

# Medios de Tx guiados y no guiados

## Contenido

Medios de Tx guiados y no guiados .....	2
Medios de Transmisión Guiados .....	2
Par trenzado .....	3
CABLE COAXIAL .....	6
Reflexión total interna (Ley de Snell) .....	7
FIBRA ÓPTICA .....	9
Guía de ondas.....	12
Medios de Transmisión no Guiados .....	12
Espectro radioeléctrico .....	12
Ondas de Radio, desde 30KHZ a 1GHZ.....	13
Frecuencia de Microondas desde 1GHZ a 40 GHz .....	13
Zona infrarroja desde $3 \times 10^{11}$ hasta $2 \times 10^{14}$ .....	13
ANTENAS .....	13
Propagación inalámbrica.....	16
Propagación superficial .....	16
Propagación Aérea .....	17
Propagación en trayectoria visual.....	18
Línea de visión óptica.....	18
Multitrayectorias.....	19

## Medios de Tx guiados y no guiados

Los medios de transmisión se pueden clasificar como guiados y no guiados. Los medios guiados proporcionan un camino físico a través del cual se propaga la señal; entre éstos están el par trenzado, el 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 la hace más atractiva que el coaxial y, en consecuencia, la fibra ha copado la mayor parte del mercado de las LAN de alta velocidad y las aplicaciones a larga distancia.

La emisión por radio, las infrarrojas, las microondas terrestres y las satelitales son las técnicas que se utilizan en la transmisión no guiada.

En el diseño de sistemas de transmisión es deseable que tanto la **distancia** como la **velocidad** de transmisión sean lo más grandes posibles.

Factores que determinan la distancia y 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:** La atenuación es uno de los principales factores que limita la distancia.
- **Interferencias:** En medios guiados se busca minimizarlas mediante su construcción física, ej trenzado del par y apantallamiento. En Medios no guiados se busca reducirla mediante técnicas de modulación.
- **Número de receptores:** En un medio guiado si se utiliza un enlace punto multipunto, ej divisor de coaxil para TV, cada uno de los conectores utilizados puede atenuar y distorsionar la señal

## 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 es punto a punto o multipunto. Los tres medios guiados que más se utilizan en la transmisión de datos son el par trenzado, el cable coaxial y la fibra óptica.

**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 para 3,5 kHz	0,2 dB/km @ 1 kHz	50 $\mu$ s/km	2 km
Pares trenzados (cables multi-pares)	0 para 1 MHz	3 dB/km @ 1 kHz	5 $\mu$ s/km	2 km
Cable coaxial	0 para 500 MHz	7 dB/km @ 10 MHz	4 $\mu$ s/km	1 a 9 km
Fibra óptica	180 para 370 THz	0,2 a 0,5 dB/km	5 $\mu$ s/km	40 km

THz = Terahercios =  $10^{12}$  Hz.

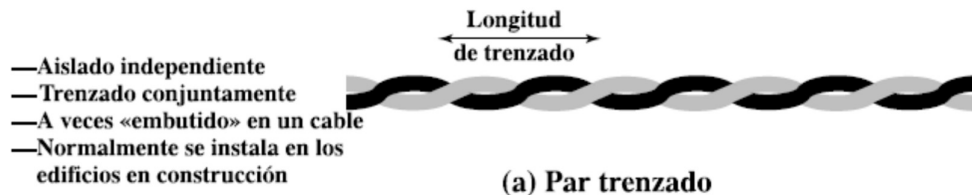
## Par trenzado

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

### Descripción física

El par trenzado consiste en dos cables de cobre embutidos en un aislante, entrecruzados en forma de bucle espiral.

Cada par de cables constituye un enlace de comunicación. Normalmente, varios pares se encapsulan conjuntamente mediante una envoltura protectora. En el caso de largas distancias, 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 se *trenzan con pasos de torsión diferentes*.

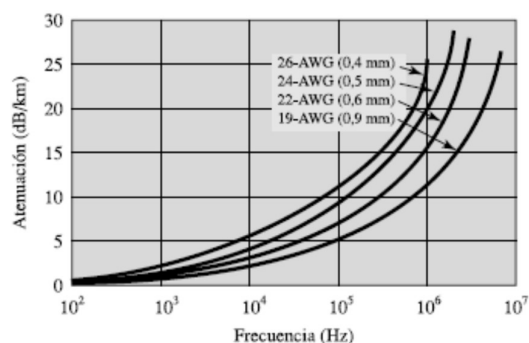
En enlaces de larga distancia, la longitud del trenzado varía entre 5 cm y 15 cm. Los conductores que forman el par tienen un grosor que varía entre 0,4 mm y 0,9 mm.

El par trenzado es el medio más usado en las redes de telefonía, se diseñaron para transportar tráfico de voz mediante señalización analógica. No obstante, con el uso del módem, esta infraestructura puede utilizarse para transportar tráfico digital a velocidades de transmisión reducidas, típicamente algunas decenas de Mbps.

Al transmitir señales analógicas exige amplificadores cada 5 km o 6 km. Para transmisión digital, el par requiere repetidores cada 2 km o 3 km.

El par trenzado es mucho menos costoso que cualquier otro medio de transmisión guiado (cable coaxial o fibra óptica) y, a la vez, es más sencillo de manejar.

## Gráfico atenuación por trenzado



(a) Pan trenzado (según [REEV95])

AWG es una nomenclatura americana sobre el diámetro del cable (cu), cuanto mayor el número más delgado el cable.

La diferencia esencial entre los cables tipo 3 a 7 está en el **número de trenzas** por unidad de longitud. El cable tipo 5 es más trenzado, siendo su paso de trenzado del orden de 0,6 cm a 0,85 cm, mientras que el tipo 3 tiene una trenza cada 7,5 cm o 10 cm.

Principales características del par trenzado:

Categoría	Estándar	Ancho de Banda	Velocidad	Distancia que Soporta	Características
<b>Categoría 1</b>	TIA/EIA-568-B	0,4 MHz	100 Kbps	100 Metros	Esta categoría consiste del cable básico de telecomunicaciones y energía de circuito limitado. Líneas telefónicas y módem de banda ancha.
<b>Categoría 2</b>	TIA/EIA-568-B	4 MHz	4 Mbit/s	100 Metros	Esta categoría de cable es capaz de transmitir datos hasta 4 Mbit/s. Generalmente ya dejó de ser usado.
<b>Categoría 3</b>	EIA/TIA-568	16 MHz	10 Mbit/s	100 Metros	El cableado de Categoría 3 se utiliza en redes 10BaseT y puede transmitir datos a velocidades de hasta 10 Mbps.
<b>Categoría 4</b>	EIA/TIA-568	20 MHz	16 Mbit/s	100 Metros	El cableado de Categoría 4 se utiliza en redes Token Ring y puede transmitir datos a velocidades de hasta 16 Mbps.
<b>Categoría 5 / 5e</b>	TIA/EIA-568-B	100 MHz	1000 Mbps	100 Metros	Está diseñado para señales de alta integridad. Estos cables pueden ser blindados o sin blindar. Este tipo de cables se utiliza a menudo en redes de ordenadores como Ethernet, y también se usa para llevar muchas otras señales como servicios básicos de telefonía, token ring, y ATM.
<b>Categoría 6</b>	ANSI/TIA/EIA-568B-2.1	250 MHz	1 Gbps	90 Metros	Posee características y especificaciones para crosstalk y ruido. El estándar de cable es utilizable para 10BASE-T, 100BASE-TX y 1000BASE-TX ( <i>Gigabit Ethernet</i> ).
<b>Categoría 6a</b>	ANSI/TIA/EIA-568B-2.10	550 MHz	10 Gbit/s	100 Metros	Operan a frecuencias de hasta 550 MHz (tanto para cables no blindados como cables blindados) y proveen transferencias de hasta 10 Gbit/s. La nueva especificación mitiga los efectos de la diafonía o <i>crosstalk</i> . Soporta una distancia máxima de 100 metros. En el cable blindado la diafonía externa ( <i>crosstalk</i> ) es virtualmente cero.
<b>Categoría 7 / 7a</b>	ISO/IEC 11801	600-1200 MHz	10 Gbit/s	100 Metros	El Cat 7 posee especificaciones aún más estrictas para crosstalk y ruido en el sistema que Cat 6. Para lograr esto, el blindaje ha sido agregado a cada par de cable individualmente y para el cable entero.

En el siguiente gráfico se indica a modo de referencia el sobre costo de mejorar la calidad de transmisión.

**Tabla 4.3.** Clases y tipos de pares trenzados.

	Tipo 3 Clase C	Tipo 5 Clase D	Clase 5E	Tipo 6 Clase E	Tipo 7 Clase F
Ancho de banda	16 MHz	100 MHz	100 MHz	200 MHz	600 MHz
Cable	UTP	UTP/FTP	UTP/FTP	UTP/FT	SSTP
Coste (tipo 5 = 1)	0,7	1	1,2	1,5	2,2

UTP = Par trenzado no apantallado (*Unshielded Twisted Pair*).

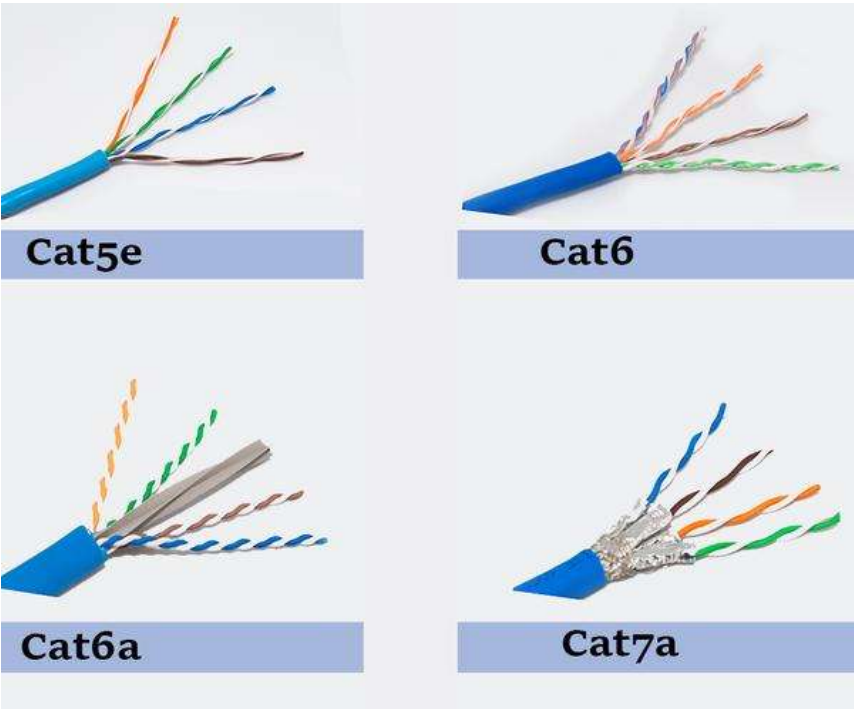
FTP = Par trenzado con papel de plata (*Foil Twisted Pair*).

SSTP = Par trenzado tipo 7 (*Shielded-Sreen Twisted Pair*).

Imagen de referencia de un conector de par trenzado.



Imagen comparativa de los diferentes tipos de categoría de par trenzado. Observar las diferencias de trenzado y el apantallado.



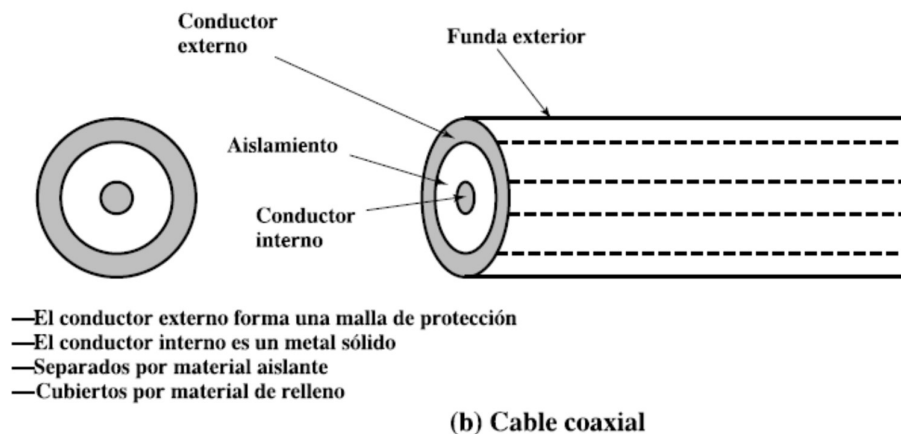
## Comparativo de tipos de cable y principales usos.

FEATURES / SPECS	CAT 5E	CAT 6	CAT 6E	CAT 6A	CAT 7
<b>Common Usage</b>					
Phone Lines	✓	✓	✓	✗	✗
Home Network	✓	✓	✓	✗	✗
Office Network	✓	✓	✓	✓	✗
Data Center	✗	✗	✓	✓	✓
<b>Potential Bandwidth (per sec)</b>					
	1000 Megabits	1000 Megabits	1000 Megabits	10,000 Megabits	10,000 Megabits
<b>Time to transfer 1 Terabyte</b>					
	3 hours	3 hours	3 hours	20 minutes	20 minutes
<b>Data Transmission</b>					
	1000 BASE-T	1000 BASE-TX	Exceeds 1000BASE-TX	10GBASE-T	Exceeds 10GBASE-T
<b>Connector Type</b>					
	RJ45 8P8C	RJ45 (for Cat6)	RJ45 (for Cat6)	RJ45 (for Cat6A)	GG45
<b>Frequency Range Minimum</b>					
	0 - 100 MHz	0 - 250 MHz	0 - 250 MHz	0 - 500 MHz	0 - 600 MHz
<b>Frequency Maximum</b>					
	350 MHz	500 MHz	550 MHz	600 MHz	750 MHz
<b>Performance Distance</b>					
	328 Feet	328 Feet	328 Feet	328 Feet	328 Feet
<b>Alt. Distance</b>					
		10Gb @ 180ft	10Gb @ 180ft		

## CABLE COAXIAL

### Descripción física

Consiste en un conductor cilíndrico externo que rodea a un cable conductor interior. 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 protege con una cubierta o funda. El cable coaxial tiene un diámetro aproximado entre 1 cm y 2,5 cm. Comparado con el par trenzado, el cable coaxial se puede usar para cubrir mayores distancias, así como para conectar un número mayor de estaciones en líneas compartidas.



El cable coaxial se emplea, principalmente, para la distribución de las señales de TV por cable hasta el domicilio de los usuarios, puede transportar cientos de canales, a distancias de hasta varias decenas de kilómetros.

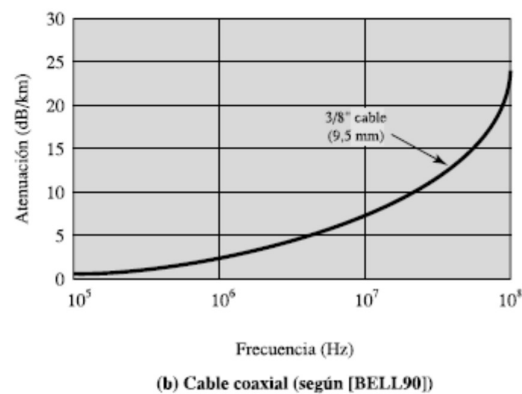
Tradicionalmente, el coaxial ha sido un elemento fundamental en la red de telefonía a larga distancia. En la actualidad tiene una fuerte competencia en la fibra óptica, las microondas terrestres y las comunicaciones vía satélite.

### Características de transmisión

El cable coaxial se usa para transmitir tanto señales analógicas como digitales. Como se puede observar en la Figura 4.3b, el cable coaxial tiene una respuesta en frecuencias mejor que la del par trenzado permitiendo, por tanto, mayores frecuencias y velocidades de transmisión.

Debido al apantallamiento, 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 sobre el mismo cable se usan simultáneamente varios canales o bandas de frecuencias (FDM).

Rango de 0 a 500MHZ

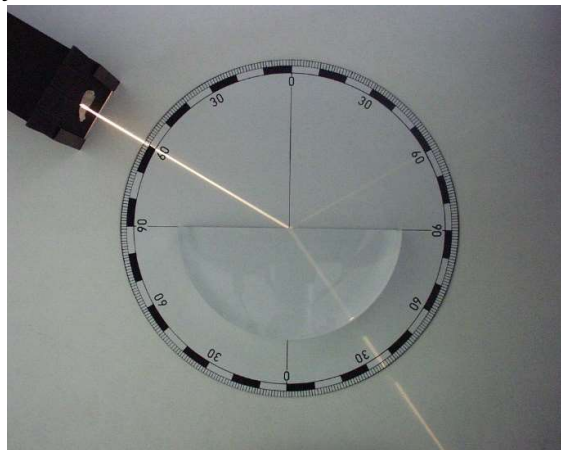


Referencia, ver tabla diferentes tipos de coaxil:[https://es.wikipedia.org/wiki/Cable\\_coaxial](https://es.wikipedia.org/wiki/Cable_coaxial)

Verificar en la tabla del link las diferencias de impedancia de RG-58 utilizado para VHF y RG-59 utilizado para TV.

### Reflexión total interna (Ley de Snell)

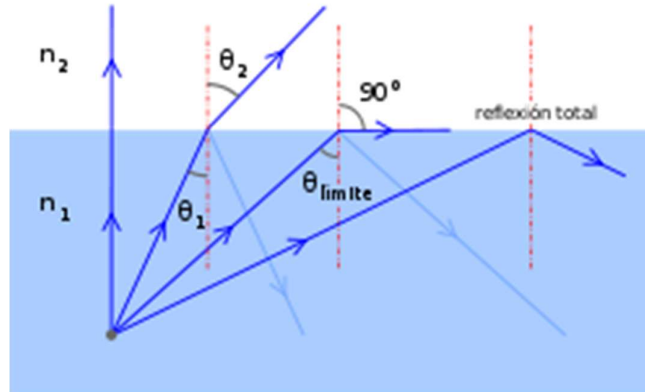
*Gráfico refracción y reflexión*





Un rayo de luz propagándose en un medio con índice de refracción  $n_1$  incidiendo con ángulo  $\theta_1$ , generará en un medio con índice de refracción  $n_2$  rayo de luz con ángulo  $\theta_2$ .

Es decir:  $n_1 \cdot \sin \theta_1 = n_2 \cdot \sin \theta_2 \Rightarrow$  si  $n_1 > n_2$  entonces  $\theta_2 > \theta_1$



Se denomina  $\theta_{\text{límite}}$  al ángulo de  $\theta_1$  cuando  $\theta_2$  es igual a  $90^\circ$   
 Por lo tanto,  $\theta_{\text{límite}} = \arcsin(n_2/n_1)$

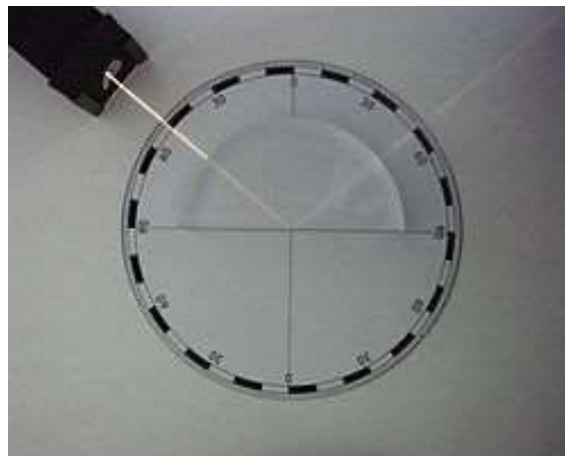
Calculemos el ángulo límite para un haz de luz entre el agua y el aire.

### Índices de refracción absolutos para la luz

Vacío	1.00
Aire	1.003
Agua	1.33
Alcohol	1.36
Vidrio	1.5
Diamante	2.42

$n_{\text{aire}} = 1,003$  y  $n_{\text{agua}} = 1,333 \Rightarrow \theta_{\text{límite}} = 48^\circ 56' 59''$

### Gráfico reflexión total interna





## FIBRA ÓPTICA

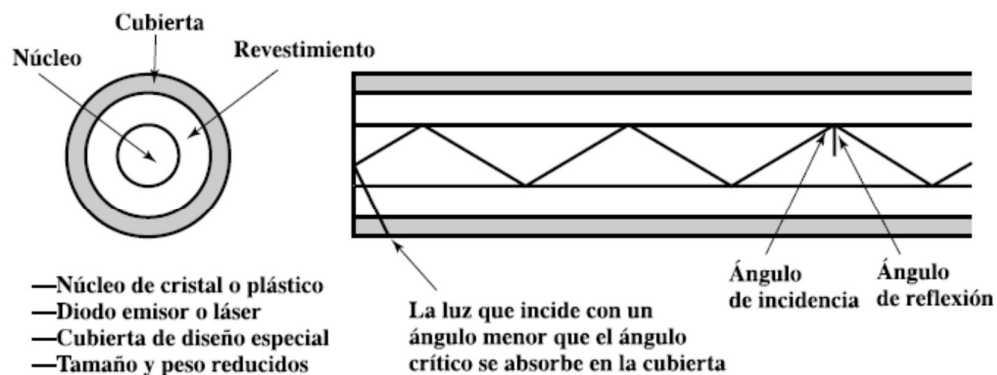
### Descripción física

La fibra óptica es un medio flexible y delgado (de 2 a 125 microm) 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 ultrapuro fundido. La fibra de plástico tiene un coste menor, pudiendo ser utilizada en enlaces de distancias más cortas.

Un cable de fibra óptica tiene forma cilíndrica y está formado por tres secciones concéntricas: el núcleo, el revestimiento y la cubierta.

En los sistemas de fibra óptica se usan dos tipos diferentes de fuentes de luz: los diodos LED (Light Emitting Diodes) y los diodos ILD (Injection Laser Diode). Ambos son dispositivos semiconductores que emiten un haz de luz cuando se les aplica una tensión. El LED es menos costoso, opera en un rango mayor de temperaturas y tiene un tiempo de vida media superior. El ILD es más eficaz y puede proporcionar velocidades de transmisión superiores.



(c) Fibra óptica

El **núcleo** es la sección más interna; está constituido por una o varias fibras de cristal o plástico, con un diámetro entre 8 y 100  $\mu\text{m}$ .

Cada fibra está rodeada por su propio **revestimiento**, que es otro cristal con propiedades ópticas distintas a las del núcleo. La separación entre el núcleo y el revestimiento actúa como un reflector, confinando así el haz de luz, ya que de otra manera escaparía del núcleo. La **cubierta** está hecha de plástico y otros materiales dispuestos en capas para proporcionar protección contra la humedad, la abrasión, posibles aplastamientos y otros peligros.

### Definición

La fibra óptica propaga internamente el haz de luz que transporta la señal codificada de acuerdo con el principio de **reflexión total**. Este fenómeno se da en cualquier medio transparente que tenga un índice de refracción mayor que el medio que lo contenga. (Ley de Snell)

### **Características:**

**Mayor capacidad:** El ancho de banda potencial y la velocidad de transmisión son mayores a cualquier otro medio de transmisión. Se pueden conseguir velocidades de transmisión de cientos de Gbps para decenas de kilómetros de distancia. (Comparar con CAT-6 y Coaxil)

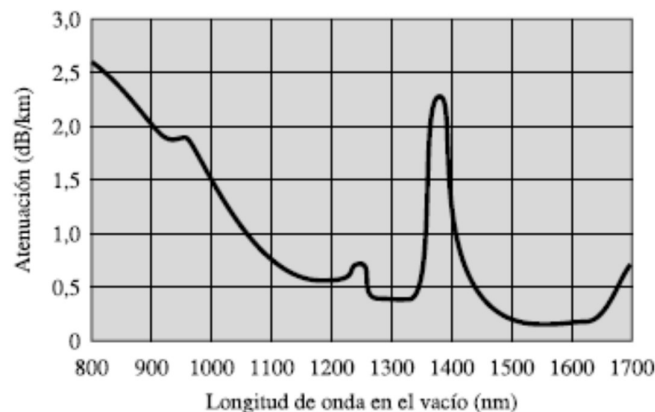
**Menor tamaño y peso:** La reducción en tamaño lleva a una reducción en peso que disminuye, a su vez, la infraestructura necesaria.

**Atenuación:** La atenuación es significativamente menor en las fibras ópticas que en los cables coaxiales y pares trenzados.

**Aislamiento electromagnético:** Estos sistemas no son vulnerables a interferencias, ruido impulsivo o diafonía. Por la misma razón, las fibras no radian energía, produciendo interferencias despreciables con otros equipos, la fibra es por construcción difícil de “copiar” la señal.

**Mayor separación entre repetidores:** Para la fibra se necesitan repetidores separados entre sí del orden de cientos de kilómetros, mientras que para el coaxil solo es de decenas de kilómetros.

### **Atenuación de FO**



(c) Fibra óptica (según [FREE02])

### **Fibra multimodo**

Una fibra multimodo es aquella en la que los haces de luz pueden circular por más de un modo o camino. Esto supone que no llegan todos a la vez. Una fibra multimodo puede tener más de mil modos de propagación de luz. Las fibras multimodo se usan comúnmente en aplicaciones de corta distancia, menores a 2 km, es simple de diseñar y económico.

El núcleo de una fibra multimodo tiene un índice de refracción superior, pero del mismo orden de magnitud, que el revestimiento. Debido al gran tamaño del núcleo de una fibra multimodo, es más fácil de conectar y tiene una mayor tolerancia a componentes de menor precisión.

**Fibra monomodo**

Una fibra monomodo es una fibra óptica en la que sólo se propaga un modo de luz. Se logra reduciendo el diámetro del núcleo de la fibra hasta un tamaño (8,3 a 10 micrones) que sólo permite un modo de propagación. Su transmisión es paralela al eje de la fibra. A diferencia de las fibras multimodo, las fibras monomodo permiten alcanzar grandes distancias (hasta 400 km máximo, mediante un láser de alta intensidad) y transmitir elevadas tasas de información (10 Gbit/s).

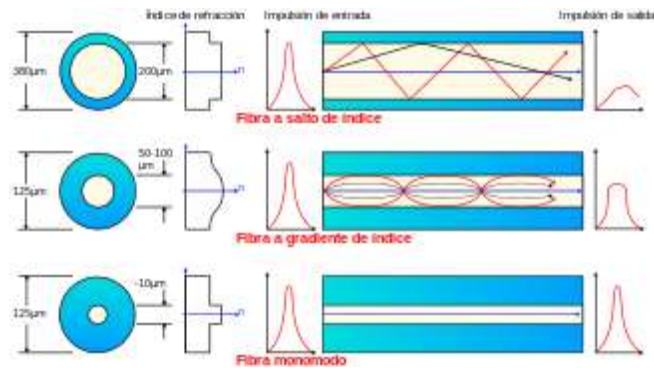


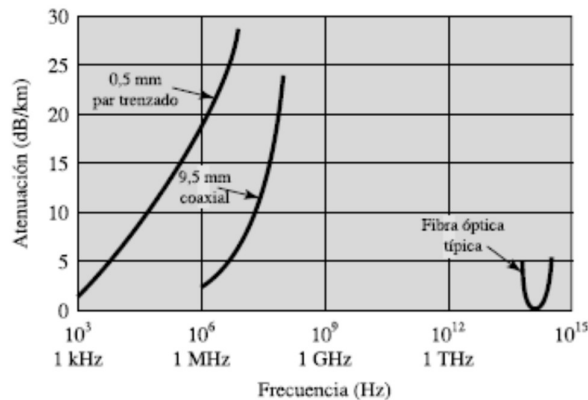
Tabla 4.5. Rangos de frecuencia para varias fibras ópticas.

Rango de longitudes de onda (en el vacío) (nm)	Rango de frecuencia (THz)	Etiqueta	Tipo de fibra	Aplicación
820 a 900	366 a 33		Multimodo	LAN
1.280 a 1.350	234 a 222	S	Monomodo	Varias
1.528 a 1.561	196 a 192	C	Monomodo	WDM
1.561 a 1.620	192 a 185	L	Monomodo	WDM

WDM = Multiplexación por división en frecuencias (Wavelength Division Multiplexing, véase Capítulo 8).

Observar ancho de banda disponible.

**Comparativa atenuación de par trenzado vs coaxil vs FO**



(d) Gráfica compuesta

## Guía de ondas

Es utilizado como feeder de Microondas, las altas frecuencias permiten que la señal se propague confinada dentro de la guía.



## Medios de Transmisión no Guiados

### Espectro radioeléctrico

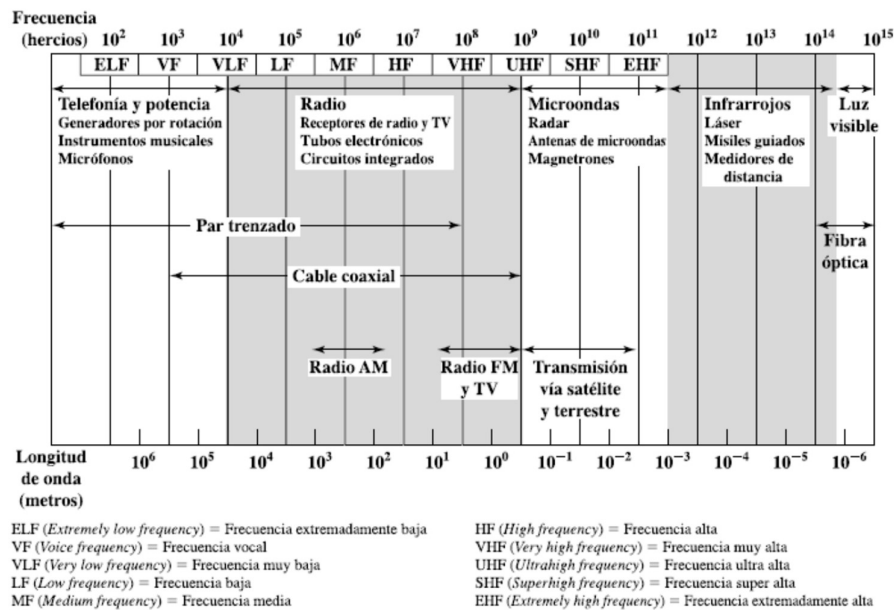


Figura 4.1. Espectro electromagnético para las telecomunicaciones.

En el estudio de comunicaciones inalámbricas vamos a considerar tres intervalos de frecuencias:

### Ondas de Radio, desde 30KHZ a 1GHZ

(Si bien se indica como 30MHz en la bibliografía)

Características:

- Enlaces punto a multipunto
- Antenas Omnidireccionales
- Uso para Radio AM, FM, TV Abierta, telefonía celular (850MHz)
- Propagación por multitrayectorias, (Fading e interferencia).

### Frecuencia de Microondas desde 1GHZ a 40 GHz

Características:

- Enlaces Punto a Punto
- Antenas Direccionales y Omnidireccionales
- Uso para TV, Telecomunicaciones (1900MHz), WiFi (2,4GHz y 5GHz), Microondas y enlaces Satelitales (6GHz/4GHz up/down). Órbita geoestacionaria a 35.784Km para enlaces permanentes.

### Zona infrarroja desde $3 \times 10^{11}$ hasta $2 \times 10^{14}$

Características:

- Modulación luz infrarrojo.
- Direccional, no atraviesa obstáculos Ej Paredes.
- Uso para control remoto, guía de misiles
- Frecuencia no licenciada.

**ENACOM** ente regulador que administra la asignación de Licencias.

### ANTENAS

Una antena se puede definir como un conductor eléctrico utilizado para radiar o captar energía electromagnética, radiándose a la atmósfera, el espacio o el agua.

La **ganancia de una antena** es una medida de su **direccionalidad**.

Dada una dirección, se define la ganancia de una antena como la potencia de salida, en esa dirección, comparada con la potencia transmitida por una antena omnidireccional ideal (o antena **isotrópica**).

Es importante resaltar que *la ganancia de una antena* no se refiere al incremento de potencia transmitida respecto a la potencia de entrada, sino que *es una medida de la direccionalidad*.

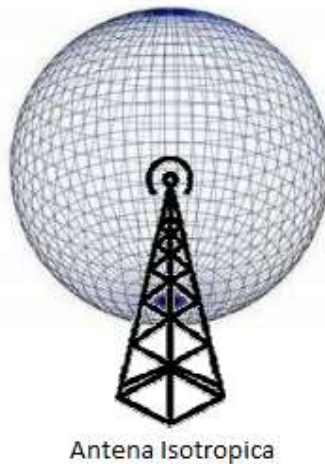
Ganancia=  $10 \times \log(\text{Potencia Medida} / \text{Potencia de referencia})$

## ➤ Tipo de Antenas

- Omnidireccional o Isotrópica

Idealmente es un punto en el espacio que radia potencia de igual forma en todas las direcciones. El diagrama de radiación consistirá en una esfera centrada en la posición de la antena isotrópica.

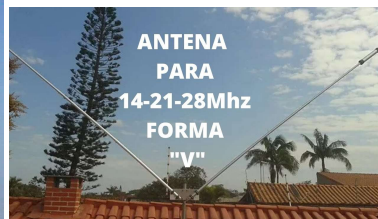
Uso general (Telefonia Celular, wifi, Radio AM/FM)

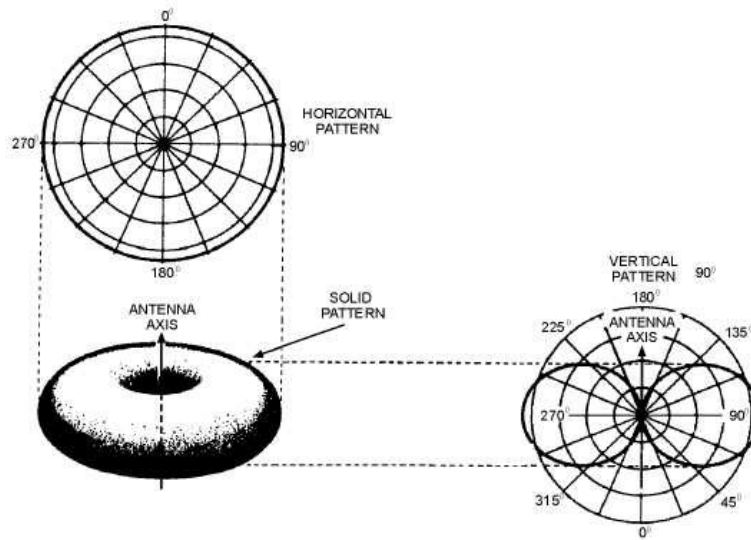


- Dipolo

En su versión más sencilla, el dipolo consiste en dos elementos conductores rectilíneos colineales de igual longitud, alimentados en el centro, y de radio  $q$  menor que el largo. La longitud del dipolo es la mitad de la longitud de onda de la frecuencia de resonancia del dipolo.

Suelen utilizarse variantes como Dipolo doblado (Antena FM), V invertida, Loop (Radio aficionados), permiten reducir espacio a costa de perder eficiencia.



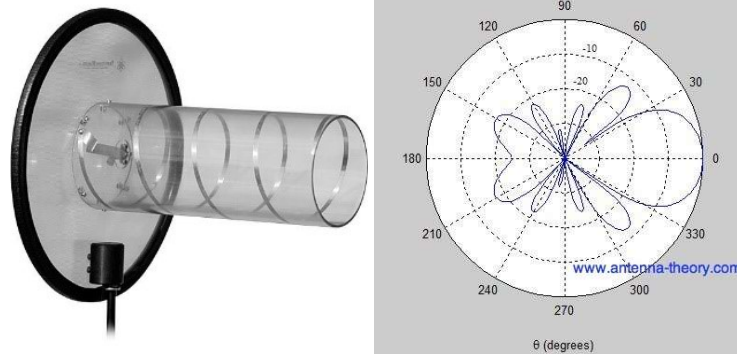


Calcular longitud del dipolo para una frecuencia  $F=102,3\text{MHz}$

$$L=1,46\text{mts} \quad (3 \cdot 10^8 / 102,3 \cdot 10^6) / 2$$

- Helicoidal (Monopolo solenoide)

Similar al Dipolo, pero de la mitad de longitud del dipolo, se enrolla para darle forma de solenoide. Altamente utilizado en walkie-talkies y recepción satelital (Banda UHF)



- Parabólica de reflexión,

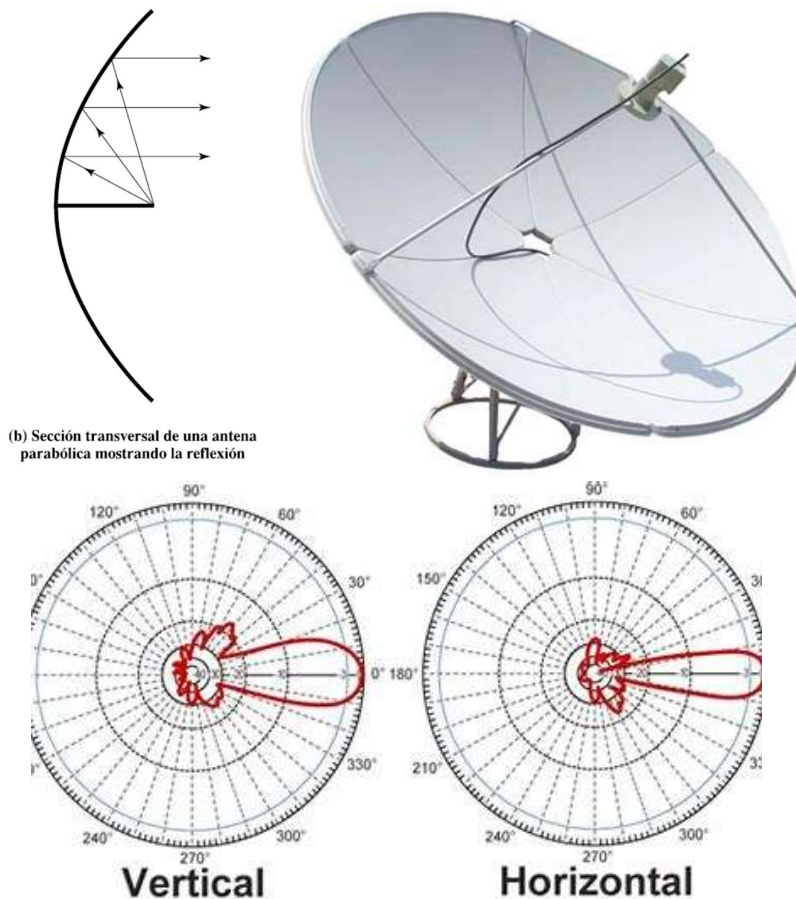
Una parábola es el lugar geométrico de todos los puntos que equidistan de una línea recta (generatriz) y de un punto fijo (Foco).

Los haces de energía electromagnética se concentran en el foco.

Utilizadas en microondas terrestres y comunicaciones satelitales

La antena más común en las microondas es la parabólica tipo «plato». El diámetro típico es de unos 3 metros.





## Propagación inalámbrica

Toda señal radiada por una antena puede seguir tres posibles trayectorias: la superficial, la aérea o la trayectoria visual

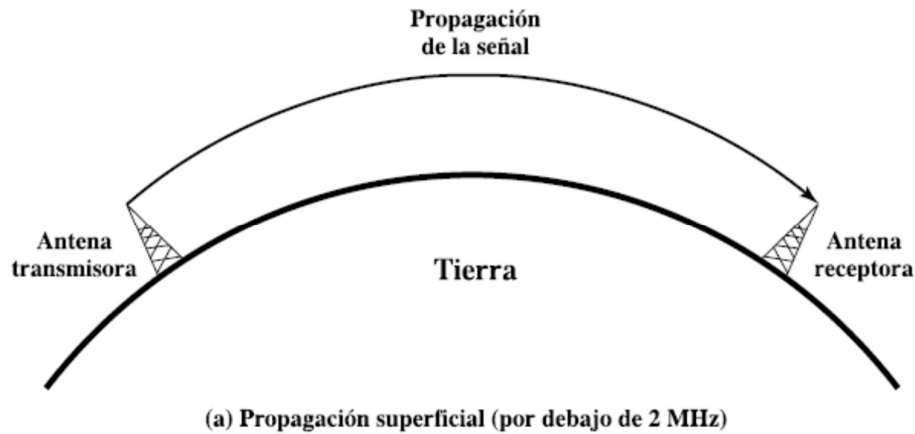
### Propagación superficial

- Frecuencias < 2MHz

La propagación superficial (Ground wave) sigue el contorno de la superficie terrestre, pudiendo alcanzar grandes distancias, mas allá del horizonte visual.

El primer factor es que la onda electromagnética induce una corriente en la superficie terrestre que frena al frente de onda cerca de la superficie, haciendo que éste se curve hacia abajo, adaptándose así a la curvatura de la superficie terrestre. Otro de los factores es la difracción, la cual es un fenómeno que tiene que ver con el comportamiento de las ondas electromagnéticas en presencia de obstáculos.

Las ondas electromagnéticas a estas frecuencias son dispersadas por la atmósfera, de forma tal que no llegan a penetrar en las capas altas.



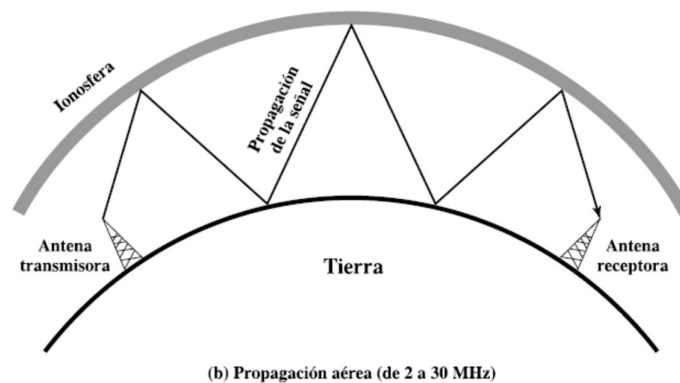
El ejemplo más conocido es la Radio AM (530 a 1500 KHz) alcances de 500 a 700Km.

### Propagación Aérea

- Frecuencias > a 2MHz y < a 30MHz

La propagación aérea de ondas (Sky Wave) es utilizada por los radioaficionados y en las emisiones internacionales de radio comercial, como la BBC.

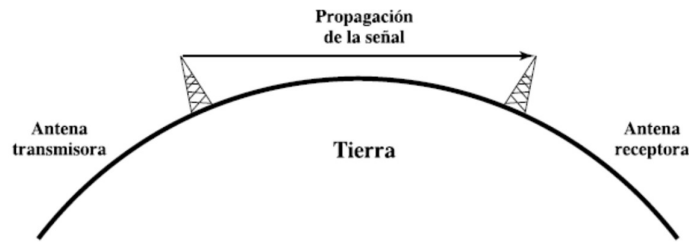
En este tipo de propagación, la señal proveniente de la antena terrestre se refracta en la capa ionizada de la atmósfera alta (la ionosfera), volviendo así hacia la tierra. Una señal que se propague de esta manera se desplazará dando una serie de saltos, entre la ionosfera y la superficie terrestre consiguiendo que la onda se reciba a miles de kilómetros del transmisor.



## Propagación en trayectoria visual

➤ Frecuencias > a 30MHz

Por encima de 30 MHz, las comunicaciones siguen la línea de visión (LOS, Line-of-Sight). En las comunicaciones vía satélite, la antena emisora y la receptora deben estar alineadas según la trayectoria visual efectiva. Se usa el término efectiva ya que las microondas se refractan por la atmósfera "curvando" la señal, pero no lo suficiente para que se produzca una reflexión y la señal regrese a la tierra. Es por esto que no habrá comunicación satelital con línea de "vista" inferior al horizonte.



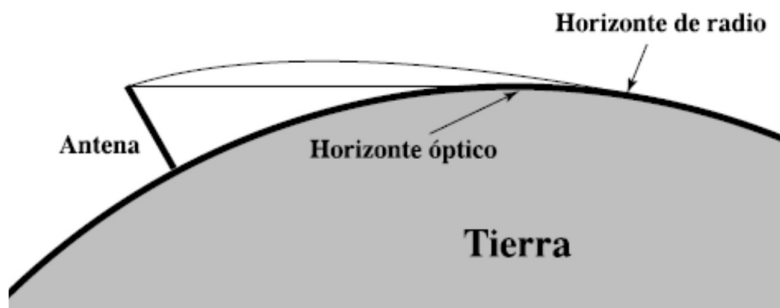
(c) Propagación en la trayectoria visual (por encima de 30 MHz)

Figura 4.8. Modos de propagación inalámbricos.

## Línea de visión óptica

Si no hay obstáculos, la línea de visión **óptica** se puede expresar cómo:  $d=3,57\sqrt{h}$  donde d es la distancia entre la antena y el horizonte en *kilómetros* y h es la altura de la antena en *metros*.

La línea de visión **efectiva**, o de radio, se expresa como:  $d=3,57\sqrt{kh}$  donde K es un factor de ajuste que tiene en cuenta la refracción. Una buena aproximación es  $K=4/3$ . Así, la distancia máxima entre dos antenas siguiendo propagación LOS es  $d=3,57(\sqrt{k} h_1 + \sqrt{k} h_2)$ . Donde h1 y h2 son respectivamente las alturas de las antenas.



Calculemos la distancia óptica y de propagación si la antena está a  $H_1=100\text{mts}$

$$D_{\text{óptica}} = 3,57 \cdot \sqrt{H_1} \Rightarrow 35,7 \text{ kms}$$

$$D_{\text{propagación}} = 3,57 \cdot \sqrt{kH_1} \Rightarrow 41,2 \text{ Km}$$

Calculemos la distancia de propagación si  $H_1=50\text{mts}$  y  $H_2=50\text{mts}$

$$D=3,57*(\sqrt{kH_1}+\sqrt{kH_2}) \Rightarrow 58,3\text{Kms}$$

En resumen, para lograr mayor distancia de propagación es necesario considerar la altura de la antena receptora.

## Multitrayectorias

En enlaces inalámbricos, como microondas o satelital, es factible diseñar la ubicación de las antenas de forma tal que no haya obstáculos entre ellas, así estarán perfectamente alineadas siguiendo la trayectoria visual desde la antena emisora a la receptora.

En otros casos, como en la telefonía móvil, hay un gran número de obstáculos. La señal se refleja en tantos obstáculos que el receptor recibirá varias versiones de la señal con retardos diferentes. De hecho, en casos extremos, no se recibirá la señal directa. En la telefonía móvil o en transmisiones entre antenas no fijas, las multitrayectorias son un problema de suma importancia.

La señal recibida total es la combinación de la señal recibida por todas las trayectorias, esto producirá el efecto que la intensidad de la señal varíe aun sin mover la ubicación de las antenas transmisoras y receptoras, a este efecto se le llama Fading.

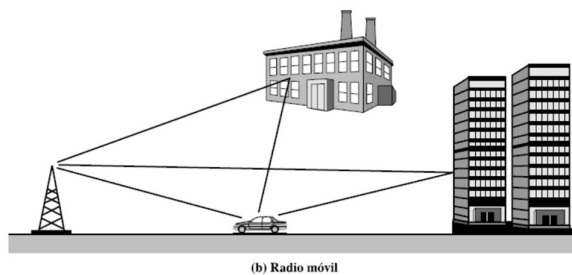


Figura 4.11. Ejemplos de interferencias por multitrayectorias.

