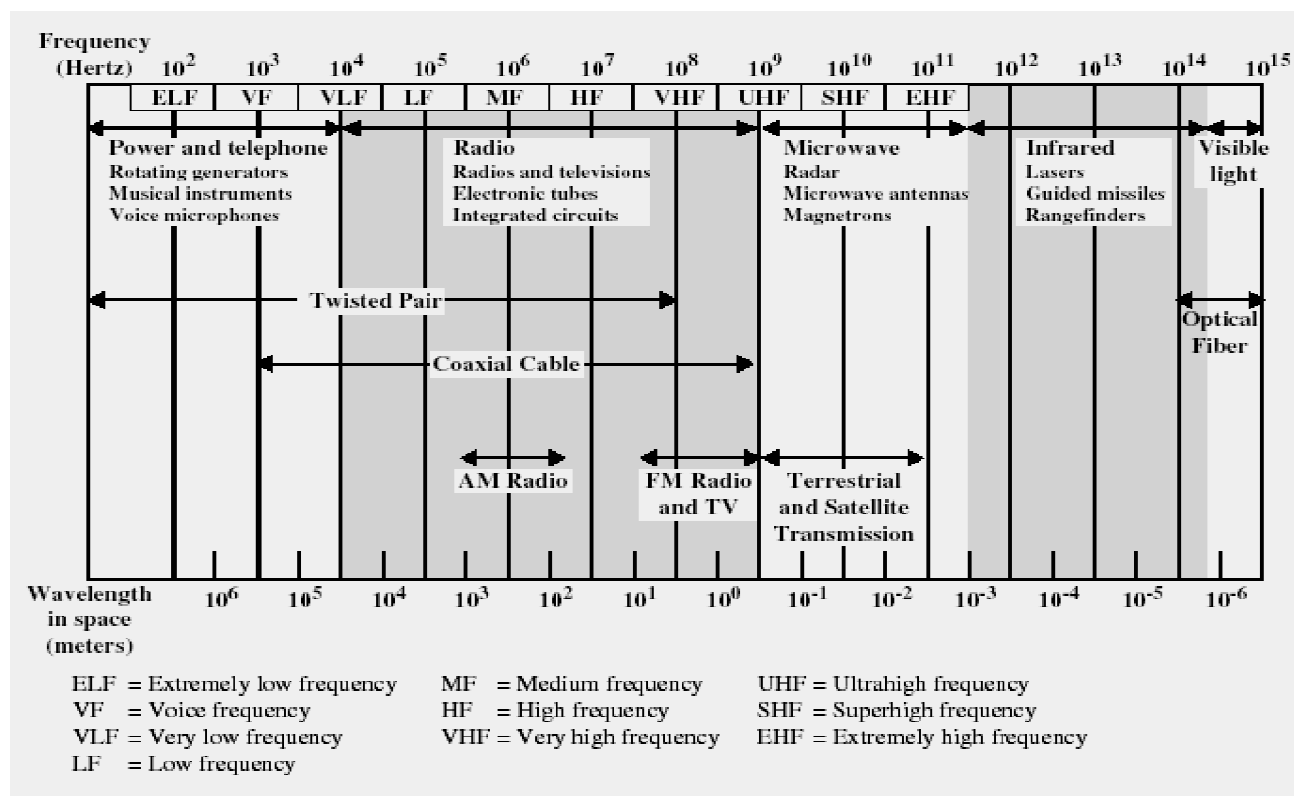


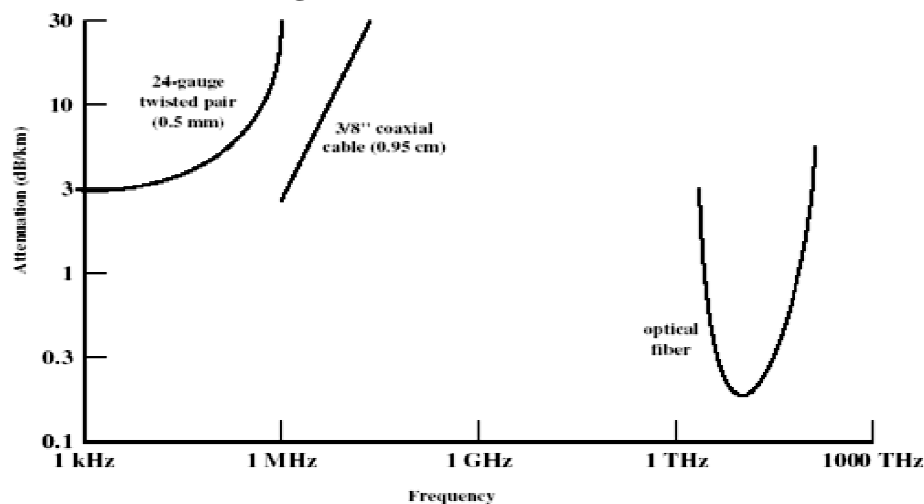
Ilustración 1 Espectro electromagnético en telecomunicaciones

## 2) MEDIOS DE TRANSMISIÓN GUIADOS

Comparación:

Medio de transmisión	Velocidad de transmisión	BW	Separación entre repetidores
Par trenzado	4 Mbps	3 MHz	2 – 10 Km
Coaxial	500 Mbps	350 MHz	1 – 10 Km
Fibra óptica	2 Gbps	2 GHz	10 – 100 Km

Pérdidas comparadas de los medios guiados:



Descripción física de los medios de transmisión guiados:

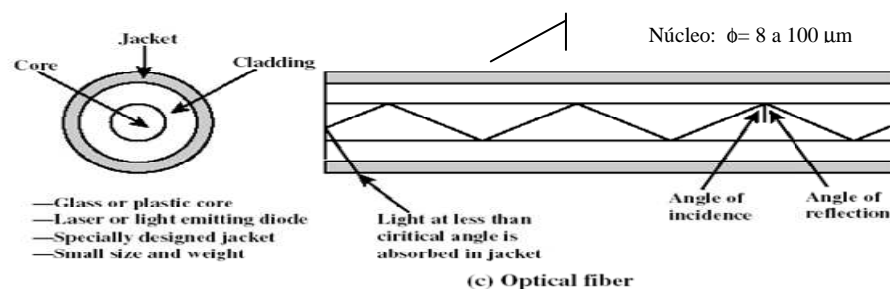
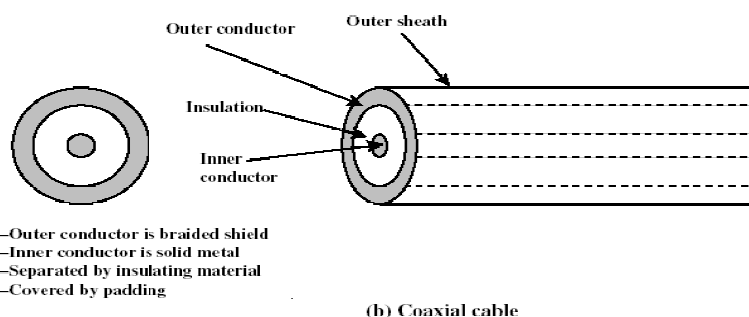
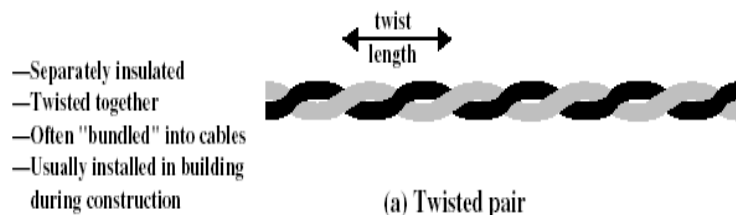


Ilustración 2 : Medios de transmisión guiados: par trenzado, coaxial y fibra óptica



## 2.1) PAR TRENZADO

Los cables de *par paralelo* convencionales, están formados por dos conductores próximos y paralelos. De bajo costo, son especialmente aptos para la transmisión de energía eléctrica, pero ofrecen características de transmisión muy limitadas para datos (cifras meramente orientativas podrían ser: tasa de transmisión < 20 Kbit/s; distancia < 50 m). Sus principales desventajas son la captación de ruido, el acoplamiento con otras líneas próximas (diafonía) y las pérdidas por radiación a frecuencias elevadas. Ejemplos de utilización: la interfaz local de datos EIA RS-232C, el bucle de abonado telefónico (último tramo).

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

**2.1.1) Descripción física:** El par trenzado consiste en dos cables de cobre electrolítico embutidos en un aislante, entrecruzados en forma de espiral. Su geometría cambiante reduce la captación de ruido, las pérdidas por radiación y la diafonía entre pares cercanos. De bajo costo, ofrece mejores características de transmisión que la línea de pares paralela (algunas cifras orientativas son: tasa de transmisión < 1 Mbit/s.; distancia < 100 m). 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 ese 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.

Hay dos variantes de pares trenzados:

**Apantallado:** (STP, "Shielded Twisted Pair") proporciona mejores resultados a velocidades de transmisión bajas. Este par trenzado es más costoso y difícil de manipular.

**Sin apantallar:** (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 apantallar 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 apantallar se puede ver afectado por interferencias electromagnéticas externas, incluyendo interferencias con pares cercanos y fuentes de ruidos. Una manera de mejorar las características de transmisión de este medio es embutiéndolo dentro de una malla metálica, reduciéndose así las interferencias.

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 debe considerar siempre como una alternativa bastante atractiva y poco costosa para las LAN.

En 1991, la EIA ("Electronic Industries Association") publicó el estándar EIA-568, denominado "Comercial Building Telecommunications Cabling Standard", que define el uso de pares trenzados sin apantallar de calidad telefónica y de pares apantallados como medios para aplicaciones de transmisión de datos de edificios. Este conjunto de normas es conocido como **Cableado Estructurado**.

Es un sistema de cableado de telecomunicaciones para edificios que presenta entre sus características el ser general, es decir, soportar una amplia gama de productos de telecomunicaciones sin necesidad de ser modificados. Además presenta la posibilidad de reconfigurar dinámicamente la topología de las redes, sin efectuar nuevos tendidos de cables hacia los puestos de trabajo.

Utilizando éste concepto, resulta posible diseñar el cableado de un edificio con un conocimiento muy escaso de los productos de telecomunicaciones que luego se utilizarán sobre él.

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



- **Tipo 1 y Tipo 2:** de uso en telefonía, pero no aptos para transmisión de datos.
- **Tipo 3:** se utiliza para voz y datos hasta 10 Mbps de velocidad binaria. Permite la instalación de redes LAN con tecnologías Token Ring de 4 Mbps o Ethernet. Está compuesto por 4 pares de cables de cobre trenzados, con una trenza cada 10 cm. A 10 Mbps posee una atenuación de 13,1 dB cada 100 metros.
- **Tipo 4:** consiste en cables y su hardware asociado, diseñados para frecuencias de hasta 20 MHz, siendo el cable más utilizado en telefonía digital. Permite velocidades binarias de hasta 20 Mbps y la instalación de redes LAN con tecnologías Token Ring de 16 Mbps o Ethernet. Está compuesto por cuatro pares de cables de cobre trenzados
- **Tipo 5:** consiste en cables y su hardware asociado, diseñados para frecuencias de hasta 100 MHz. Se utiliza para voz y datos, aceptando hasta 100 Mbps de velocidad binaria. Permite el tendido de redes LAN con tecnologías Token Ring o Ethernet. Está compuesto por cuatro pares de cables de cobre trenzados, con una trenza por cada centímetro. Cada 100 metros posee una atenuación de 8,2 dB a 16 Mbps y de 22,0 dB a 100 Mbps.

El tipo 5 (y más recientemente, el tipo 6) es el más utilizado en los entornos LAN. El tipo 3 corresponde a los cables de calidad telefónica que existen en la mayoría de las edificaciones. El tipo 5 (“data-grade”) es un cable de mejores características para la transmisión de datos, y cada vez se utiliza 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, siendo en la actualidad el cable recomendado para las nuevas instalaciones.

**2.1.2) Aplicaciones:** Tanto para señales analógicas como para señales digitales, el par trenzado es el medio de transmisión más usado. Por supuesto es el medio más usado en las redes de telefonía, e igualmente su uso es básico en el tendido de redes de comunicación dentro de edificios. En señalización digital, el par trenzado es igualmente el más utilizado. Generalmente, los pares trenzados se utilizan para 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 distancia máxima.

**2.1.3.) 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 Ilustración 2, se muestra para el par trenzado la fuerte dependencia de la atenuación con la frecuencia. Este medio se caracteriza su gran susceptibilidad a las interferencias y al ruido, debido a su fácil acoplamiento con campos electromagnéticos externos.

## 2.2) CABLE COAXIAL

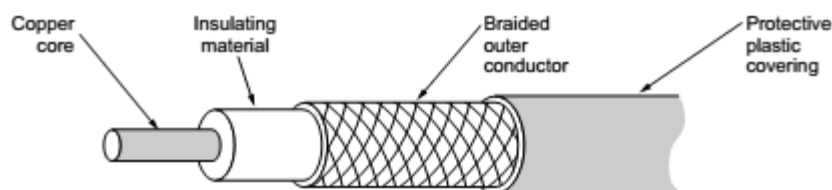


Ilustración 3: estructura física del cable coaxial.

**2.2.1) 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 (Ilustración 3). El conductor interior, de cobre electrolítico, 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 apantallamiento realizado, es decir, a la disposición concéntrica de los dos conductores, el cable coaxial es mucho menos susceptible a interferencias y diafonías, a la captación de ruido y a las pérdidas por radiación, respecto al 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. Cifras meramente orientativas podrían ser: tasa de transmisión de 10 Mbit/s a 1 Gbit/s; distancias de 200 m a varios km.

**2.2.2) Aplicaciones:** El cable coaxial es un medio de transmisión versátil, por lo que se está utilizando 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 y radio* hasta el domicilio de los usuarios, mediante FM. Diseñado inicialmente para proporcionar servicio de acceso a áreas remotas (CATV, "Community Antenna Television"), la TV por cable en un futuro muy cercano llegará 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 cable coaxial ha sido fundamental en la red de telefonía a larga distancia, enlaces troncales (de alta capacidad) 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 de frecuencia (FDM), el 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, conexión de terminales y controladores a ordenadores grandes (en desuso), redes locales Ethernet (en desuso). Con señalización digital, el coaxial se puede usar como medio de transmisión en canales de entrada/salida (E/S) de alta velocidad en computadoras.

**2.2.3) Características de transmisión:** El cable coaxial se usa para transmitir tanto señales analógicas como digitales. Como se puede observar en la Ilustración 2, el cable coaxial tiene una respuesta en frecuencias mejor que la del par trenzado, permitiendo por tanto mayores frecuencias y velocidades de

transmisión. 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).

La atenuación en los cables coaxiales se calcula a partir de la expresión:

$$A_{[\text{dB/km}]} = 0,01 + 2,3 \sqrt{f + 0.003f}$$

Donde:  $f$  = frecuencia de la señal [ MHz]

Para la transmisión de señales analógicas a larga distancia, se necesitan amplificadores separados entre sí a distancias del orden de pocos kilómetros, estando menos 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 en tanto mayor sea la velocidad de transmisión.

## 2.3) FIBRA OPTICA

Hilo fino de vidrio o plástico que permite transportar la luz, generalmente en la banda de los infrarrojos y por lo tanto no visibles por el ojo humano. Ésta luz modulada convenientemente, permite transmitir señales de información entre dos puntos a velocidades muy altas, con tasas de errores muy bajas.

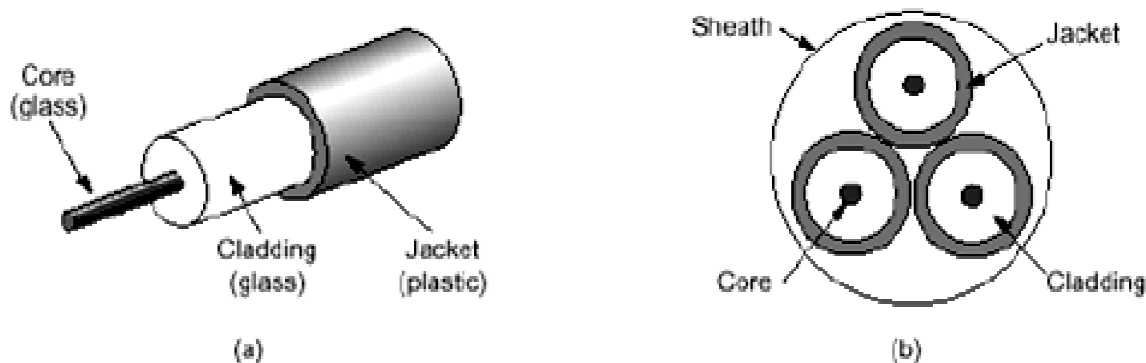


Ilustración 4: (a) Vista de cable con una única fibra. (b) Vista de un cable con tres fibras

**2.3.1) Descripción física:** La fibra óptica es un medio flexible y fino capaz de confinar un haz de naturaleza óptica. Para construir la fibra se pueden usar diversos tipos de cristales y plásticos. Las pérdidas menores se han conseguido con la utilización de fibras de silicio fundido ultrapuro. Las fibras ultra-puras son muy difíciles de fabricar en tanto las fibras de cristal multicomponente son más económicas, aunque proporcionan prestaciones inferiores, pero suficientes para ciertas aplicaciones. La fibra de plástico tiene todavía un costo menor y se puede utilizar para enlaces de distancias cortas, para los que son aceptables pérdidas moderadamente altas.

Un cable de fibra óptica tiene forma cilíndrica y está formado por tres secciones concéntricas: el núcleo ("core"), el revestimiento ("clad") y la cubierta ("jacket") (Ilustración 4). El *núcleo* es la sección más interna, está constituido por una o varias hebras o fibras muy finas de cristal o plástico y tiene un diámetro entre 8 y 100  $\mu\text{m}$ . Cada fibra está rodeada por su propio *revestimiento*, que no es sino otro cristal o plástico con propiedades ópticas distintas a las del núcleo. La separación entre el núcleo y el revestimiento actúa como un reflector perfecto confinando el haz de luz que de otra manera escaparía del núcleo. La capa más exterior que envuelve a uno o varios revestimientos es la *cubierta*. La cubierta está hecha de plástico, kevlar y otros materiales dispuestos en capas para proporcionar protección contra la humedad, la abrasión, aplastamientos y otros peligros.



**2.3.2) Características:** Uno de los avances tecnológicos más significativos en la transmisión de datos ha sido el desarrollo de los sistemas de comunicación de fibra óptica. No en vano, la fibra disfruta de una gran aceptación para las telecomunicaciones a larga distancia, y cada vez está siendo más utilizada en aplicaciones militares. Las mejores constantes en el diseño, junto con sus ventajas inherentes, así como la reducción en costos han contribuido decisivamente para que la fibra sea un medio atractivo en los entornos de red de área local.

Las características diferenciales de la fibra óptica frente al cable coaxial y al par trenzado son:

- *Mayor capacidad:* el ancho de banda potencial, y por tanto la velocidad de transmisión, en las fibras es enorme. Experimentalmente se ha demostrado que se puede conseguir velocidades de transmisión de cientos de Gbps para decenas de kilómetros de distancia. Compárese con el máximo que se puede conseguir en el cable coaxial de cientos de Mbps sobre aproximadamente 1 km, y con los escasos Mbps que se pueden obtener en la misma distancia o con los 100 Mbps a 1 Gbps para pocas decenas de metros en pares trenzados.
- *Menor tamaño y peso:* las fibras ópticas son apreciablemente más finas que el cable coaxial o que los pares trenzados embutidos, por lo menos en un orden de magnitud para capacidades de transmisión comparables. En las conducciones o tubos de vacío previstos para el cableado en las edificaciones, así como en las conducciones públicas subterráneas, la utilización de tamaños pequeños tiene unas ventajas evidentes. La reducción en tamaño lleva a su vez aparejada una reducción en peso que disminuye a su vez la infraestructura necesaria.
- *Atenuación menor:* la atenuación es significativamente menor en las fibras ópticas que en los cables coaxiales y pares trenzados (Ilustración 5). Además es constante en un gran intervalo de frecuencias si se transmite en alguna de las llamadas “ventanas de transmisión”. La primera ventana va de los 800 nm a los 900 nm; la segunda ventana va de los 1200 nm hasta los 1350 nm; la tercera ventana se extiende entre los 1450 nm y los 1600 nm. (observar que se tratan de frecuencias de cientos de THz). Para éstos valores, se consiguen valores de 0,2 dB/km.

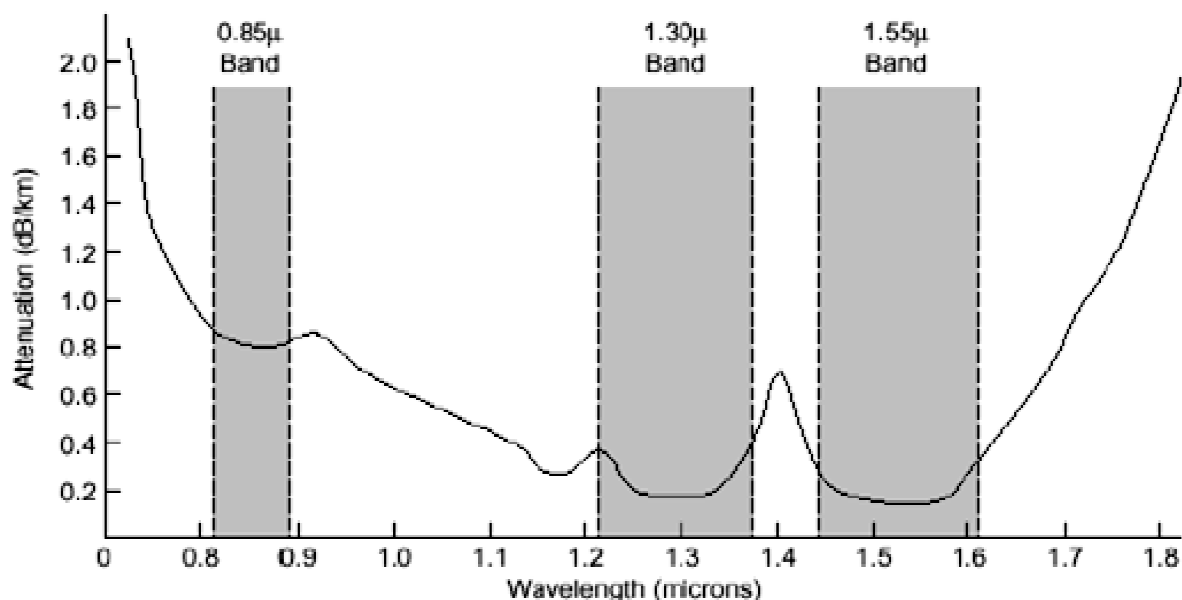


Ilustración 5: atenuación de la luz en la fibra óptica y ventanas de transmisión

- *Aislamiento electromagnético:* los sistemas de fibra óptica no se ven afectados por los efectos de campos electromagnéticos exteriores. Estos sistemas no son vulnerables a interferencias, ruido impulsivo o diafonía, por lo cual es normal obtener tasas de errores del orden de  $BER = 10^{-10}$ . Y por la misma razón, las fibras no radian energía, produciendo interferencias despreciables con otros equipos y proporcionando a la vez un alto grado de privacidad.



Relacionado con esto, la fibra es por construcción difícil de ser interceptada por terceros no deseados (“pinchar”).

- *Mayor separación entre repetidores:* cuantos menos repetidores haya el costo será menor, además de haber menos fuentes de error. Desde este punto de vista, las prestaciones de los sistemas de fibra óptica han sido mejoradas de manera constante y progresiva. Para la fibra, es práctica habitual necesitar repetidores separados entre sí por docenas de kilómetros, e incluso se llega a sistemas con separación de trescientos kilómetros con velocidades de 622 Mbps (SDH). Por el contrario, los sistemas basados en coaxial y en pares trenzados requieren repetidores cada pocos kilómetros, para velocidades muy inferiores.
- *Usos de potencias de muy bajo valor,* del orden de los mW, en comparación con otros medios de telecomunicaciones que requieren potencias mayores.
- *Resistentes al fuego y a la corrosión,* soportando también mejor los cambios atmosféricos y variaciones de temperatura.
- *Costo decreciente:* no es elevado tanto por la fibra en sí, sino por la complejidad de unión de las fibras (soldaduras y conectores) y a una instalación y mantenimiento más complicados por su fragilidad de componentes y personal especializado.

### **2.3.3) Aplicaciones:**

Las cinco aplicaciones básicas en las que la fibra óptica es importante son:

- Transmisiones a larga distancia.
- Transmisiones metropolitanas.
- Acceso a áreas rurales.
- Bucles de abonado.
- Redes de área local.

La transmisión a largas distancias mediante fibras es cada vez más común en las redes de telefonía. En estas redes, las distancias medias son aproximadamente 1.500 km y tienen una gran capacidad (normalmente de 20.000 a 60.000 canales de voz). Estos sistemas son competitivos, en cuanto a costo, respecto a los enlaces de microondas y están tan por debajo, en costo, del cable coaxial que en muchos países en vías de desarrollo la fibra está desbancando al coaxial. Paralelamente, la fibra óptica cada vez se utiliza más como medio de transmisión en cables submarinos.

Los circuitos troncales de alcance metropolitano tienen una longitud de 12 km, y pueden albergar hasta 100.000 canales de voz por cada grupo troncal. La mayoría de los servicios se están instalando usando conducciones subterráneas sin repetidores, que se usan para enlazar centrales telefónicas dentro del área metropolitana. Dentro de esta categoría pertenecen igualmente las rutas que enlazan las líneas de larga distancia de microondas, que llegan hasta las áreas perimetrales de las ciudades, con las centrales de telefonía situadas dentro del casco urbano.

Los accesos troncales a áreas rurales tienen generalmente longitudes que van desde los 40 a 160 km.

En países extensos, estos enlaces a su vez conectan frecuentemente centrales telefónicas pertenecientes a diferentes compañías. La mayoría de estos sistemas tienen menos de 5.000 canales de voz.

Usualmente, la tecnología utilizada en estas aplicaciones compite con las microondas. Los bucles de abonado son fibras que van directamente desde las centrales al abonado. El uso de la fibra en estos servicios está empezando a desplazar a los enlaces mediante pares trenzados y coaxiales, dado que cada vez más las redes de telefonía están evolucionando hacia redes integradas capaces de gestionar no sólo voz y datos, sino también imágenes y video. El uso de la fibra en este contexto está encabezado fundamentalmente por grandes clientes (empresas), no obstante la fibra como medio de acceso desde los domicilios particulares aparecerá en un futuro a corto plazo.

Finalmente, una aplicación importante de la fibra óptica está en las redes de área local. Recientemente, se han desarrollado estándares y productos para redes de fibra óptica con capacidades que van desde 100 Mbps hasta 1 Gbps y a su vez permiten cientos, incluso miles de estaciones en grandes edificios de oficinas.



Las ventajas de la fibra óptica respecto al par trenzado o del cable coaxial serán cada vez más convincentes conforme la demanda de información multimedia vaya aumentando (voz, datos, imágenes y video).

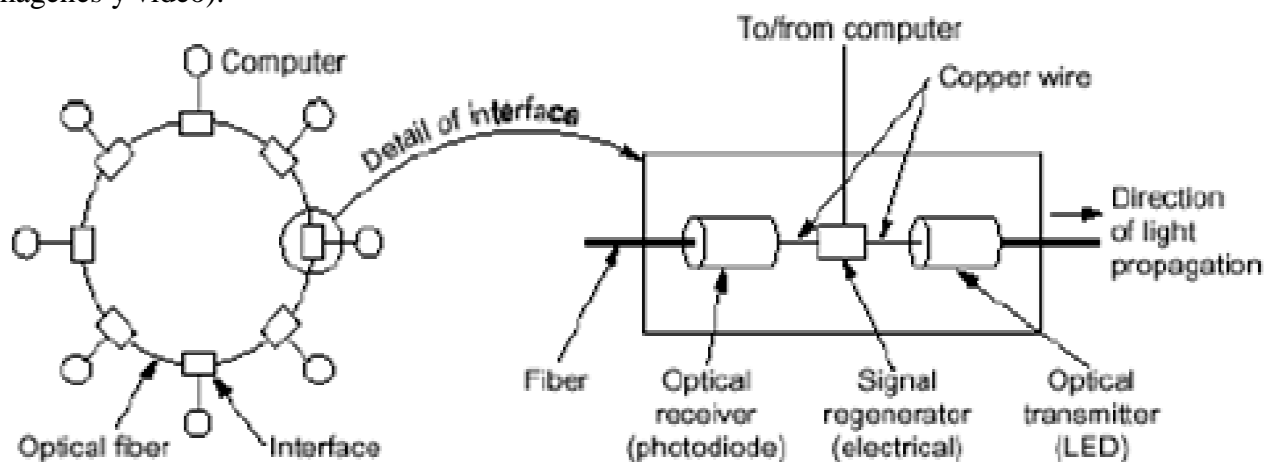


Ilustración 6: anillo de fibra óptica con repetidores activos.

## 2.3.4) Principios de funcionamiento:

Cada capa constitutiva de la fibra tiene su propio índice de refracción, que es la medida de la velocidad y ángulo de propagación de la luz en un cierto medio, referida a la velocidad de propagación en el vacío ( $n=1$ ).

Debido a la diferencia de índices, la luz transmitida se mantiene y propaga a través del núcleo, es decir existe *reflexión total interna* (Ilustración 7.b).

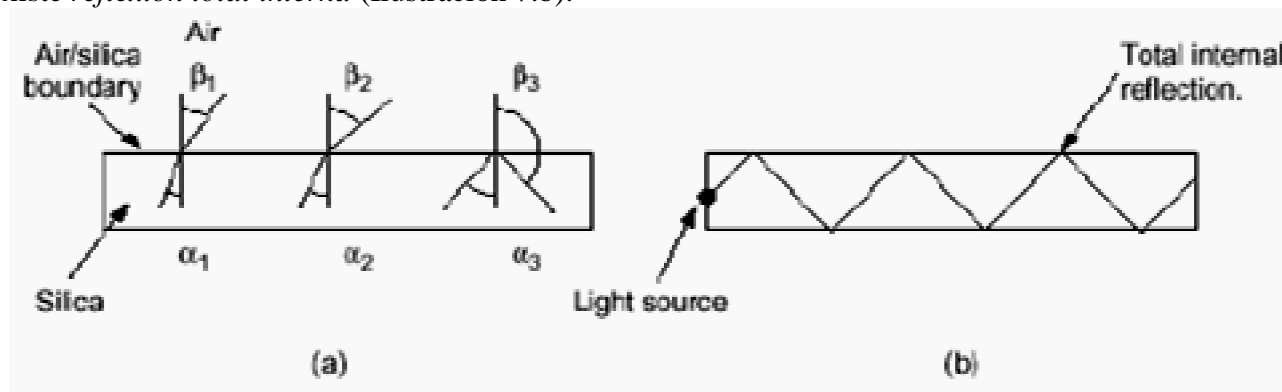


Ilustración 7: (a) reflexión de la luz a distintos ángulos en la interface aire-silicio de una fibra (b) reflexión total interna

Físicamente, éste concepto lo explica la Óptica mediante la **Ley de Snell**:

*“Existe una relación constante entre el ángulo incidente de un haz de luz y el índice de refracción en dicho medio, respecto del ángulo de refracción en el segundo medio y su correspondiente índice de refracción”*

$$\eta_1 . \text{sen } \alpha_1 = \eta_2 . \text{sen } \beta_1$$

Donde:

$\alpha_1$ : ángulo de incidencia del haz en el medio con índice  $\eta_1$ .

$\beta_1$ : ángulo de refracción del haz en el medio con índice  $\eta_2$ .

En particular, se da una condición límite en la que el haz refractado se propaga en forma paralela a la interfaz entre ambos medios, y se conoce como *refracción con ángulo máximo*.

Para que ello ocurra, se debe cumplir que el  $\beta_I$  sea máximo, ( $\sin \beta_I = 1$ ), o sea que  $\beta_I = 90^\circ$ .

Reemplazando en la expresión de Snell:

Luego:  $\eta_1 \sin \alpha_I = \eta_2$   
 $\sin \alpha_I = \eta_2 / \eta_1$   
 Como debe ser:  $1 > \sin \alpha_I > 0$   
 Se deberá cumplir que  $\eta_1 > \eta_2$

Por lo tanto, siempre en la construcción de la fibra óptica se debe tener que el índice de refracción del núcleo sea superior al del recubrimiento. Ésta relación se debe cumplir siempre dentro de lo que se denomina *cono de aceptación*.

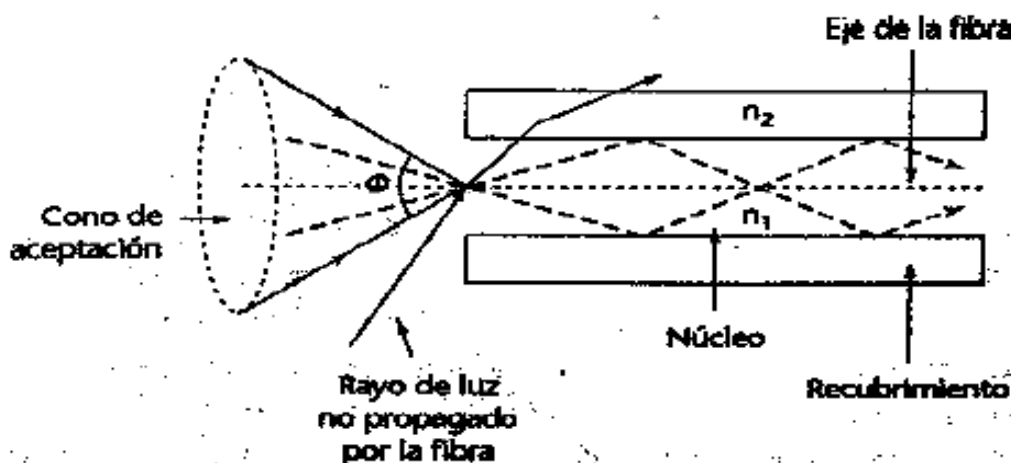


Ilustración 8: cono de aceptación en una fibra óptica.

Para ángulos mayores a los que forma el cono de aceptación, ésta relación no se cumple y el haz de luz sale de la fibra en lugar de propagarse (Ilustración 8)

El ángulo de apertura del “cono de aceptación” que se obtiene, se calcula con:

$$\Phi = \arcsen \sqrt{\eta_1^2 - \eta_2^2}$$

Pone de manifiesto que es función exclusivamente de los materiales con los que está construida la fibra.

### 2.3.5) Modos de transmisión de la fibra óptica:

La fibra óptica propaga el haz de luz internamente de acuerdo con el principio de *reflexión total interna*. Este fenómeno se da en cualquier medio transparente que tenga un índice de refracción mayor que el medio que lo contenga. En efecto, la fibra óptica funciona como una guía de ondas para el rango de frecuencias que va desde  $10^{14}$  hasta  $10^{15}$  Hz, cubriendo parte del espectro visible e infrarrojo.

En estas fibras el diámetro del núcleo es mucho mayor que la longitud de onda ( $\lambda$ ) de la onda luminosa, por lo que existen varios caminos posibles a lo largo de la fibra, es decir, múltiples modos de propagación. Esto hace que en el extremo receptor se superpongan ondas luminosas que han viajado distancias ligeramente distintas y, por tanto, con retrasos también distintos, originándose una dispersión o ensanchamiento de los pulsos de luz transmitidos que llegan a confundirse unos con otros cuando su tasa supera cierto valor (interferencia intersimbólica), limitando la velocidad a la que los datos puedan ser correctamente recibidos. Este tipo de fibra es más adecuada para la transmisión a distancias cortas. Algunas de las fibras de este tipo más usuales son las denominadas 62,5/125 y las

50/125 (números que expresan, en  $\mu\text{m}$ , el diámetro del núcleo y la vaina respectivamente). Unas cifras orientativas en cuanto a prestaciones podrían ser: tasa de transmisión  $< 200 \text{ Mbit/s}$ ; distancias  $< 2 \text{ km}$ . Este tipo de propagación se llama **multimodal**, lo que alude al hecho de que hay multitud de ángulos para los que se da la reflexión total, admitiendo dos variantes de propagación: índice escalón ó índice gradual (Ilustración 9)

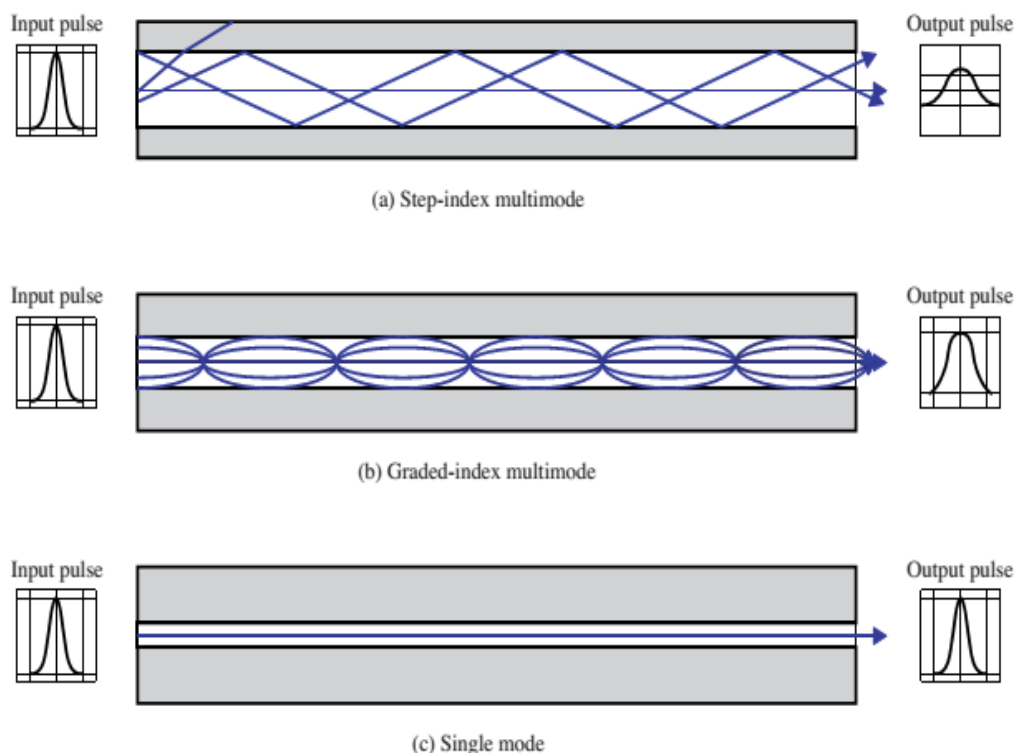


Ilustración 9: modos de transmisión en la fibra óptica

- *Índice escalón* (“step index”) (o índice discreto): tienen dispersión y reducido ancho de banda. Son de bajo costo dado que resultan tecnológicamente sencillas de producir. (Ilustración 9a)
- *Índice gradual* (“graded index”): más costosas, pero de gran ancho de banda. Se disminuye la dispersión haciendo variar lentamente el índice de refracción entre el núcleo y el recubrimiento (es máximo en el centro de la fibra y mínimo en los extremos). Las características de este modo son superiores a las de índice discreto. Estas fibras, al disponer de un índice de refracción superior en la parte central, hace que los rayos de luz avancen más rápidamente conforme se alejan del eje axial de la fibra. En lugar de describir un zig-zag, la luz en el núcleo describe curvas helicoidales debido a la graduación gradual del índice de refracción, reduciendo así la distorsión multimodal. Este tipo de fibras de índice gradual se utiliza en las redes de área local. Se consigue la mejora ya que la velocidad de propagación es inversamente proporcional al índice de refracción, por lo cual los modos que se propagan por el centro lo hacen a menor velocidad que los de la periferia, que viajan mayor recorrido pero a mayor velocidad. Se consigue compensar así los distintos recorridos de los modos. (Ilustración 9.b).

Otro tipo de propagación se conoce como **monomodo**, la que proporciona prestaciones superiores a las multimodo. (Ilustración 9.c) Cuando el radio del núcleo se reduce, la reflexión total se dará en un número menor de ángulos. Al reducir el radio del núcleo a dimensiones del orden de magnitud de la longitud de onda, un solo ángulo o modo podrá pasar: el rayo axial. Las fibras monomodo se utilizan normalmente en aplicaciones de larga distancia, como, por ejemplo, la telefonía y la televisión por cable.

## 2.3.6) Pérdidas en las fibras ópticas:

Las pérdidas en las fibras ópticas producen atenuación de la luz que por ella se propaga, manifestándose como una disminución de potencia de luz en el extremo receptor. (Ilustración 10) Se origina así una reducción en el ancho de banda del sistema, la que obliga a reducir la velocidad de transmisión, pero aún así se han conseguido hoy enlaces monomodo de cientos de kilómetros, transmitiendo a varios Gbps, con atenuaciones de 0,2 dB/km.

Las pérdidas se deben a:

- *Dispersión modal*: La más importante, presente en transmisión multimodo. El pulso recibido es más ancho que el transmitido, debido a las diferencias en los tiempos de propagación de los distintos modos.
- *Dispersión cromática*: menores que las pérdidas por dispersión modal. Se produce cuando la fuente emisora no emite luz monocromática (o coherente) sino en varias longitudes de onda. Como el índice de refracción depende de la longitud de onda, distintas componentes viajarán a diferentes velocidades produciendo un ensanchamiento del pulso.
- *Absorción y radiación*: son debidas al proceso de fabricación. Las pérdidas por absorción se producen al dopar con impurezas al silicio para obtener distintos índices de refracción entre el núcleo y el recubrimiento. Estas impurezas absorben la luz y la transforman en calor. A su vez, las imperfecciones como pequeños dobleces, discontinuidades, etc. originan radiaciones indeseadas que disminuyen la potencia final de la transmisión.
- *Acoplamiento*: debidas a uniones imperfectas entre las distintas partes que componen el circuito óptico

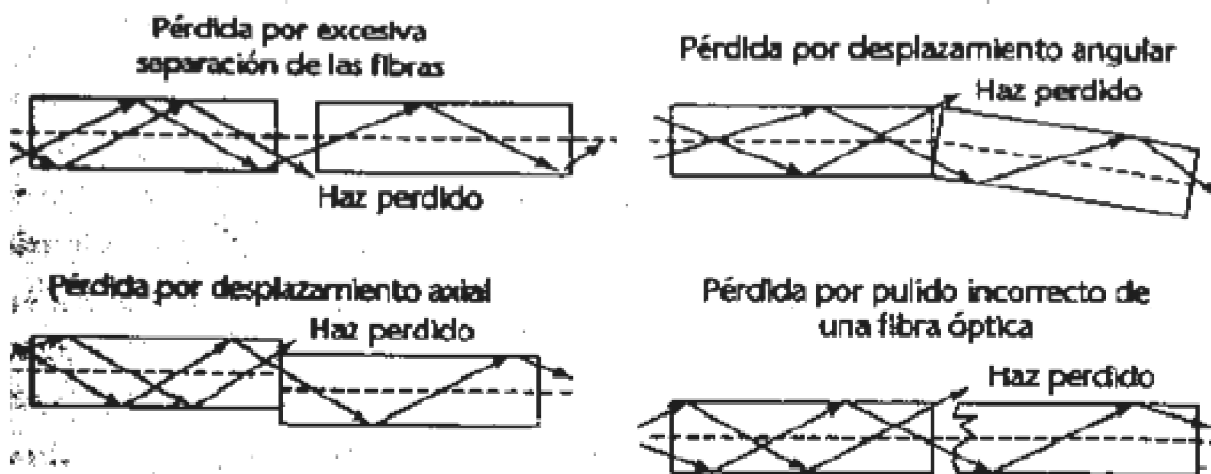


Ilustración 10: distintas causas de pérdidas por acoplamiento en fibra óptica.

- *Dispersión de Rayleigh*: debidas a irregularidades submicroscópicas que permanecen en el silicio cuando se solidifica en el proceso de fabricación. Al incidir un rayo de luz en esas irregularidades se produce un fenómeno indeseado de difracción de la luz. Esas pérdidas están relacionadas inversamente a la longitud de onda, siendo las responsables de que no se pueda transmitir en la mayoría del espectro visible. Aumentan las pérdidas cuanto más distancia recorre el haz.

## 2.3.7) Componentes opto-electrónicos:

- *Foto-transmisores*: En los sistemas de fibra óptica se usan dos tipos diferentes de fuentes de luz: los diodos LED ("Light Emited Diode") y los diodos ILD ("Injection Laser Diode"). Ambos son dispositivos semiconductores que cuando se les aplica una señal eléctrica emiten un haz de fotones correspondientes a una longitud de onda en alguna de las tres ventanas (Si el semiconductor es dopado con galio, aluminio o arsénico, transmitirá en la primera ventana; para la segunda y tercera



ventana se utiliza indio y fósforo). El LED es menos costoso, opera en un rango mayor de temperaturas y tiene una vida media superior, aunque emite cada pulso en el transmisor con un ancho que va de 25 a 40 nm. El ILD, cuyo funcionamiento está basado en el mismo principio que los láser, es más eficaz y puede proporcionar velocidades de transmisión superiores, ya que genera pulsos mucho más estrechos que los LEDs, con ancho entre 1 a 6 nm. (Ilustración 11)

Item	LED	Semiconductor laser
Data rate	Low	High
Mode	Multimode	Multimode or single mode
Distance	Short	Long
Lifetime	Long life	Short life
Temperature sensitivity	Minor	Substantial
Cost	Low cost	Expensive

**Ilustración 11: comparación de diodos semiconductores y LEDs como fuentes luminosas.**

- **Foto-receptores:** son detectores de luz semiconductores, que generan una corriente eléctrica proporcional al número de fotones que captan. Hay diversos tipos, según la aplicación.
- **Repetidores:** compensan el efecto de la atenuación en enlaces a larga distancia regenerando la señal digital, sin efecto aditivo en el ruido.
- **Empalmes:** son interconexiones permanentes entre fibras ópticas, siendo fundamental la correcta alineación entre ellas. Hay dos técnicas para el empalme:
  - Empalme por fusión: se unen y se calientan hasta fundirlas. Las pérdidas son del orden de 0,2 dB.
  - Empalme mecánico: se unen los extremos que deben estar bien cortados y limpios en sus extremos, para permitir el pasaje de luz de una fibra a la otra. Las pérdidas son del orden de 0,5 dB por empalme.
- **Conectores:** son para interconexiones entre dos fibras. Las pérdidas se dan por desplazamientos entre los ejes de ambas fibras, debiendo estar los bordes bien planos y limpios, obteniéndose pérdidas del orden de 0,5 dB a 1 dB por conector.
- **Acopladores:** son elementos que permiten distribuir la luz que circula por una fibra, entre varias otras. Son elementos caros y que introducen pérdidas importantes: en los acopladores T, aproximadamente 5 dB; en los acopladores estrella del orden de 15 a 30 dB (según sean para 3 o 40 puertos).

### 3) MEDIOS DE TRANSMISION NO GUIADOS

En medios no guiados, tanto la transmisión como la recepción se llevan a cabo mediante antenas. En la transmisión, la antena *radia* energía electromagnética en el medio (normalmente el aire), y en la recepción la antena *capta* las ondas electromagnéticas del medio que la rodea.

La mayor o menor concentración de la energía radiada/captada determina una de las características más importantes de una antena:

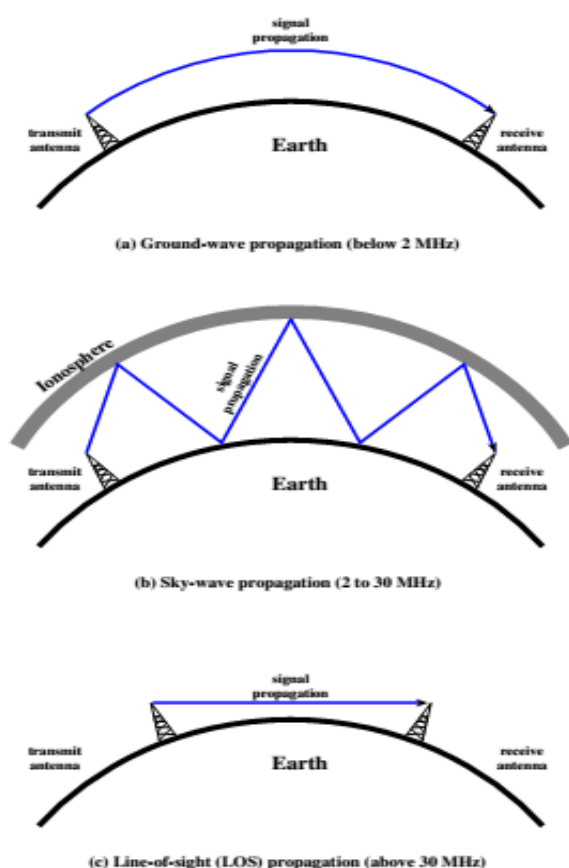
- **Direccional:** la antena de transmisión emite la energía electromagnética concentrándola en un haz estrecho; por tanto en este caso las antenas de emisión y recepción deben estar perfectamente alineadas.

- **Omnidireccional:** a diferencia de la anterior, el diagrama de radiación de la antena es más disperso, emitiendo en todas direcciones con igual intensidad, pudiendo la señal ser recibida por muchas antenas.

La longitud de onda de la señal transmitida es un parámetro fundamental, ya que:

- En general, cuanto menor es la longitud de onda de la señal transmitida, ésta tiende a comportarse mas como las señales luminosas, es decir a confinar la energía en un haz direccional.
- Las dimensiones físicas de las antenas son directamente proporcionales a la longitud de onda que transmiten.

Las señales de radio se pueden propagar, según su frecuencia, de las siguientes formas:



- **Propagación por onda terrestre:** entre las antenas transmisoras y receptoras, las ondas se propagan manteniendo un contacto permanente con la superficie terrestre. Ello origina la aparición de corrientes eléctricas inducidas que atenúan la señal de datos, limitando el alcance del enlace. Se usa en frecuencias medias y altas para comunicaciones locales.
- **Propagación por onda espacial o ionosférica:** se usa en la mayoría de las comunicaciones de HF (2 a 30 MHz). Éste tipo de onda de radio, emitida desde una antena transmisora, es refractada por la ionósfera y retornada a la tierra hacia la antena receptora. (efectúa así un “salto”).
- **Propagación en línea recta o de alcance visual (onda directa):** la onda viaja en línea recta, sin tocar el terreno ni la ionósfera. Se utiliza principalmente en las bandas de VHF y UHF, como por ejemplo en la difusión de TV y radiofonía FM. En éste tipo de transmisión es fundamental las alturas de las antenas y la separación entre las mismas.

Ilustración 12: modos de propagación entre antenas.

## 3.1) MICROONDAS TERRESTRES

**3.1.1) Descripción física:** La antena más común en las microondas es la de tipo parabólico, que al ser muy direccionales permiten transmisiones con reducida potencia y elevada ganancia en una dirección en particular. En la antena se distingue un *reflector parabólico* (diámetro = 0,60 m hasta 4 m) que enfoca la energía recibida desde el transmisor hacia un *elemento activo* que conduce la energía hacia el receptor. Esta antena se fija rígidamente en torres, y en este caso, el haz debe estar perfectamente enfocado hacia la antena receptora.



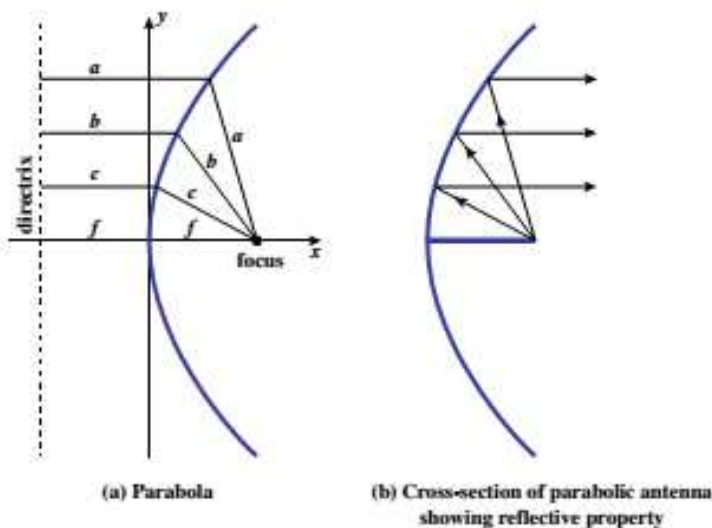


Ilustración 13: antena parabólica reflectiva.

Las antenas de microondas se sitúan a una altura apreciable sobre el nivel del suelo, para con ello conseguir mayores separaciones posibles entre ellas y para evitar posibles obstáculos en la transmisión. Si no hay obstáculos intermedios, la distancia máxima para obtener un enlace entre antenas, verifica:

$$d = 7,14 [Kh]^{1/2}$$

Donde  $d$  es la distancia de separación entre las antenas expresadas en kilómetros,  $h$  es la altura de la antena en metros, y  $K$  es un factor de corrección

que tiene en cuenta que las microondas se desvían o refractan con la curvatura de la tierra, llegando por lo tanto, más lejos de lo que lo harían si se propagasen en línea recta. (El “horizonte de radio” es mayor que el “horizonte óptico”). Una buena aproximación es considerar  $K = 4 / 3$ . Por lo tanto, a modo de ejemplo, dos antenas de microondas con altura de 100 metros pueden separarse una distancia igual a

$$d = 7,14 [133]^{1/2} = 82 \text{ Km.}$$

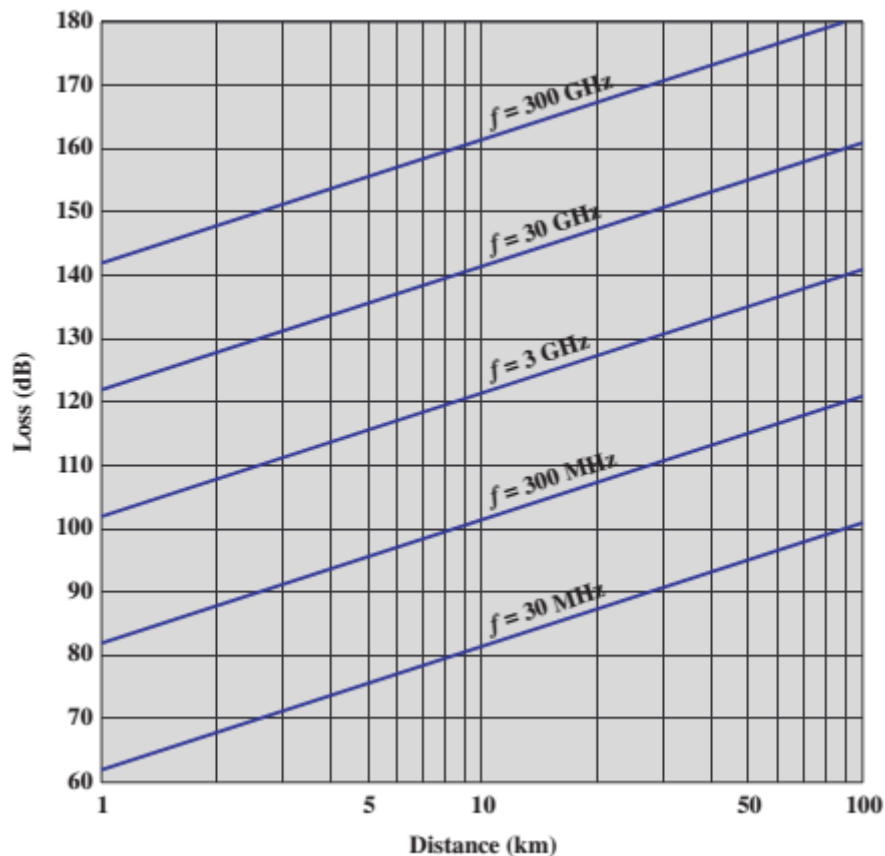
Para llevar a cabo transmisiones a larga distancia, se utiliza la concatenación de enlaces punto a punto entre antenas situadas en torres adyacentes, hasta cubrir la distancia deseada. (Saltos, llamados “hop” en inglés). Las estaciones intermedias reciben el nombre de estaciones repetidoras, estando por lo general separadas unos 50 km. para “verse” entre sí.

**3.1.2) Aplicaciones:** El uso principal de los sistemas de microondas terrestres son los servicios de telecomunicación de larga distancia, como alternativa al cable coaxial o a las fibras ópticas. Para una distancia dada, las microondas requieren menor número de repetidores o amplificadores que el cable coaxial, pero como contra, necesita que las antenas estén perfectamente alineadas. El uso de las microondas es frecuente en la transmisión de televisión y de voz. Otro uso cada vez más frecuente es en enlaces punto a punto a cortas distancias entre edificios. En este último caso, aplicaciones típicas son circuitos cerrados de TV o la interconexión de redes locales. Además, las microondas a corta distancia también se utilizan en las aplicaciones denominadas de «by-pass», con las que una determinada compañía puede establecer un enlace privado hasta el centro proveedor de transmisiones a larga distancia, evitando así tener que contratar el servicio a la compañía telefónica local.

**3.1.3) Características de transmisión:** El rango de las microondas cubre una parte sustancial del espectro electromagnético. La banda de frecuencias está comprendida entre 2 y 40 GHz. Cuanto mayor sea la frecuencia utilizada, mayor es el ancho de banda potencial, y por tanto, mayor es la posible velocidad de transmisión. En la tabla de la página siguiente se indican diversos valores de anchos de banda y velocidad de transmisión de datos para algunos sistemas típicos. Al igual que en cualquier sistema de transmisión, la principal causa de pérdidas en las microondas es la atenuación. Para la microondas (y también para la banda de frecuencias de radio), las pérdidas se pueden expresar como:

$$L = 10 \log [4\pi d / \lambda]^2 \quad [\text{dB}]$$

Donde  $d$  es la distancia y  $\lambda$  es la longitud de onda, expresadas en las mismas unidades. Por tanto, las pérdidas varían con el cuadrado de la distancia. Se grafica en la Ilustración 14.



**Ilustración 14: pérdidas en el espacio libre, en función de la frecuencia y la distancia.**

Por contra, en el cable coaxial y el par trenzado, las pérdidas tienen una dependencia logarítmica con la distancia (lineal en decibelios). Por lo tanto, en los sistemas que usan microondas, los amplificadores o repetidores se pueden distanciar más (de 10 a 100 km generalmente) que en coaxiales y pares trenzados. La atenuación aumenta con las lluvias, siendo este efecto especialmente significativo para frecuencias por encima de 10 GHz. Otra dificultad adicional son las interferencias. Con la popularidad creciente de las microondas, las áreas de cobertura se pueden solapar, haciendo que las interferencias sean siempre un peligro potencial. Así pues la asignación de bandas tiene que realizarse siguiendo una regulación estricta.

Las bandas más usuales en la transmisión a larga distancia se sitúan entre 4 GHz y 6 GHz.

Debido a la creciente congestión que están sufriendo estas bandas, la banda de 11 GHz se está empezando a utilizar. La banda de 12 GHz se usa para proporcionar la señal de TV a las cabeceras de distribución de TV por cable, en las que para llegar al abonado se utiliza el cable coaxial. Finalmente, cabe citar que las microondas de altas frecuencias se están utilizando para enlaces cortos punto a punto entre edificios.

Banda( GHz )	Ancho deBanda ( MHz )	Velocidad deTransmisión ( Mbps )
2	7	12
6	30	90
11	40	135
18	220	274

Para tal fin, se usa generalmente la banda de 22 GHz. Las bandas de frecuencias superiores son menos útiles para distancias más largas debido a que cada vez la atenuación es mayor, si bien son bastante

adecuadas para distancias más cortas. Y además, a frecuencias superiores, las antenas son más pequeñas y más baratas.

## 3.2.) MICROONDAS SATELITAL:

**3.2.1) Descripción física:** Un satélite de comunicaciones es esencialmente una estación retransmisora de microondas, ubicado en el espacio por un tiempo limitado (aprox. 8 a 18 años) que recibe señales de telecomunicaciones de voz, datos y video desde la Tierra, cambia la frecuencia al canal ascendente (“uplink”), las amplifica (o repite), y reenvía la señal hacia la tierra en otra frecuencia por el canal descendente (“downlink”). Se usa como enlace entre dos o más receptores/transmisores terrestres, denominadas estaciones base. En un sistema de comunicaciones satelitales, distinguimos diversos componentes que forman un segmento espacial y uno terrestre.

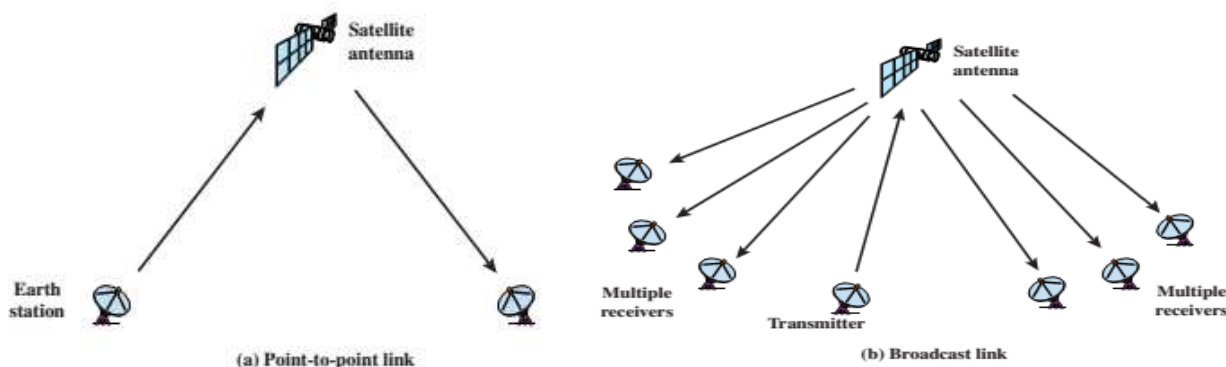


Ilustración 15: configuración de comunicaciones satelitales (a) Punto a Punto (b) Difusión.

El **segmento espacial**, está formado por diversos sub-sistemas:

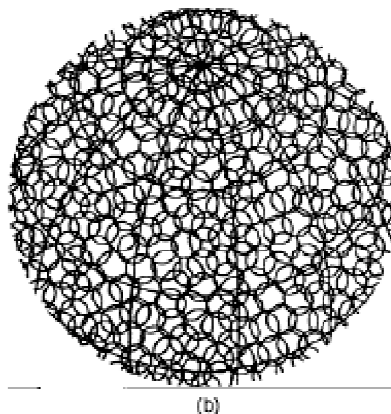
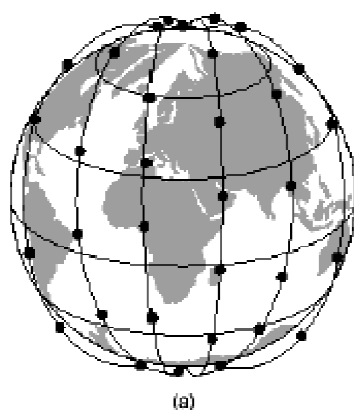
- **Sub-sistema de comunicaciones** (“payload”-carga útil-) que está formado a su vez por:
  - Antenas: receptoras y transmisoras, que deben ser de bajo peso, pequeñas dimensiones y satisfacer los requisitos de los sub-sistemas de seguimiento, telemetría y control. Pueden ser de:
    - cobertura global: un tercio del globo terrestre, usadas en Banda C.
    - cobertura hemisférica: sirven a una zona más limitada, con apertura de 15% a 20% de la superficie terrestre. Se usa en Banda C.
    - direccionales (spot): concentran más la energía en una zona geográfica puntual, lo que permite antenas receptoras de menor ganancia.
  - “Transponder”: equipos de comunicaciones que reciben las señales de la Tierra a través del “uplink”, cambian la frecuencia para permitir su retransmisión a través del “downlink”, las amplifican y retransmiten hacia la Tierra. Un satélite posee varios transponder cada uno de los cuales atiende un grupo de enlaces en forma independiente.
  - Amplificadores de potencia: las señales que llegan al satélite están muy atenuadas. La potencia del amplificador varía según la frecuencia, entre los 50W y los 100 W, debiendo generar mínimo ruido propio.
- **Sub-sistema de generación y distribución de potencia:** celdas solares de alto rendimiento (aprox. 200W/m<sup>2</sup>), que transforman la energía solar en eléctrica, y luego la almacenan en baterías recargables de níquel/cadmio.
- **Sub-sistema de estabilización:** para compensar las perturbaciones en el espacio y que siempre ilumine la zona deseada.
- **Sub-sistema de control de temperatura:** evita los daños por variaciones extremas de temperatura tanto en el interior como exterior del satélite.

El **segmento terrestre** del sistema de comunicaciones satelital están formados por:

- *Estación terrena de seguimiento, telemetría y control:* mantienen al satélite en su posición orbital, con una tolerancia máxima de  $0,5^\circ$ , controlando la posición, altura, potencia, alarmas, etc.
- *Estación terrena transmisora y/o receptora:* son los ETD y ETCD tanto transmisores como receptores. Según el volumen de tráfico que manejan se clasifican en:
  - a. Estaciones de alta capacidad: tráfico internacional entre redes públicas de telecomunicaciones. En la Banda C, existen tres categorías llamadas A, B y C, con diámetros de parábolas que pueden llegar hasta 30 metros.
  - b. Estaciones de media capacidad: manejan el tráfico de una región o de una red institucional importante. Las parábolas tienen diámetros de 1,8 m a 9,0 m.
  - c. Estaciones de baja capacidad: para un solo usuario. Utilizan antenas llamadas VSAT (“Very Small Aperture Terminal”), con parábolas de 2 a 4 metros de diámetro. Más recientemente se han desarrollado las antenas USAT (“Ultra Small Aperture Terminal”), con diámetros inferiores a un metro y en algunos casos de unos 20 cm.

Según los tipos de órbitas que efectúan, los satélites se pueden clasificar en varias categorías:

- *Satélites de órbita baja:* (LEO-“Low Earth Orbit”)
  - Órbitas elípticas entre los 400 y 2500 km de altura.
  - Para una órbita de 800 km, da la vuelta a la Tierra en 90 minutos (pocos minutos disponibles para una estación terrena).
  - Para proporcionar un servicio continuo de comunicaciones, se requiere un número de satélites elevado, de 50 o más. (Proyecto IRIDIO con 77 satélites)



**Ilustración 16:** (a) Los satélites Iridio forman seis collares alrededor de la Tierra. (b) 1628 celdas móviles cubren la Tierra.

- Requieren bajas potencias de transmisión, o sea bajo consumo, con lo que las estaciones terrestres son de menor costo.
  - La recepción se puede hacer por antenas omnidireccionales (apta para comunicaciones personales móviles).
  - El lanzamiento de cada satélite es de bajo costo debido a la altura de las órbitas.
  - El retardo (“delay”) o latencia, es bajo, del orden de 10 ms, lo que favorece la comunicación de datos.
- *Satélites de órbita media* (MEO-“Medium Earth Orbit”).
    - Poseen órbitas elípticas entre 4000 y 15000 km de altura.
    - Las órbitas duran entre 6 a 8 horas, por lo que una estación terrena ve al satélite durante 1 a 2 horas.

- Para tener una cobertura mundial, con servicio continuo, se requiere un sistema de 10 o más satélites en planos a 45° respecto al Ecuador.
  - Requieren mayores potencias que los de órbita baja.
  - El costo de lanzamiento de cada satélite es mayor que los de órbita baja.
  - Latencia del orden de 70 ms.
- *Satélites de órbita geoestacionaria* (GEO-“Geostationary Earth Orbit”)
    - Poseen órbitas circulares a una altitud de 35784 km respecto al Ecuador, siendo para latitudes superiores la distancia del orden de los 41000 km.
    - En ésta órbita (Órbita de Clark), el satélite tiene una velocidad de rotación igual a la de la tierra, por lo que permanece fijo respecto a un observador.
    - Con tres satélites separados 120° se logra cobertura mundial las 24 hs.
    - Requieren una separación de unos 2° entre sí para evitar interferirse.
    - Requieren muy altas potencias de transmisión, o sea antenas parabólicas costosas y amplificadores de bajo ruido. (LNA-“Low Noise Amplifier”).
    - Lanzamiento de muy alto costo, en cualquier modalidad:
      - Vector a la órbita geoestacionaria: el más costoso, se usa en aplicaciones militares y no en las comerciales.
      - Transbordador espacial: lleva varios satélites a una órbita baja de 200 km., desde donde los lanza al espacio exterior mediante una catapulta. El satélite llega a la órbita definitiva mediante un motor propio.
      - Vector a la órbita baja: similar al anterior, sin usar el transbordador.
    - El retardo o “delay” es muy alto y no menor a los 240 ms. entre estaciones terrestres. Esto obliga en telefonía a la instalación de sofisticados equipos, llamados *supresores de eco*.
  - *Satélites de órbitas altamente elípticas* (HEO-“Highly Elliptical Orbit”).
    - Órbitas elípticas con un *apogeo* mayor que la Órbita de Clark, y un *perigeo* del orden de los 1000 km.
    - Son satélites especialmente aptos para cubrir las zonas polares.
    - Pueden ser usados en servicios de telecomunicaciones, a pesar de no ser geo-sincrónicos.
    - Su período de rotación es de 12 horas, con 8 horas útiles para comunicaciones.
    - Con tres satélites se tiene cobertura continuada.

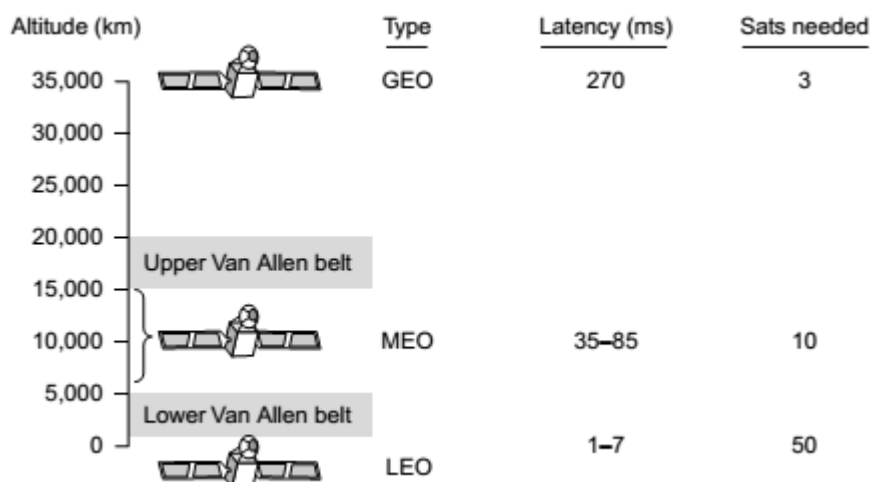


Ilustración 17: algunas propiedades de sistemas satelitales (altitud; latencia; nro. de satélites para cobertura global)





**3.2.2) Aplicaciones:** Las comunicaciones vía satélite han sido una revolución tecnológica de igual magnitud que la desencadenada por la fibra óptica. Entre las aplicaciones más importantes para los satélites cabe destacar:

- Difusión de televisión.
- Transmisión telefónica a larga distancia.
- Redes privadas.

Debido a que los satélites son multi-destino por naturaleza, su utilización es muy adecuada para la distribución de TV, por lo que están siendo ampliamente utilizados tanto en los Estados Unidos como en el resto del mundo. Tradicionalmente, en la distribución de TV una emisora local proporciona la programación a toda la red. Para lo cual los programas se transmiten al satélite que es el encargado de difundirlo a toda una serie de estaciones receptoras, las cuales redistribuyen la programación a los usuarios finales.

La PBS (“Public Broadcasting Service”) es una red que distribuye su programación casi exclusivamente mediante el uso de los canales de satélite. Otras redes comerciales también utilizan el satélite como parte esencial de su sistema, e igualmente, cada vez más los sistemas de distribución de la TV por cable utilizan el satélite como medio de obtener su programación. La aplicación más reciente de la tecnología del satélite a la televisión es la denominada difusión directa vía satélite (DBS, “Direct Broadcast Satellite”), en la que la señal de vídeo se transmite directamente desde el satélite a los domicilios de los usuarios. La disminución tanto en costo como en tamaño de las antenas receptoras ha hecho que esta tecnología sea factible económicamente, con lo que el número de canales disponibles es cada vez mayor.

La transmisión vía satélite se utiliza también para proporcionar enlaces punto a punto entre las centrales telefónicas en las redes públicas de telefonía. Es el medio óptimo para los enlaces internacionales que tengan un alto grado de utilización y es competitivo comparado con los sistemas terrestres en muchos enlaces internacionales de larga distancia.

Finalmente, para la tecnología vía satélite hay una gran cantidad de aplicaciones de gran interés comercial. El suministrador del servicio de transmisión vía satélite puede dividir la capacidad total disponible en una serie de canales, alquilando su uso a terceras compañías. Dichas compañías, equipadas con una serie de antenas distribuidas en diferentes localizaciones pueden utilizar un canal del satélite para establecer una red privada. Tradicionalmente, tales aplicaciones eran bastante caras, estando limitado su uso a grandes empresas. Un desarrollo reciente ha sido el sistema de terminales de pequeña abertura (VSAT, “Very Small Aperture Terminal”), que constituye una alternativa de bajo costo.

**3.2.3) Características de transmisión:** El rango de frecuencias óptimo para la transmisión vía satélite está en el intervalo comprendido entre 1 y 10 GHz. Por debajo de 1 GHz, el ruido producido por causas naturales es apreciable, incluyendo el ruido galáctico, solar, atmosférico y el producido por interferencias con otros dispositivos electrónicos. Por encima de los 10 GHz, la señal se ve severamente afectada por la absorción atmosférica y por las precipitaciones.

La mayoría de los satélites que proporcionan servicio de enlace punto a punto operan en el intervalo entre 5,925 y 6,425 GHz para la transmisión desde las estaciones terrestres hacia el satélite (canal ascendente) y entre 3,7 y 4,2 GHz para la transmisión desde el satélite hasta la tierra (canal descendente). Esta combinación se conoce como banda 4/6 GHz. Nótese que las frecuencias ascendentes son diferentes de las descendentes. En una transmisión continua y sin interferencias, el satélite no podrá transmitir y recibir en el mismo rango de frecuencias. Así pues, las señales que se reciben desde las estaciones terrestres en una frecuencia dada se deberán devolver en otra distinta. La banda 4/6 GHz está dentro de la zona óptima de frecuencias (de 1 a 10 GHz), ahora bien su utilización exhaustiva ha llegado a la saturación. Debido a posibles interferencias (por ejemplo, con microondas





terrestres operando en ese mismo rango), las restantes frecuencias del intervalo óptimo no se pueden utilizar. Por tanto, se han desarrollado otras bandas alternativas como es la 12/14 GHz (el canal ascendente está situado entre 14 y 14,5 GHz, y la banda descendente está entre 11,7 a 14,2 GHz). En esta banda aparecen problemas de atenuación que se deben solventar. No obstante, se pueden usar receptores terrestres más baratos y de dimensiones más reducidas. Se ha diagnosticado que esta banda también se saturará, por lo que se está proyectando la utilización de la banda 19/29 GHz (enlace ascendente: desde 27,5 a 31,0 GHz; enlace descendente: de 17,7 a 21,2 GHz). En esta banda la atenuación es incluso superior, ahora bien, por contra proporcionará un ancho de banda mayor (2.500 MHz comparados con los 500 MHz anteriores), a la vez que los receptores pueden ser todavía más pequeños y económicos.

Band	Downlink	Uplink	Bandwidth	Problems
L	1.5 GHz	1.6 GHz	15 MHz	Low bandwidth; crowded
S	1.9 GHz	2.2 GHz	70 MHz	Low bandwidth; crowded
C	4.0 GHz	6.0 GHz	500 MHz	Terrestrial interference
Ku	11 GHz	14 GHz	500 MHz	Rain
Ka	20 GHz	30 GHz	3500 MHz	Rain, equipment cost

**Ilustración 18:** características de las principales bandas de transmisión satelital.

### **3.2.4.) El consorcio internacional NAHUELSAT:**

En 1992, la Comisión Nacional de Telecomunicaciones (CNT), licitó la puesta en marcha de un sistema satelital doméstico, en las posiciones que le fueran asignadas por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU).

Gana la licitación el consorcio Nahuelsat S.A. integrado por:

- Deutsche Aerospace, de la M.Benz de Alemania.
- Aerospatiale y Alcatel de Francia.
- Alenia Spazio de Italia.

Consiguen operar por 30 años a partir de 1997 un sistema privado y comercial.

La estación de control satelital se construyó en Benavides, Pcia. de Bs.Aires, que comenzó a funcionar en 1996.

El primer satélite propio, el Nahuel I entró en órbita geo-estacionaria el 31 de enero de 1997, en la posición 71,8° Este, puesto en el espacio por un cohete Ariane francés.

El satélite tiene una altura de 2,50 m, una longitud de 22,40 m y un peso en el lanzamiento de 1780 kg.

El servicio está organizado en tres regiones, para las cuales se utilizan tres haces ("beam"), denominados A, B y L, usados para tener cobertura sobre Argentina, Brasil y Resto de América, respectivamente. Sus sistemas de estabilización en los tres ejes, poseen una tolerancia en el mantenimiento de la posición que no excede de 0,15°.

Tiene un peso seco de 828 kg, previéndose una vida útil de 12 años.

Fue construido para trabajar en la banda Ku, con 24 "transponders" de alta potencia con un ancho de banda de 54 MHz cada uno, de los cuales 18 son principales y 6 de reserva. Su capacidad máxima es de 36 canales de televisión (o 180 usando compresión digital), o su equivalente en 18000 canales de voz.

El sistema NAHUEL proporciona los siguientes servicios:

- Difusión de señales de radio y televisión, incluida la *televisión directa al hogar* ("Direct to Home TV").
- Servicios a redes telefónicas de alta capacidad.
- Servicios de datos, incluido acceso a Internet.
- Telesupervisión y Telecomando.



- Telefonía urbana y rural digitalizada.
- Seguimiento de vehículos y supervisión remota.
- “Trunking” nacional (re-utilización de un conjunto de frecuencias que son compartidas por varios usuarios).

### **3.2.5) El consorcio nacional ARSAT:**

El segundo satélite de NahuelSat debía ser colocado antes del 19 de octubre de 2003 en la posición de 81 grados oeste, lugar reservado al país por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT). Pero cuando llegó la fecha, la empresa ni siquiera había empezado a construir el aparato. El incumplimiento puso en riesgo la conservación de la posición orbital designada, que reclamaba Gran Bretaña. El gobierno nacional decidió ocupar la órbita 81 con un equipo alquilado al grupo holandés SES y en paralelo avanzar en la construcción de un satélite propio para ocupar la órbita 71,8 grados oeste, porque Nahuel-1 cumpliría su vida útil en 2010, momento en el que fue reemplazado con otro satélite alquilado.

El desarrollo y la construcción del satélite quedó a cargo del Invap, empresa rionegrina que trabajó en la fabricación de radares y reactores nucleares. El Arsat-1 se terminó de construir en julio del año 2013 y desde entonces fue sometido a diversas pruebas de resistencia en el Centro de Ensayos de Alta Tecnología (Ceatsa) que desarrolló el Invap. El artefacto permaneció por 34 días en la cámara de termovacío, que simula las condiciones del espacio, con un ciclado de bajas y altas temperaturas, desde -180 a 150 grados. Pasó por la prueba Shaker, una especie de súper batidora que imita las vibraciones que padece el satélite durante el lanzamiento y superó el test de volumen, con 90 parlantes que emitieron 142 decibeles directo al satélite.

El Arsat-1 está equipado con una antena para Televisión Digital Terrestre, Internet y telefonía sobre IP. Por eso se espera que cuando esté en pleno funcionamiento pueda brindar esos servicios en puntos del país con bajo o nulo nivel de conectividad en la actualidad. Esas funciones son mucho más exigentes que la observación científica, propósito del satélite SACD/Aquarius, desarrollado por el Invap junto a la NASA norteamericana y lanzado al espacio en 2011, y de sus predecesores. En relación con el SACD/Aquarius, el Arsat-1 es mucho más robusto, pesa casi 3 toneladas y tiene cuatro metros de alto y 16 de largo, con los paneles solares extendidos. También tiene una vida operativa más extensa, de quince años, frente a los cuatro años de los aparatos de uso científico. El Arsat-1 fue diseñado y ensamblado íntegramente en la Argentina, un orgullo para los científicos involucrados en el proyecto porque en ese club sólo se anotan por ahora los Estados Unidos, la Eurozona, Rusia, Israel, Japón, China y la India.

El satélite demandó por parte del Estado y a través del Ministerio de Planificación una inversión de 270 millones de dólares. Podría haber sido comprado al exterior a un precio probablemente menor. Pero la política científica e industrial, en todos lados, tiene costos, de otra manera no formaría parte de las decisiones estratégicas de un país. La construcción del Arsat-1 generó trabajo calificado en un importante número de pymes que crecieron alrededor del proyecto en actividades como cálculo estructural, piezas mecanizadas y equipos electrónicos.

En este momento se continúa trabajando en el Arsat-2 y el satélite científico Saocom, ambos para poner en órbita en 2015, y en el Arsat-3, agendado para 2017.

### **3.3) ONDAS DE RADIO:**

**3.3.1) Descripción física:** La diferencia más apreciable entre las microondas y las ondas de radio es que estas últimas son omnidireccionales, mientras que las primeras tienen un diagrama de radiación mucho más direccional. Por lo tanto, las ondas de radio no necesitan antenas parabólicas, ni necesitan que dichas antenas estén instaladas sobre una plataforma rígida para estar alineadas.



**3.3.2) Aplicaciones:** Con el término *radio* se alude de una manera poco precisa a toda la banda de frecuencias desde 3 kHz a 300 GHz. Aquí de una manera informal se está utilizando el término *ondas de radio* para aludir a la banda VHF y parte de la UHF: de 30 MHz a 1GHz. Este rango cubre la radio comercial FM así como televisión UHF y VHF. Este rango también se utiliza para una serie de aplicaciones de redes de datos.

**3.3.3) Características de transmisión:** El rango de frecuencias comprendido entre 30 MHz y 1GHz es muy adecuado para la difusión simultánea a varios destinos. A diferencia de las ondas electromagnéticas con frecuencias menores, la ionosfera es transparente para ondas con frecuencias superiores a 30 MHz. Así pues, la transmisión es posible cuando las antenas están alineadas, no produciéndose interferencias entre los transmisores debidas a las reflexiones con la atmósfera. A diferencia de la región de las microondas, las ondas de radio son menos sensibles a la atenuación producida por la lluvia.

Por la difracción en la atmósfera, la distancia máxima entre el transmisor y el receptor es ligeramente mayor que el alcance visual, es decir:

$$d = 7.14\sqrt{Kh} \quad [\text{km}]$$

Al igual que en las microondas, la atenuación debida simplemente a la distancia verifica:

$$L = 10 \log [4\pi d / \lambda]^2 \quad [\text{dB}]$$

Debido a que tiene una longitud de onda mayor, las ondas de radio sufren, en términos relativos, una atenuación menor.

Un factor determinante en las ondas de radio son las interferencias por multitrayectorias.

Entre las antenas, debido a la reflexión en la superficie terrestre, el mar u otros objetos, pueden aparecer multitrayectorias. Este efecto se observa con frecuencia en el receptor de TV y consiste en que se pueden observar varias imágenes (o sombras) cuando pasa un avión por el espacio cercano.

### 3.4) LASER:

Los sistemas láser de comunicaciones, transmiten por medio de emisores que generan un haz de luz coherente (visible o invisible al ojo humano), que convenientemente modulado, permite transmitir señales de información en enlaces punto a punto entre dos lugares geográficos distantes, pero a distancias visuales (algunas decenas de kilómetros).

Sus principales características:

- Equipos muy fáciles de instalar.
- Transmisión vulnerable a factores climáticos (niebla, rocío, lluvia, granizo, etc) que limitan su alcance y velocidad.
- Poseen enorme ancho de banda potencial.
- La antena receptora debe ser muy direccional

### 3.5) INFRARROJO:

Las comunicaciones mediante infrarrojos se llevan a cabo mediante transmisores/receptores («transceivers») que modulan luz infrarroja no coherente. Los transceivers deben estar bien alineados, transmitiendo directamente o mediante la reflexión en una superficie coloreada como puede ser el techo de una habitación. Una diferencia significativa entre la transmisión de rayos infrarrojos y las microondas es que los primeros no pueden atravesar las paredes. Por tanto, los problemas de seguridad y de interferencias que aparecen en las microondas no se presentan en este tipo de transmisión. Es más, no hay problemas de asignación de frecuencias, ya que en esta banda no se necesitan permisos.