

# MEDIOS DE TRANSMISIÓN

---

## Módulo 5

## **Temas a tratar**

- 1. Medios de transmisión guiados**
  - a) Cable par trenzado
  - b) Cable coaxil
  - c) Fibra óptica
- 2. Medios de transmisión no guiados**
  - a) Antenas
  - b) Microondas terrestre
  - c) Microondas Satelital
  - d) Radiodifusión
  - e) Infrarrojo
- 3. Propagación de la señal en medios no guiados**

## Objetivos del Módulo

**Al finalizar el presente módulo, el alumno debe:**

- 1. Conocer los distintos tipos de medios guiados, y entender los valores asociados a las prestaciones de cada uno (rango de frecuencias, atenuación, retardo, etc.)**
- 2. Identificar y comprender los atributos de las comunicaciones inalámbricas**
- 3. Saber interpretar y aplicar conceptos referidos a los modos de propagación de la señal en medios no guiados**

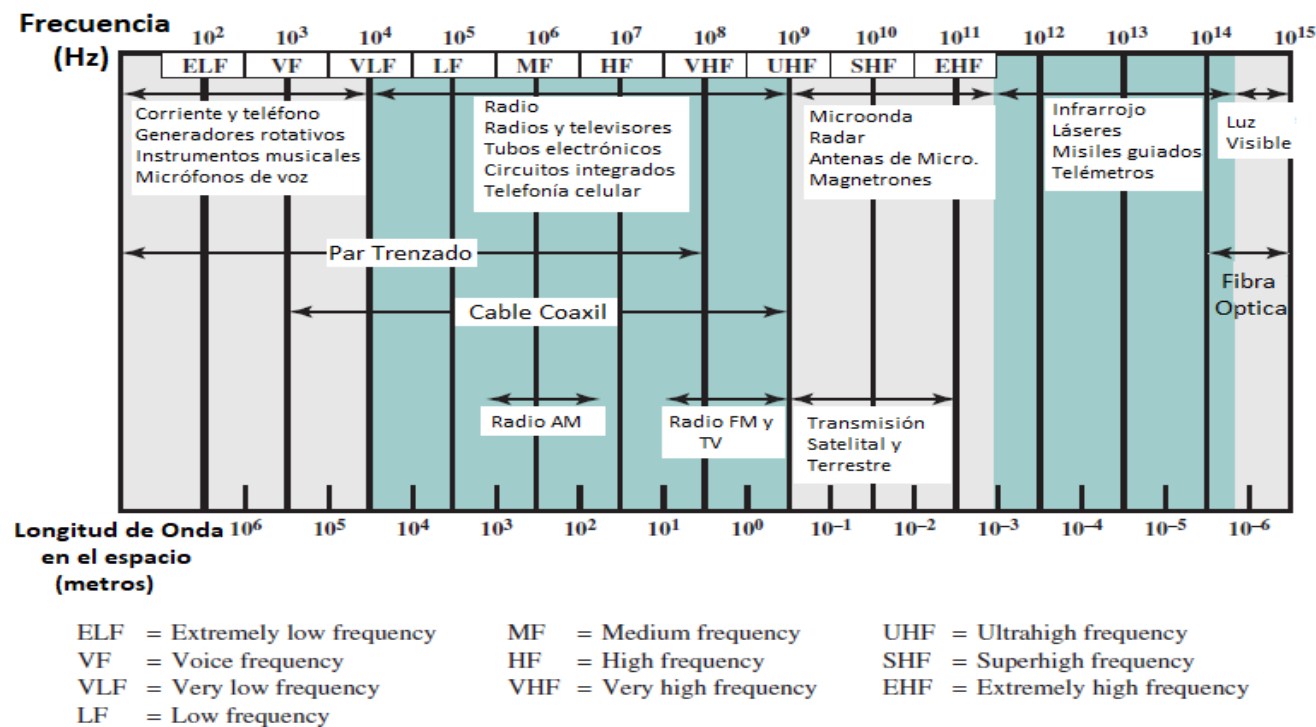
# Introducción

## Factores que inciden en la distancia y la velocidad de transmisión de datos

1. Ancho de banda del medio de transmisión
2. Deficiencias en la transmisión (Atenuación, Distorsión, Ruido, entre otros)
3. Interferencias (Diafonía, Paradiafonía, Crosstalk)
4. Número de receptores (líneas punto a punto o punto multipunto)

# Introducción

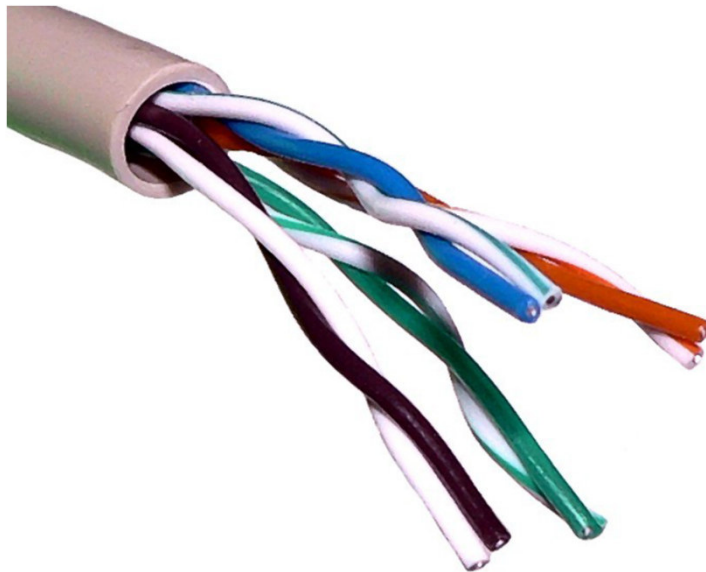
## Espectros de Frecuencias y Medios de Transmisión



## Medios Guiados: Características específicas

	Rango de Frecuencias	Atenuación Típica	Retardo Típico	Espacio entre repetidores
Par trenzado	0 a 3,5 KHz	0,2 dB/km @ 1 kHz	50 $\mu$ s/km	2 km
Par trenzado (multipar)	0 a 1 MHz	0,7 dB/km @ 1 kHz	5 $\mu$ s/km	2 km
Cable Coaxil	0 a 500 MHz	7 dB/km @ 10 MHz	4 $\mu$ s/km	1 a 9 km
Fibra Óptica	186 a 370 THz	0,2 a 0,5 dB/km	5 $\mu$ s/km	40 km

## Medios Guiados: Cable de par trenzado



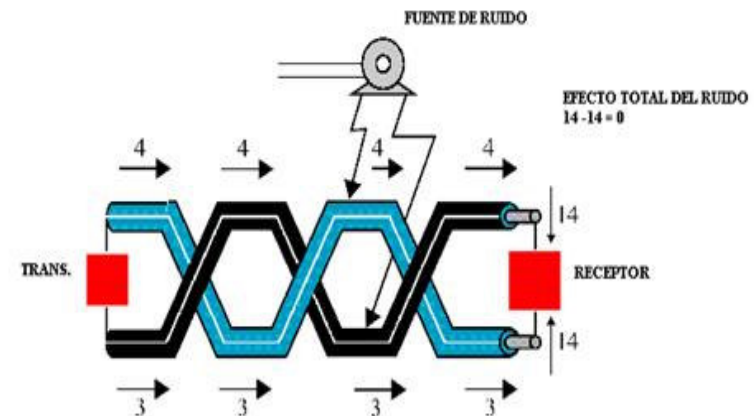
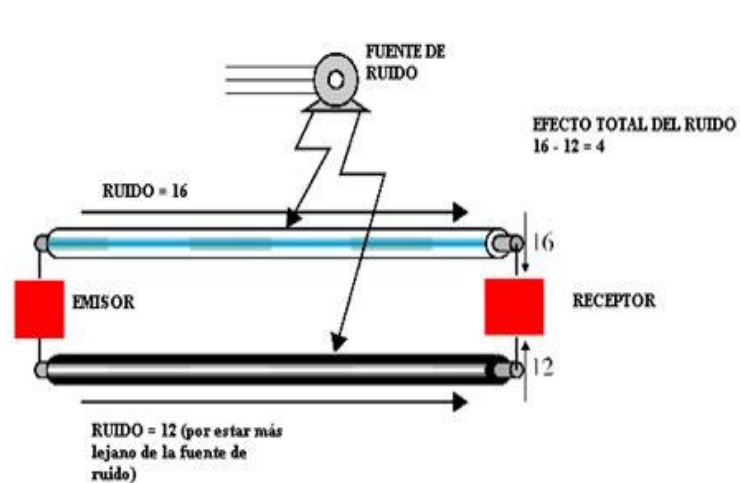
## Medios Guiados: Cable de par trenzado

- ✓ Este tipo de cable, está formado por el conductor interno el cual está aislado por una capa de polietileno coloreado. Debajo de este aislante existe otra capa de aislante de polietileno la cual evita la corrosión del cable debido a que tiene una sustancia antioxidante.
- ✓ Normalmente este cable se utiliza por pares o grupos de pares, no por unidades, conocido como cable multipar. Para mejorar la resistencia del grupo se trenzan los cables del multipar.
- ✓ Los colores del aislante están estandarizados, y son los siguientes: Naranja/Blanco-Naranja, Verde/ Blanco-Verde, Azul/ Blanco-Azul, Marrón/Blanco-Marrón.
- ✓ Cuando ya están fabricados los cables unitariamente y aislados, se trenzan según el color que tenga cada uno. Los pares que se van formando se unen y forman subgrupos, estos se unen en grupos, los grupos dan lugar a super-unidades, y la unión de super-unidades forma el cable.



# Medios Guiado: Cable de par trenzado

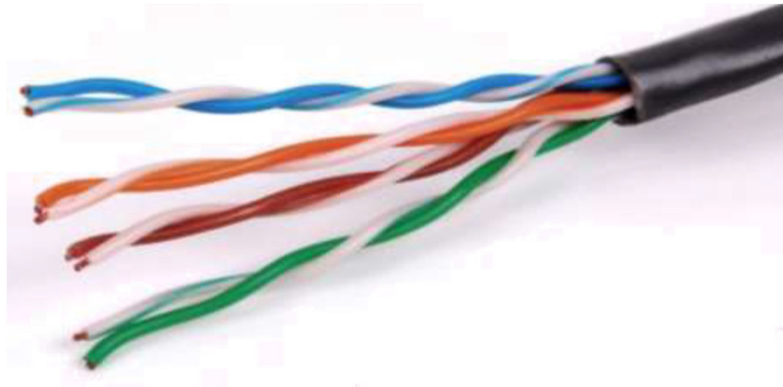
¿Por qué se trenzan los cables?



# Medios Guiados: Cable de par trenzado

## Cable UTP

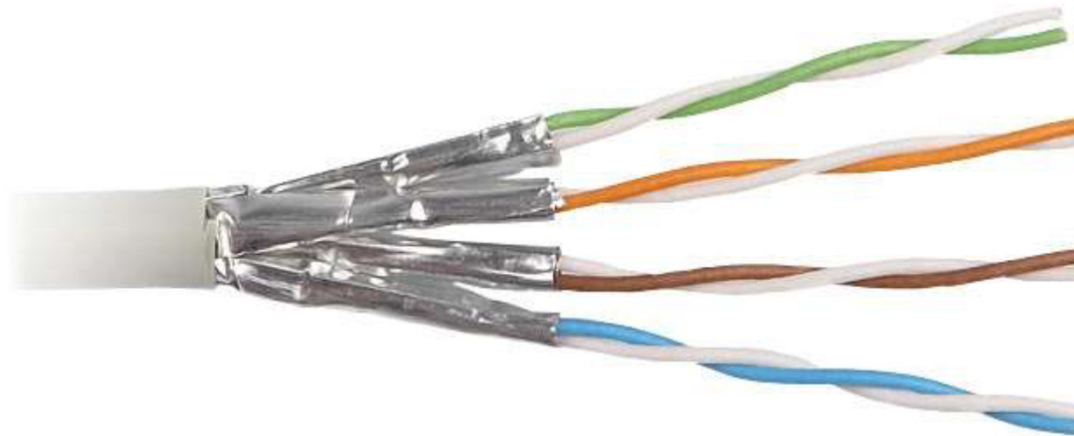
El cable de par trenzado sin blindaje(Unshielded Twisted Pair) es el tipo más frecuente de medio de comunicación que se usa actualmente.



# Medios Guiados: Cable de par trenzado

## Cable STP

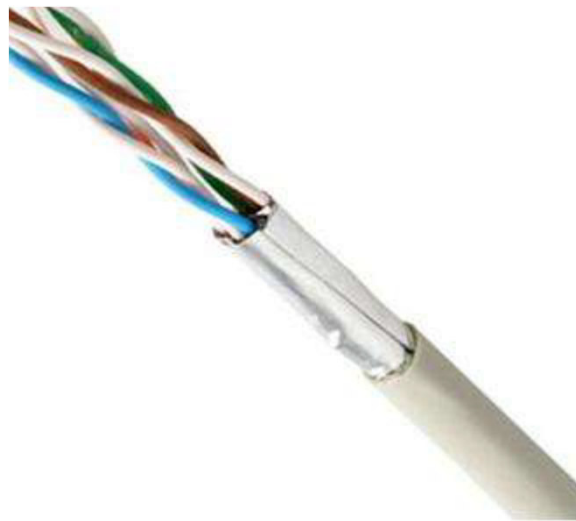
- ✓ El cable de par trenzado blindado(STP, Shielded Twisted Pair) tiene una funda de metal o un recubrimiento de malla entrelazada que rodea cada par de conductores aislados.
- ✓ Los materiales y los requisitos de fabricación del STP son más caros que los del UTP, pero dan como resultado cables menos susceptibles al ruido.



# Medios Guiados: Cable de par trenzado

## Cable FTP

El cable de par trenzado con pantalla global (Foiled Twisted Pair), tiene sus pares no apantallados (como el UTP), pero sí dispone de una apantalla global para mejorar su nivel de protección ante interferencias externas.



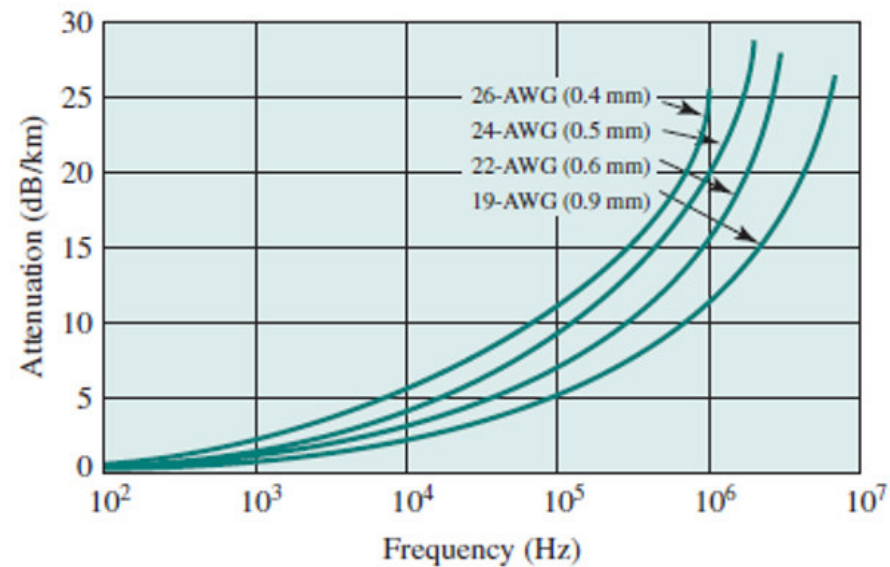
# Medios Guiados: Cable de par trenzado

Categorías (ANSI / TIA-568-C.2 – 2009)

	Category 5e Class D	Category 6 Class E	Category 6A Class E <sub>A</sub>	Category 7 Class F	Category 7 <sub>A</sub> Class F <sub>A</sub>
Ancho de Banda	100 MHz	250 MHz	500 MHz	600 MHz	1,000 MHz
Tipo de Cable	UTP	UTP/FTP	UTP/FTP	S/FTP	S/FTP
Pérdida Inserción (dB)	24	21.3	20.9	20.8	20.3
Pérdida Next (dB)	30.1	39.9	39.9	62.9	65
ACR (dB)	6.1	18.6	19	42.1	44.1

# Medios Guiados: Cable de par trenzado

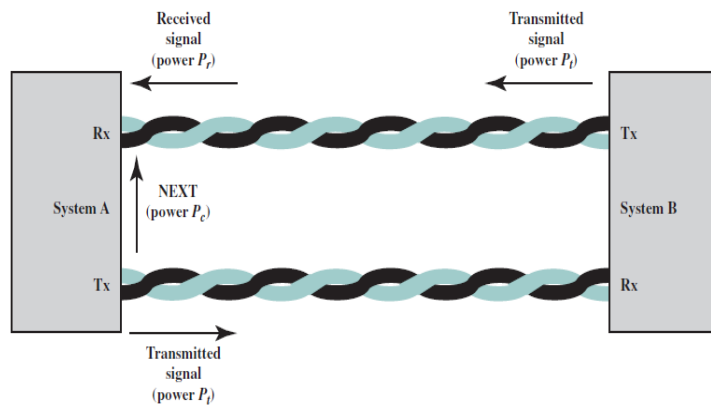
## Atenuación en función de las frecuencias



(a) Par Trenzado

# Medios Guiados: Cable de par trenzado

## Pérdida de Inserción y Next (pérdida de diafonía)



### Next (Near end crosstalk)

$$\text{NEXT}_{\text{dB}} = 10 \log_{10} (P_t / P_c) \quad (P_c: \text{potencia del crosstalk})$$



### Pérdida de Inserción

$$A_{\text{dB}} = 10 \log_{10} (P_t / P_r) \quad (P_t: \text{potencia transmission, } P_r: \text{Potencia recepción})$$

# Medios Guiados: Cable de par trenzado

## Parámetros que se miden en un cable UTP

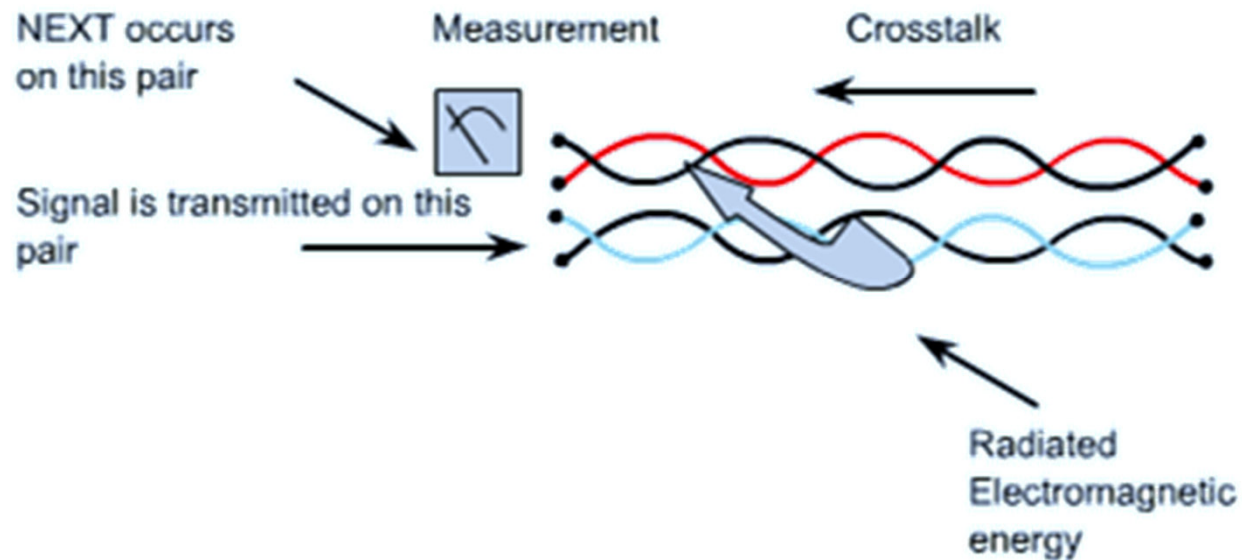
Parámetros	CAT 5 (ISO ClaseD)	CAT 5	CAT 5e Propuesta	CAT 6 TIA/EIA Propuesta	CAT 6 ISO Clase E Propuesta	CAT 7 ISO Clase F
	100 Mhz	100 Mhz	100 Mhz	250 Mhz	250 Mhz	600 Mhz
Atenuación	24.0 dB	24.0 dB	24.0 dB	31.82 dB	36.0 dB	54.1 dB
NEXT	27,1 dB	27.1 dB	30.1 dB	35.35 dB	33.1 dB	51.0 dB
PSNEXT	24.0 dB	N/a	27.1 dB	32.72 dB	30.2 dB	48.0 dB
ELFEXT	17.0 dB	17.0 dB	17.4 dB	17.25 dB	15.3 dB	*EF
PSELFEXT	14.4 dB	14.4 dB	14.4 dB	14.25 dB	12.3 dB	*EF
ACR	3.1 dB	3.1 dB	6.1 dB	TBD	-2.9 dB	-3.1 dB
PSACR	N/a	N/a	3.1 dB	TBD	-5.8 dB	-6.1 dB
Return Loss	10.0 dB	8.0 dB	10.0 dB	11.32 dB	8.0 dB	8.7 dB

Nota: \*EF indica características para un estudio futuro



# Medios Guiados: Cable de par trenzado

## Paradiafonía (NEXT): diafonía cerca del extremo



# Medios Guiados: Cable de par trenzado

## Paradiafonía (NEXT): diafonía cerca del extremo

### Cálculo Amplitud de Voltaje

- ✓ Se calcula como la relación entre la amplitud de voltaje de la señal de prueba y la señal diafónica, medida en el mismo extremo del enlace.
- ✓ Medido en el extremo del enlace cercano al transmisor
- ✓ Diferencia expresada en dB negativos
- ✓ Probadores de cable no muestran signo (-)
- ✓ Debe ser medido de cada par a cada otro par y desde ambos extremos del enlace
- ✓ Es mejor un número mayor. Un cable con 30 dB tiene menos ruido NEXT que uno con 10dB

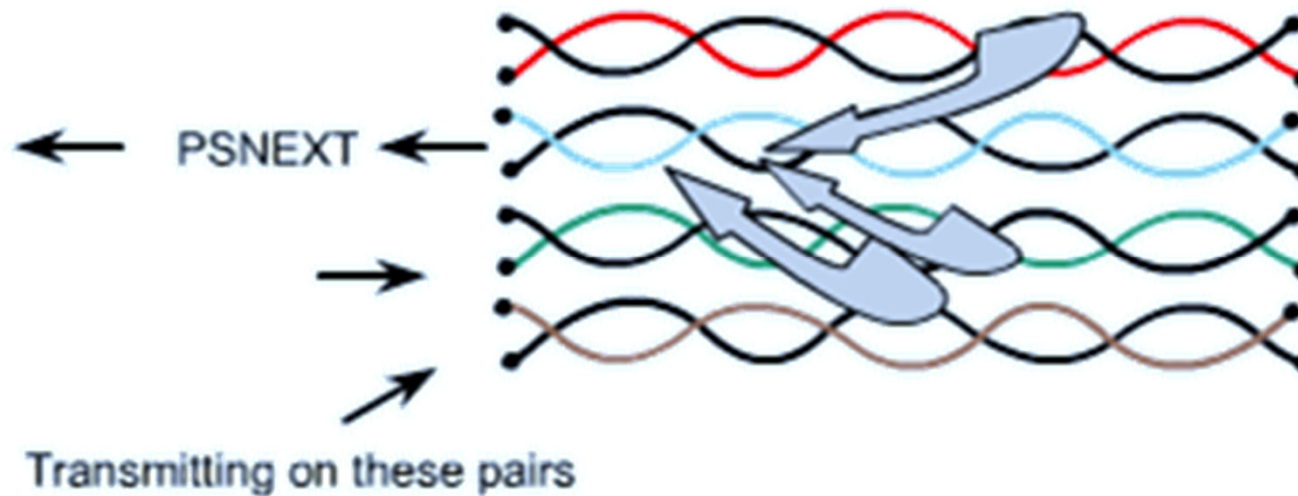
## Medios Guiados: Cable de par trenzado

Telediafonía (FEXT) (Far-end Crosstalk): diafonía lejos del extremo



## Medios Guiados: Cable de par trenzado

Paradiafonía de suma de potencia (PSNEXT): Suma de energía de la diafonía cerca del extremo



## Medios Guiados: Cable de par trenzado

Paradiafonía de suma de potencia (PSNEXT): Suma de energía de la diafonía cerca del extremo

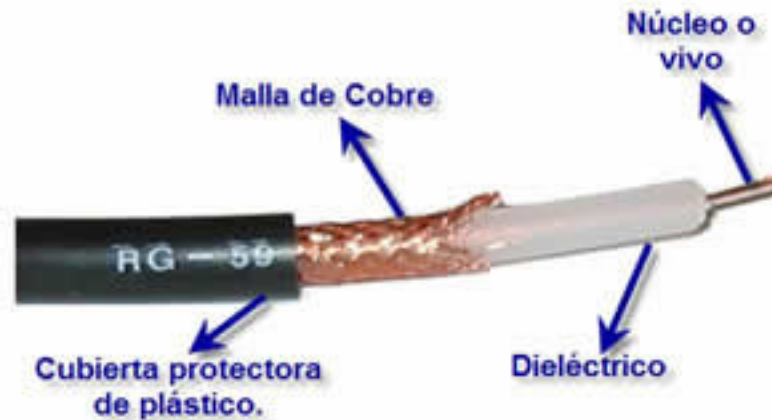
- ✓ Mide los efectos acumulativos de NEXT de todos los pares del cable
- ✓ PSNEXT de un par del cable = Suma de NEXT sobre los otros tres pares del cable
- ✓ En la actualidad, la certificación TIA/EIA-568-B exige esta prueba de PSNEXT

Algunos estándares Ethernet:

- ✓ 10BASE-T y 100BASE-TX reciben datos de solo un par de hilos en cada dirección: No es muy importante PSNEXT
- ✓ 1000BASE-T recibe datos simultáneamente de múltiples pares en la misma dirección, PSNEXT es una prueba importante

## Medios Guiados: Cable coaxil

- ✓ Usado en redes datos desde hace 40 años (Ethernet 10BASE5 y 10BASE2) o en ciertas aplicaciones. Mejor apantallamiento y mas ancho de banda en distancias largas que el cable de par trenzado.
- ✓ En la actualidad se usa en televisión por cable, entre el emisor (ejemplo un puente) y su antena de emisión, entre el televisor y la antena del mismo, en algunas redes telefónicas interurbanas, etc..



# Medios Guiados: Fibra Óptica

La fibra óptica consta de un medio flexible y fino capaz de transportar un haz de luz (común o láser).

## Materiales conductores de luz

- **Plástico:** es el más económico pero introduce mayor atenuación. Se usa para transmisiones de corta distancia (1Km).
- **Multicomponente:** intermedio entre los dos extremos.
- **Cristal de silicio fundido ultra puro:** introduce mínima atenuación. Este medio es difícil de fabricar y es el de mayor costo. Puede llegar a cubrir distancias de 80 Km sin repetidores.

# Medios Guiados: Fibra Óptica

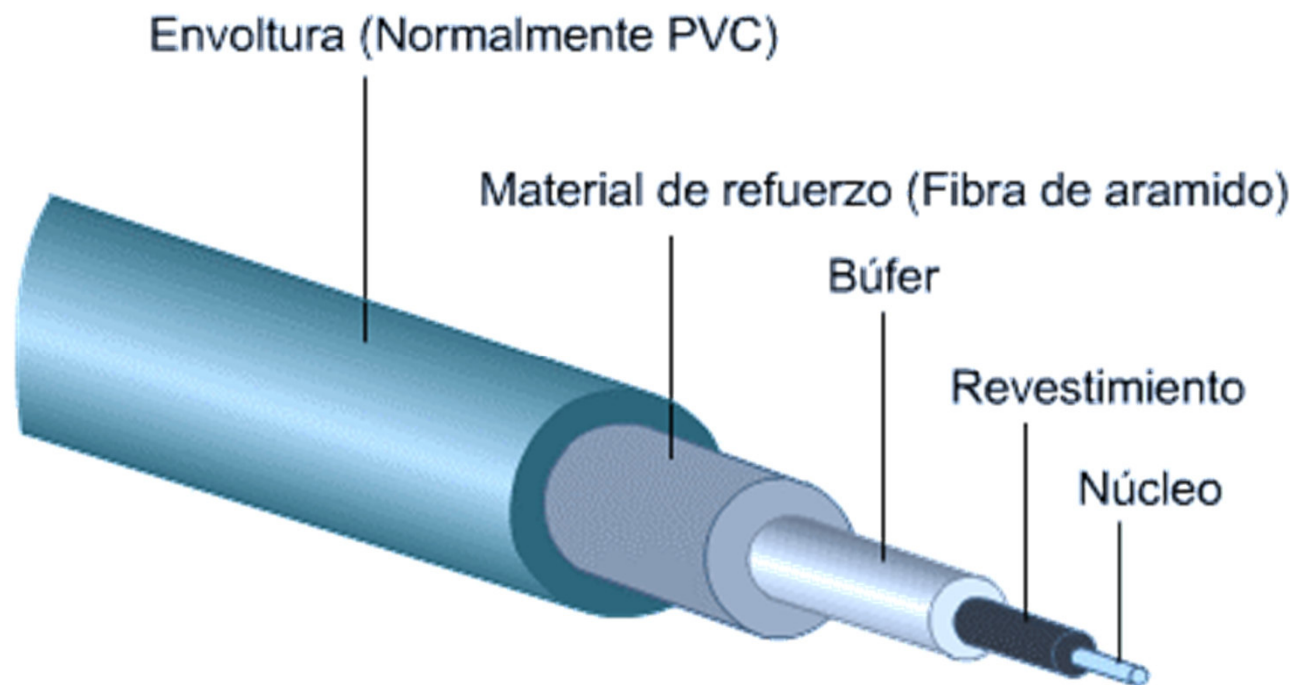
## Partes componentes

- ✓ **Núcleo:** Es la parte más interna. Está constituido por una o varias fibras muy finas de plástico o cristal y su diámetro, según el tipo de material, puede tener desde 8 a 100  $\mu\text{m}$ .
- ✓ **Revestimiento:** El núcleo está rodeado por una capa del mismo material pero con un índice de refracción mayor. La superficie de unión actúa como un espejo reflector del rayo de luz que circula por el núcleo, confinando el haz de luz en el mismo.
- ✓ **Cubierta:** Es la capa más exterior que envuelve a uno o varios revestimientos y tiene el fin de proteger al interior contra la humedad, abrasión, aplastamiento y otras acciones externas. En la construcción de la misma se usa el plástico y otros materiales como teflón o kevlar.
- ✓ **Malla de acero:** se provee solo al cable que será usado en exteriores y/o intemperie para protegerlo de acciones mecánicas o de roedores.



# Medios Guiados: Fibra Óptica

## Partes componentes



# Medios Guiados: Fibra Óptica

## Características de transmisión

### Propagación

Los rayos de luz se desplazan internamente de acuerdo al principio de reflexión total. Con los dos materiales internos con **índices de refracción diferentes**, la fibra se comporta como una guía de onda para un rango que va de  $10^{14}$  a  $10^{15}$  Hz cubriendo parte del espectro visible y el infrarrojo.

### Fuente Emisora

**LED** (Light Emitting Diode): para luz común

**ILD** (Injection Laser Diode) : para laser

# Medios Guiados: Fibra Óptica

## Tipos

### Multimodo

- ✓ Transmite diversos modos de luz
- ✓ Trabaja con longitudes de onda de 850 y 1300 nm
- ✓ Pueden ser Step Index (único índice de refracción, mayor dispersión modal) o Graded Index (múltiples índices de refracción, menor dispersión modal)

### Monomodo

- ✓ Transmite un modo de luz
- ✓ Trabaja con longitudes de onda de 1300 y 1550 nm

# Medios Guiados: Fibra Óptica

## Características de transmisión

### Propagación multimodo de índice discreto

- ✓ Usa la luz común. Ésta es un haz de rayos que actúan dentro de un rango de frecuencias y que, a medida que se desplazan por la fibra, se reflejan en distintos ángulos siguiendo distintos caminos.
- ✓ Los rayos tienen diferente longitud y diferente tiempo de propagación que depende de la frecuencia y que hace que los pulsos de luz se dispersen en el tiempo y en la distancia.
- ✓ La consecuencia de este fenómeno es que limita la velocidad de transmisión de los datos puesto que, al dispersarse los rayos, los pulsos de luz tienden a solaparse.
- ✓ Este es el tipo de fibra más utilizada en LAN's de distancias cortas debido a su menor costo.

# Medios Guiados: Fibra Óptica

## Características de transmisión

### Propagación monomodo

- ✓ Se logra reduciendo el diámetro del núcleo a dimensiones del orden de magnitud de la longitud de onda, de tal forma que pase un solo ángulo o modo: el rayo axial.
- ✓ Este modo de propagación proporciona las mejores prestaciones: al haber un único camino posible en la transmisión monomodo, la distorsión multimodal no puede darse.
- ✓ Las fibras monomodo se utilizan normalmente para aplicaciones en largas distancias y para transmisiones de alta velocidad como las LAN Gigabit Ethernet y 10Gigabit

# Medios Guiados: Fibra Óptica

## Características de transmisión

### Propagación multimodo de índice gradual

Es un modo de propagación intermedio. 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 variación gradual del índice de refracción, reduciendo así la distorsión multimodal.

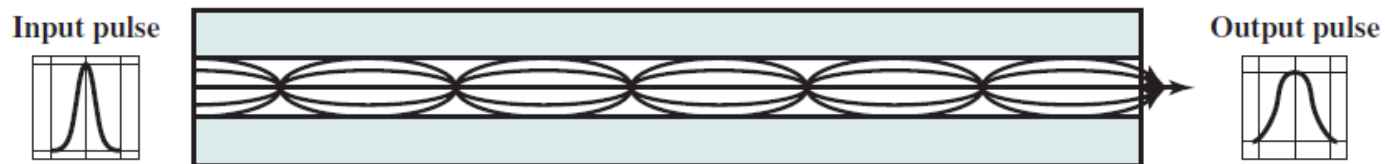
El efecto de la mayor velocidad de propagación en la periferia del núcleo hace que aún recorriendo distancias superiores, todos los rayos llegan aproximadamente en los mismos tiempos. Este tipo de fibras de índice gradual también se usan en redes LAN.

# Medios Guiados: Fibra Óptica

Características de transmisión: todos los modos de propagación



(a) Multimodo de índice discreto



(b) Multimodo de índice gradual



(c) Monomodo

# Medios Guiados: Fibra Óptica

## Ventajas

- ✓ **Capacidad.** Gran ancho de banda. Puede transmitir voz, datos y videos a velocidades de 1, 10, 40 y 100 Gbps. Figura próximo slide
- ✓ **Distancia.** Es el cable que cubre mayores distancias, tiene una atenuación muy baja (puede llegar hasta los 100 Km, según la norma). Figura segundo próximo slide.
- ✓ **Confiabilidad.** Es alta, pues provee una total inmunidad a la interferencia electromagnética o de cualquier tipo.
- ✓ **Seguridad.** Es alta. Es imposible captar señales de un cable de fibra óptica mediante detectores electromagnéticos (pinchado).
- ✓ **Tamaño pequeño y peso ligero:** ideal para construcciones subterráneas, incluida la fibra submarina.



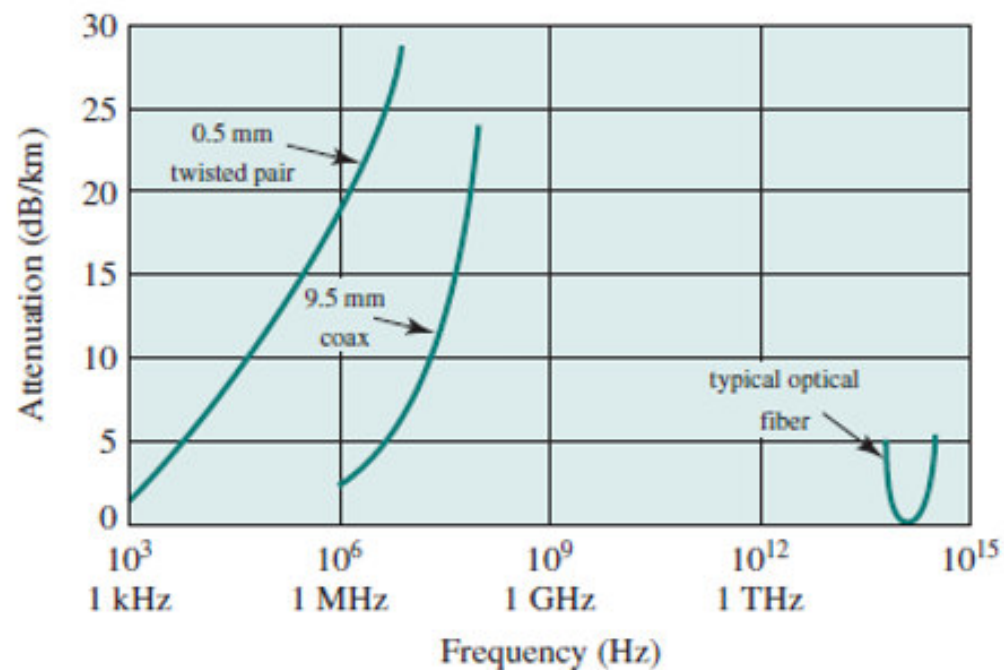
# Medios Guiados: Fibra Óptica

## Longitud de onda y frecuencias

Longitud de onda (en el vacío), rango en nm	Rango de Frecuencias (THz)	Banda	Tipo de Fibra	Aplicación
820 a 900	366 a 333		Multimodo	LAN
1280 a 1350	234 a 222	S	Monomodo	VARIOS
1528 a 1561	196 a 192	C	Monomodo	WDM
1561 a 1620	192 a 185	L	Monomodo	WDM

# Medios Guiados: Fibra Óptica

## Gráfico comparativo atenuación fibra óptica



# Medios Guiados: Fibra Óptica

## Desventajas

- ✓ **Costo.** Es quizá la única desventaja importante, aunque se reduce permanentemente. No solo es el costo del cable, sino el de la instalación y equipamiento cuyos puertos conectan fibra.
- ✓ **Manipuleo restringido.** El cable de fibra es delicado frente al manipuleo. No se puede tirar de la fibra, se deben evitar los ángulos de  $90^\circ$ , no se deben usar codos en las cañerías, en el armario se debe prever una ganancia que permita reparar futuros daños.

# Medios Guiados: Fibra Óptica

## Otras Características

- ✓ **Rigidez del Cable:** para dotar de rigidez al cable se utiliza Kevlar de Aramida (Bajo Costo), Acero o Fibra de Vidrio
- ✓ **Tamaño de Core/Cadding:**
  - ✓ 62,5 /125 micrones, norma 568 A. Muy usada
  - ✓ 50 / 125 micrones, se usa en enlaces de 1 Gbps
- ✓ **Cantidad de Hilos:** se especifica en cantidades pares de hilos, comenzando con 2 pares (4 hilos)
- ✓ **Tipos de Uso:** la fibra óptica puede ser para exterior o para interior, anti roedores, cables de estructura ajustada, cables de estructura holgada

# Medios Guiados: Fibra Óptica

## Otras Características

**Tipo de Núcleo:** las fibras ópticas (Monomodo y Multimodo) se diferencia de acuerdo al tipo de núcleo. La siguiente tabla muestra distintos tipos de fibra, con diferentes longitud de onda:

Protocolo	MM 62,5 / 125 OM1		MM 62,5 / 125 OM2		MM 62,5 / 125 OM3		MM 62,5 / 125 OM4		SM Tipo OS2	
	Longitud de Onda		Longitud de onda		Longitud de onda		Longitud de onda		Longitud de onda	
	850 nm	1300 nm	850 nm	1300 nm	850 nm	1300 nm	850 nm	1300 nm	1300 nm	1550 nm
Fast Ethernet	300 m	2000 m	300 m	2000 m	300 m	2000 m	300 m	2000 m	2000 m	N/A
Giga Ethernet	330 m	550 m	550 m	550 m	900 m	5550 m	1040 m	550 m	5000 m	N/A
10 Giga Ethernet	35 m	300 m	86 m	300 m	300 m	300 m	550 m	300 m	10 km	40 km

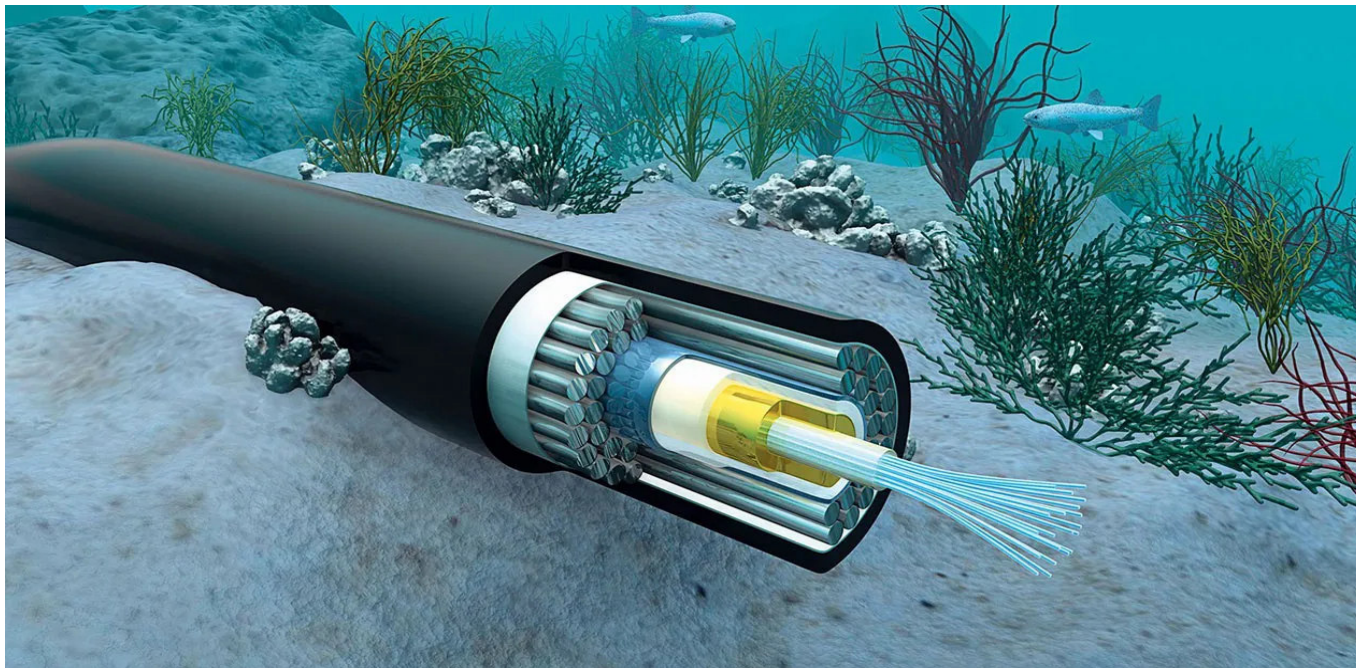
# Medios Guiados: Fibra Óptica

## Usos

- ✓ La fibra óptica multimodo se usa en LAN's para cableado vertical en los edificios o para cableado inter edificios en distancias cortas. Tienen una mayor atenuación y su costo es menor comparados con la fibra monomodo
- ✓ La fibra óptica monomodo se usa para conectar distintas redes en distancias mayores (MAN's y WAN's). Tienen una menor atenuación y su costo es mayor que las fibras multimodo (la electrónica de interconexión también es más costosa). Se usa para conectar distintos continentes (fibra óptica submarina). Figura próximo slide
- ✓ La fibra óptica es utilizada para la transmisión de voz, datos y videos, a altas velocidades, en entornos que necesitan asegurar la integridad de la información y la inmunidad al ruido

# Medios Guiados: Fibra Óptica

## Fibra óptica submarina



# Medios Guiados: Fibra Óptica

## Fibra óptica submarina en el continente americano





**B R E A K**

# Medios No Guiados

## Rangos de frecuencias

- ✓ **Microondas:** Rango de 1 GHz a los 40 GHz. Altamente direccionales, y adecuadas para una transmisión punto a punto. Microondas terrestre y satelital
- ✓ **Radiofrecuencia:** Rango de 30 MHz a 1 GHz. Adecuado para aplicaciones omnidireccionales
- ✓ **Infrarrojo:** Rango de frecuencia de  $3 * 10^{11}$  a  $2 * 10^{14}$  Hz. Aplicaciones locales punto a punto locales y multipunto dentro de áreas pequeñas y cerradas, como una habitación individual

# Medios No Guiados: Antena

## Definición

Una antena es un dispositivo (conductor metálico) diseñado con el objetivo de emitir o recibir ondas electromagnéticas hacia el espacio libre. Una antena transmisora transforma voltajes en ondas electromagnéticas, y una receptora realiza la función inversa.

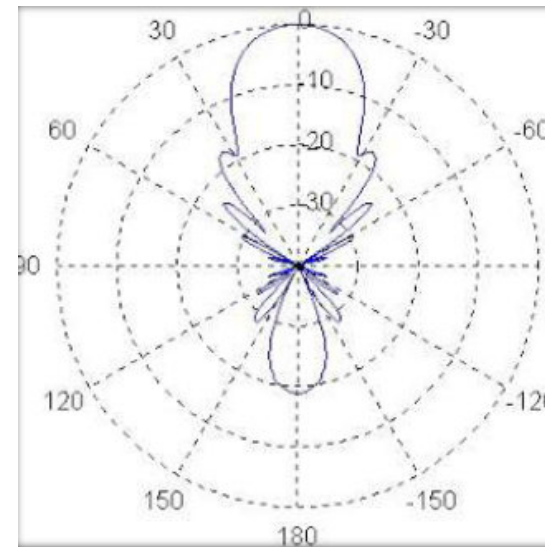
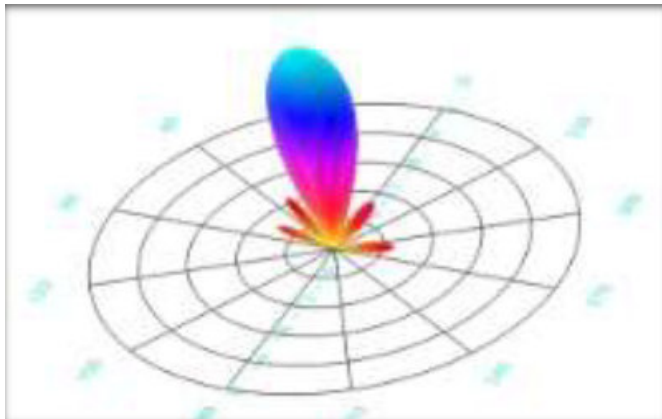
Parámetros de una antena:

- ✓ Patrón de radiación
- ✓ Directividad
- ✓ Ancho de banda
- ✓ Ganancia
- ✓ Eficiencia
- ✓ Impedancia

# Medios No Guiados: Antena

## Patrón de radiación

El patrón o diagrama de radiación de una antena nos indica la potencia radiada (o recibida) por la antena en función de la dirección.



# Medios No Guiados: Antena

## Directividad

Relación entre la densidad de potencia radiada en una dirección, a una distancia, y la densidad de potencia que radiaría a la misma distancia una antena isotrópica, a igualdad de potencia total radiada. No tiene unidades, aplicando logaritmo, el valor tiene como unidad el dBi



**ISOTRÓPICO**



**OMNIDIRECCIONAL**



**DIRECTIVO**

# Medios No Guiados: Antena

## Ancho de banda

- ✓ Describe la ventana de frecuencias sobre los que la antena puede correctamente radiar o recibir energía.
- ✓ Depende de parámetros de impedancia, polarización, ganancia, entre otros
- ✓ El más sencillo de comprender es el parámetro de reflexión, que mide la cantidad de energía reflejada por la antena. Si la antena está perfectamente adaptada al transmisor, “aprovechará” el 100% de la energía que le entrega el transmisor.
- ✓ El ancho de banda está determinado por las frecuencias superior e inferior fuera de las cuales el nivel de energía en la antena decrece a más de 3dB.

# Medios No Guiados: Antena

## Ganancia

Es la potencia en la dirección de máxima radiación. La Ganancia (G) se produce por el efecto de la directividad al concentrarse la potencia en las zonas indicadas en el diagrama de radiación

$$G_{dB} = 10 \log (P_2 / P_1)$$

dónde ,  $P_1$  es la potencia radiada de la antena direccional, y  $P_2$  es la potencia radiada de la antena de referencia

# Medios No Guiados: Antena

## Eficiencia

- ✓ No toda la potencia inyectada a la antena es radiada (por ejemplo, pérdidas por calor)
- ✓ La eficiencia de radiación es la división entre la potencia inyectada y la efectivamente radiada
- ✓ Es la relación entre ganancia y directividad

## Impedancia

- ✓ Relación entre la tensión y la corriente en sus terminales de entrada. Dicha impedancia es en general compleja. La parte real se denomina resistencia de antena y la parte imaginaria, reactancia de antena.
- ✓ Es importante que la impedancia del cable y de la antena sean lo más iguales posibles (sino, parte de la señal será reflejada y se perderá potencia)



# Medios No Guiados: Antena

## Tipos de Antena: Antena Dipolo

Es la más sencilla de todas. Consiste en un hilo conductor de media longitud de onda a la frecuencia de trabajo, cortado por la mitad, en cuyo centro se coloca un generador o una línea de transmisión.

Existen varios tipos de dipolo como son:

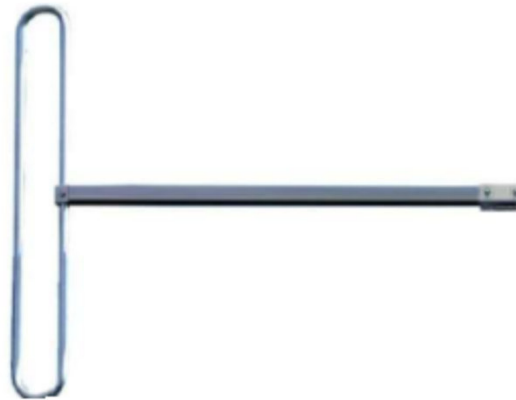
- ✓ Dipolo simple
- ✓ Dipolo en v
- ✓ Dipolo doblado
- ✓ Dipolo de Brazos plegados
- ✓ Dipolo eléctricamente acortado

# Medios No Guiados: Antena

## Tipos de Antena: Antena Dipolo



Dipolo en V



Dipolo Doblado

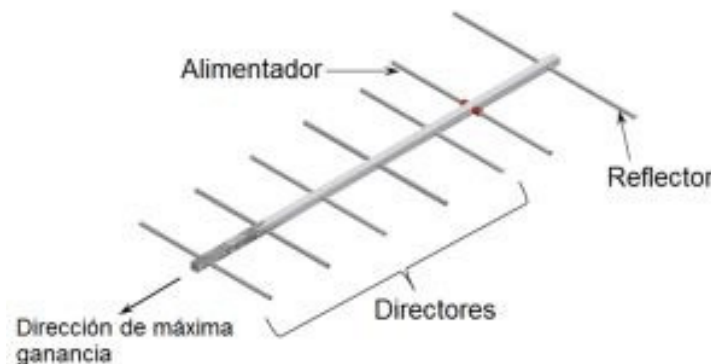


Dipolo Simple

# Medios No Guiados: Antena

## Tipos de Antena: Yagui

Cuando a un dipolo se le antepone otro/s elemento/s (varilla o tubo) delante, directores, ligeramente más cortos (cada uno un 5% más corto que el anterior y ligeramente más separado entre si que el anterior, en forma sucesiva), más otro elemento (varilla o tubo) detrás, ligeramente más largo (5%) y a una distancia de entre 0.10 y 0.25 de onda, se obtiene una Antena Yagi.



# Medios No Guiados: Antena

## Tipos de Antena: omnidireccional

- ✓ Se consideran y denominan como antena omnidireccional a cualquiera antena que proporciona una radiación uniforme en uno de los planos de referencia. Usualmente este plano de radiación uniforme será el plano paralelo a la superficie de la Tierra.



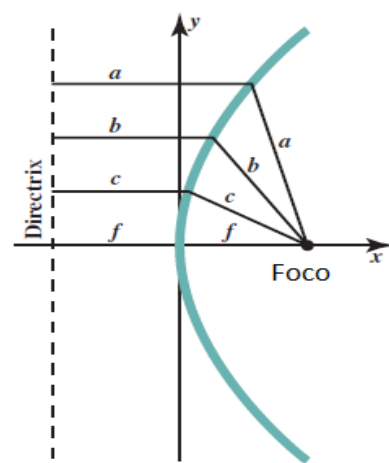
# Medios No Guiados: Antena

## Tipos de Antena: Parabólica

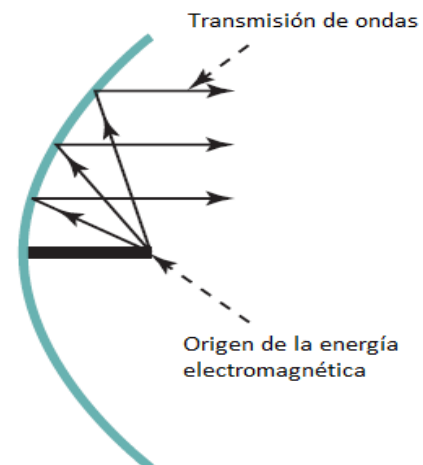
- ✓ Es un tipo de antena que se caracteriza por llevar un reflector parabólico, cuya superficie es en realidad un paraboloide de revolución.
- ✓ Pueden ser transmisoras, receptoras o full duplex,
- ✓ Suelen ser utilizadas a frecuencias altas y tienen una ganancia elevada.
- ✓ Se utiliza en aplicaciones de microondas terrestres y satelitales

# Medios No Guiados: Antena

## Tipos de Antena: Parabólica



(a) Parábola



(b) Sección transversal de antena parabólica mostrando propiedad reflexiva

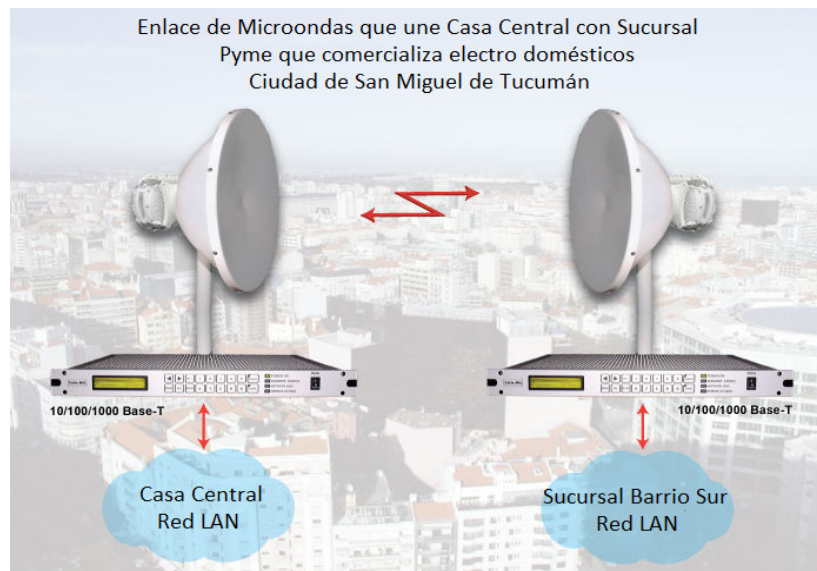
# Medios No Guiados: Microondas

## Microondas Terrestres

- ✓ Usada por el servicio de telecomunicaciones a larga distancia como alternativa a la fibra óptica
- ✓ Permite unir distintos edificios en enlaces de hasta 40 km (sin repetidores)
- ✓ Necesita línea vista entre los puntos a conectar
- ✓ En general las antenas se levantan del suelo utilizando edificaciones o mástiles
- ✓ Las frecuencias soportadas están entre los 1 y 40 GHz
- ✓ Como con cualquier sistema de transmisión, una fuente principal de pérdida es la atenuación:  $L = 10 \log (4\pi d / \lambda)^2 \text{ dB}$ , donde "d" es la distancia y " $\lambda$ " es la longitud de onda.

# Medios No Guiados: Microondas

## Microondas Terrestres



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

Frecuencias Libres en la República Argentina  
Resolución Ministerial 4653/19

915 – 928 MHz	5470 – 5600 MHz
2400 – 2483.5 MHz	5650 – 5725 MHz
5150 – 5250 MHz	5725 – 5850 MHz
5250 – 5350 MHz	57000 – 71000 MHz



# Medios No Guiados: Microondas

## Microondas Satelital

- ✓ Utiliza satélites geoestacionarios orbitando a 35,000 km de la tierra
- ✓ En las estaciones terrenas se instalan antenas parabólicas que transmiten y reciben información usando frecuencias diferentes para el enlace ascendente y el enlace descendente
- ✓ Si los satélites están cercanos unos a otros puede existir interferencia en las señales
- ✓ Bandas de 4 a 6 GHz deben usar satélites separados por  $4^\circ$  y las 12 a 14 GHz deben usar satélites separados por  $3^\circ$  de distancia

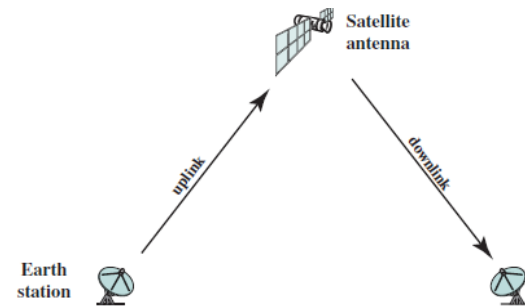
# Medios No Guiados: Microondas

## Microondas Satelital

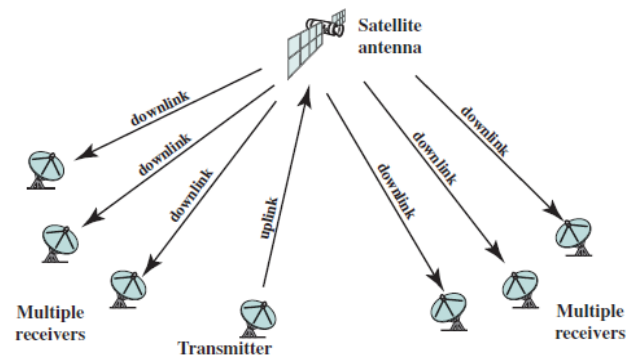
- ✓ Distribución televisiva
- ✓ Transmisión telefónica de larga distancia
- ✓ Redes comerciales privadas
- ✓ Posicionamiento global
- ✓ Enlaces punto a punto para transmisión de datos desde sitios remotos rurales
- ✓ Enlaces puntos / multipunto entre un sitio central y sitios remotos

# Medios No Guiados: Microondas

## Microondas Satelital



(a) Enlace punto a punto

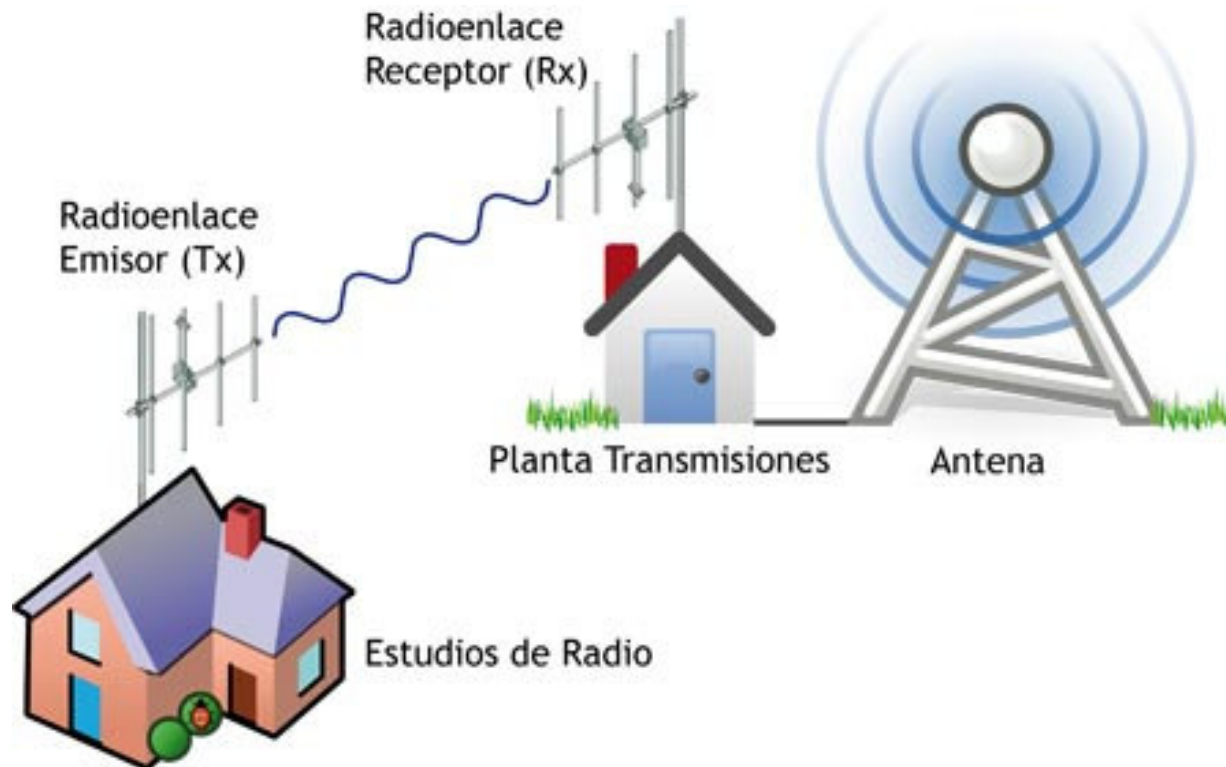


(b) Enlace broadcast

## Medios No Guiados: Radiofrecuencia

- ✓ Se diferencia de la microondas en que usa transmisión omnidireccional
- ✓ Usa frecuencias que van desde los 3KHz has los 300 GHz
- ✓ Se utiliza el término informal de radiodifusión para cubrir el VHF y parte de la banda UHF: 30 MHz a 1 GHz. Esta gama cubre radio FM y Televisión UHF y VHF.
- ✓ Debido a la longitud de onda más larga, las ondas de radio tienen relativamente menos atenuación.
- ✓ A diferencia de las frecuencias más altas de la región de microondas, las ondas de radiodifusión son menos sensibles a la atenuación de la lluvia.

## Medios No Guiados: Radiofrecuencia



## Medios No Guiados: Infrarojo

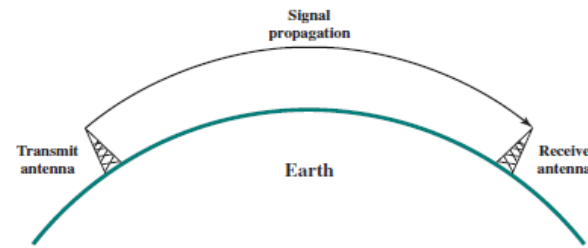


# Medios No Guiados: Propagación

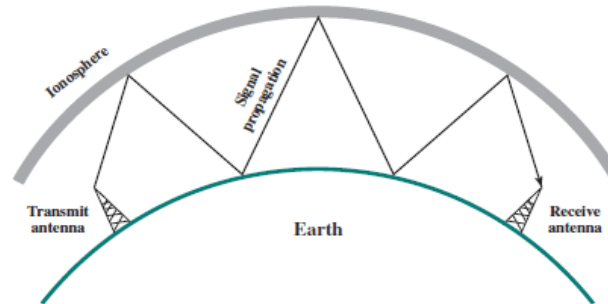
- ✓ Onda Terrestre
- ✓ Onda espacial
- ✓ Línea Visión

Banda	Rango de Frecuencias	Longitud de onda en el espacio libre	Características de la propagación	Uso Típico
ELF (extremely low frequency)	30 to 300 Hz	10,000 to 1000 km	Onda Terrestre	Frecuencias de líneas eléctricas, usado por sistemas de control
VF (voice frequency)	300 to 3000 Hz	1000 to 100 km	Onda Terrestre	Comunicación analógica en sistemas telefónico de abonados
VLF (very low frequency)	3 to 30 kHz	100 to 10 km	Onda Terrestre, baja atenuación día y noche, alto ruido atmosférico	Navegación de largo alcance, comuni-
LF (low frequency)	30 to 300 kHz	10 to 1 km	Onda Terrestre: poco menos confiable que VLF	Navegación de largo alcance; comuni- cación marina, balizas de radio
MF (medium frequency)	300 to 3000 kHz	1,000 to 100 m	Onda Terrestre, y de noche, Onda Espacial, atenuación baja en la noche y alta en el día.	Radio marítima; transmisión AM
HF (high frequency)	3 to 30 MHz	100 to 10 m	Onda Espacial: varía la calidad con la hora del día, estación y frec.	Radio amateur, comunicación militar
VHF (very high frequency)	30 to 300 MHz	10 to 1 m	Línea vista: dispersión debido a la inversión de temperatura, ruido cósmico	Televisión VHF; Transmisión FM y radio bidireccional, comunicación con aviones por AM y ayuda a la aeronavegación
UHF (ultra high frequency)	300 to 3000 MHz	100 to 10 cm	Línea vista, ruido cósmico	Televisión UHF; telefono celular; Radar; enlaces de microondas; sistemas de comunicaciones persona
SHF (super high frequency)	3 to 30 GHz	10 to 1 cm	Línea vista, atenuación por lluvia arriba de 10GHz, atenuación atmosférica oxígeno y vapor H2O	Comunicación por satélite; Radar terrestre enlaces de microondas; bucle local inalámbrica
EHF (extremely high frequency)	30 to 300 GHz	10 to 1 mm	Línea vista, atenuación atmosférica debido oxígeno y vapor H2O	Experimental, bucle radial inalámbrico, astronomía radial
Infrared	300 GHz to 400 THz	1 mm to 770 nm	Línea vista	LAN's infrarojos, aplicaciones de artefactos electrónicos
Visible light	400 to 900 THz	770 to 330 nm	Línea vista	Comunicación óptica

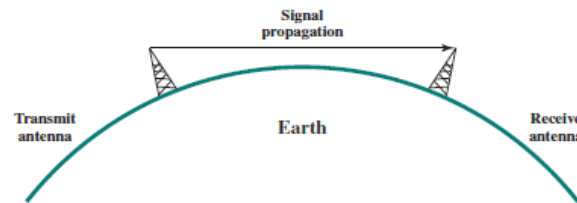
# Medios No Guiados: Propagación



(a) Propagación onda terrestre (debajo de 2MHz)



(b) Propagación onda espacial (entre 2 y 30 MHz)



(c) Propagación onda terrestre (arriba de 30 MHz)



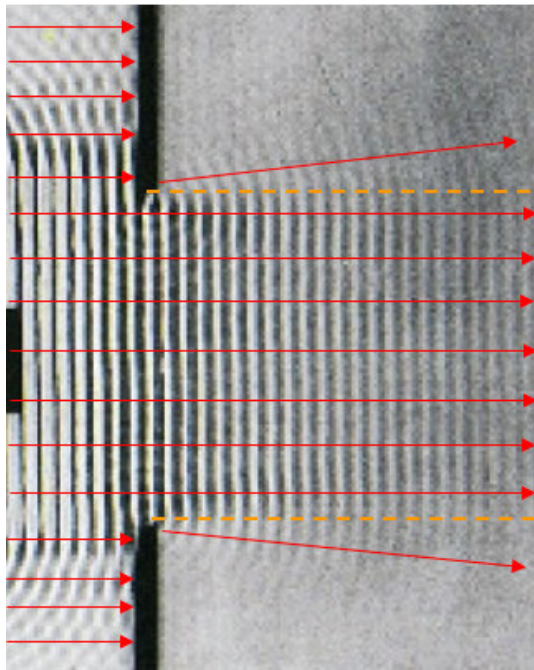
# Medios No Guiados: Propagación

## Difracción

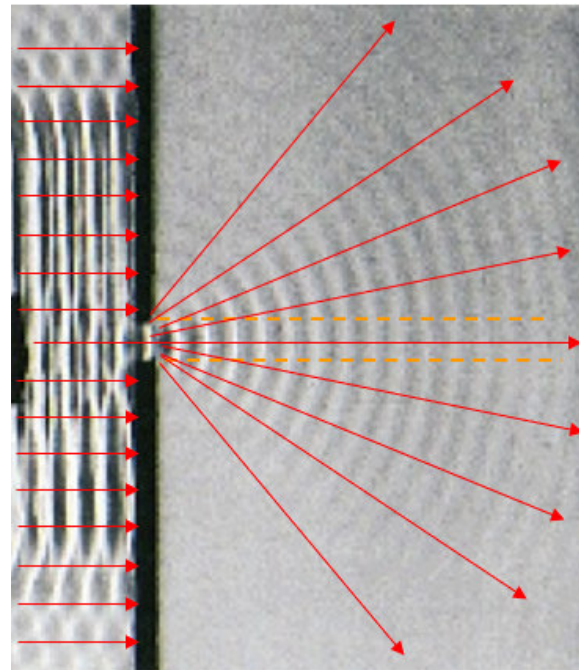
- ✓ Cuando una onda encuentra un obstáculo tiende a rodearlo. Si una onda encuentra una barrera con una pequeña abertura se extiende alrededor del obstáculo en forma de onda esférica o circular. A este comportamiento se le denomina difracción.
- ✓ La magnitud del fenómeno de la difracción depende de la relación entre la longitud de onda y el tamaño del obstáculo o abertura:
  - ✓ Si la longitud de onda menor en relación con la abertura entonces la difracción es pequeña ( $\lambda$  menor tamaño abertura) .
  - ✓ En cambio si la longitud de onda tiene las dimensiones de la abertura, los efectos de la difracción son grandes ( $\lambda$  aproximadamente igual al tamaño de la abertura).
  - ✓ El efecto de difracción de las ondas es mas notorio, cuanto menor sea el tamaño de la a abertura con respecto a la longitud de onda

# Medios No Guiados: Propagación

## Difracción



$\lambda \ll \text{tamaño abertura}$



$\lambda \approx \text{tamaño abertura}$

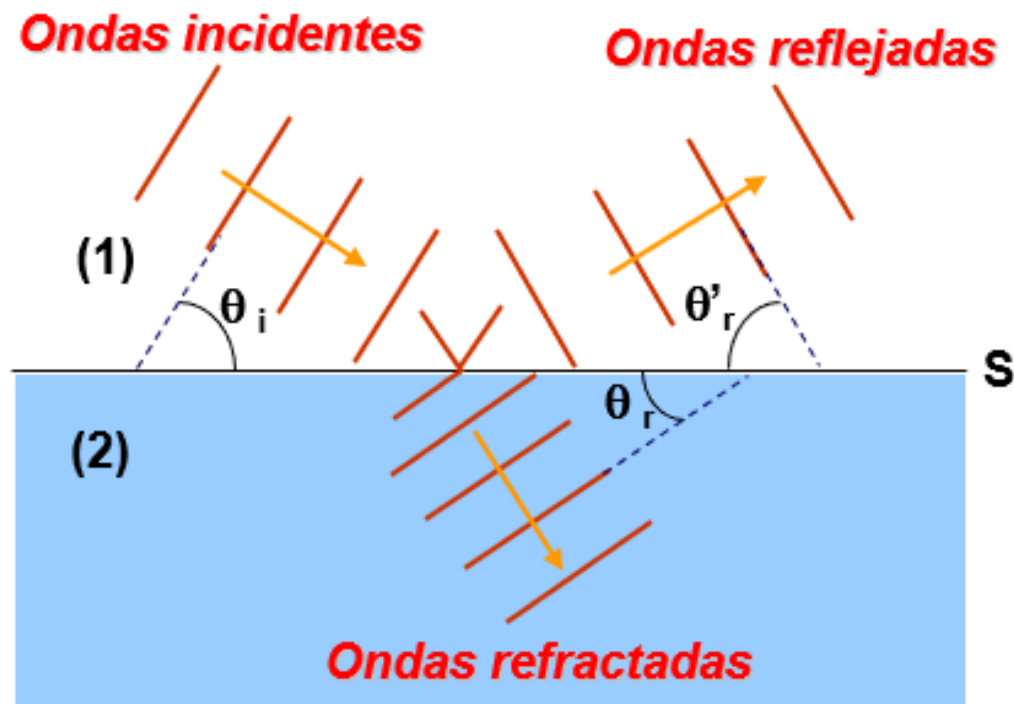
# Medios No Guiados: Propagación

## Refracción y Reflexión

- ✓ Cuando una onda **incide** sobre una **superficie límite** o de separación de dos regiones en las que la **velocidad de onda es diferente**, **parte de la onda se refleja** (propagándose en la misma región que la incidente) y **parte se transmite** (propagándose en la otra región).
- ✓ En tres dimensiones una **frontera** entre dos regiones de **diferente velocidad de onda** es una **superficie**.
- ✓ **Índice de refracción** es cociente de la velocidad de la luz en el vacío y la velocidad de la luz en el medio cuyo índice se calcula. Se simboliza con la letra "n".  $n = c / v$ , c es la velocidad de la luz en el vacío y v es la velocidad de la luz en el medio que se está calculando (agua, vidrio, etc.)

# Medios No Guiados: Propagación

## Refracción y Reflexión



# Medios No Guiados: Propagación

## Onda Terrestre

- ✓ Señales de baja frecuencia, debajo de los 30 MHz
- ✓ Longitud de onda muy grandes
- ✓ Siguen la curvatura de la tierra
- ✓ Mayor longitud de onda, menor atenuación por absorción (árboles, montañas, edificios, etc.)
- ✓ La señal se atenúa con el cuadrado de la distancia:  $P_r = P_e / r^2$ ; dónde  $P_r$  es la potencia recibida,  $P_e$  es la potencia emitida y  $r$  es el radio de la onda
- ✓ La onda se propaga por difracción
- ✓ Estas ondas no penetran la atmósfera superior

# Medios No Guiados: Propagación

## Onda Espacial o Ionosférica

- ✓ Ondas entre 1,5 y 30 MHz usadas para enlaces de más de 100 Km
- ✓ Se transmiten por el fenómeno de la reflexión en las capas altas ionizadas de la atmósfera
- ✓ Útiles en caso de catástrofe o emergencia
- ✓ Usada por radioaficionados y en otros casos por servicios como el de la BBC
- ✓ Se consiguen grandes alcances, pero la señal presenta estados de inestabilidad

# Medios No Guiados: Propagación

## Onda Línea Vista

- ✓ Operan por arriba de los 30 MHz
- ✓ Se pueden transmitir y recibir señales al satélite puesto que estas ondas penetran la ionósfera
- ✓ Para enviar y recibir señales las antenas deben tener línea de visión efectiva (línea vista de radio)
- ✓ La onda se propaga en medios con distintos índices de refracción.
- ✓ El índice de refracción de la atmósfera disminuye con la altura, de este modo las ondas viajan más lento cerca del suelo y se “curvan” hacia la tierra
- ✓ Zona de Fresnel, uso de aplicaciones

# Medios No Guiados: Propagación

## Línea Vista

- ✓ Para la luz visible, la línea de vista es un concepto fácil de entender y comprobar. Para los radioenlaces, es más complejo debido a que *no son visibles*.
- ✓ En general, se necesita tener una línea de vista (óptica), cuya distancia máxima está limitada por la curvatura de la Tierra.
- ✓ Considerando la geometría de la Tierra y la altura de la antena transmisora, se tiene que la distancia al horizonte:  $r_1(\text{km}) = 3,57 \sqrt{h_1(\text{m})}$ , donde "r" es la distancia y "h" es la altura desde dónde se observa el horizonte





# Medios No Guiados: Propagación

## Línea Vista

En la práctica, la distancia máxima va más allá del *horizonte óptico*, debido a que la refracción en la atmósfera, originada por diferencias de densidades, tiende a curvar las ondas de radio ligeramente hacia la Tierra. Este efecto posibilita que la onda llegue una distancia  $\approx 1/3$  veces mayor, este es el *horizonte de radio*.

*Al horizonte de radio:*

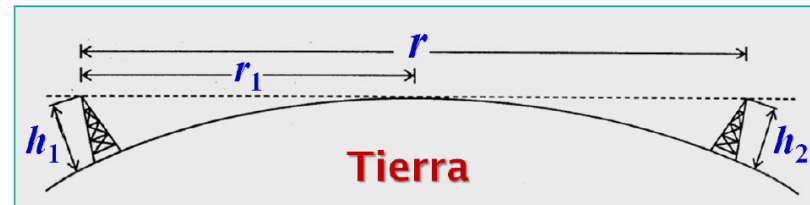
$$r_1(\text{km}) = 3,57\sqrt{Kh_1(\text{m})}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} r_1 = \text{distancia del transmisor al horizonte. En km.} \\ h_1 = \text{altura de la antena transmisora. En m.} \\ K \approx 4/3, \text{ factor de corrección.} \end{array} \right.$$

# Medios No Guiados: Propagación

## Línea Vista

Si se incluye en el cálculo la altura de la antena receptora, se obtiene la *distancia máxima* entre transmisor y receptor, sobre un terreno razonablemente plano



$$r_1(\text{km}) = 3,57\sqrt{Kh_1(\text{m})}$$

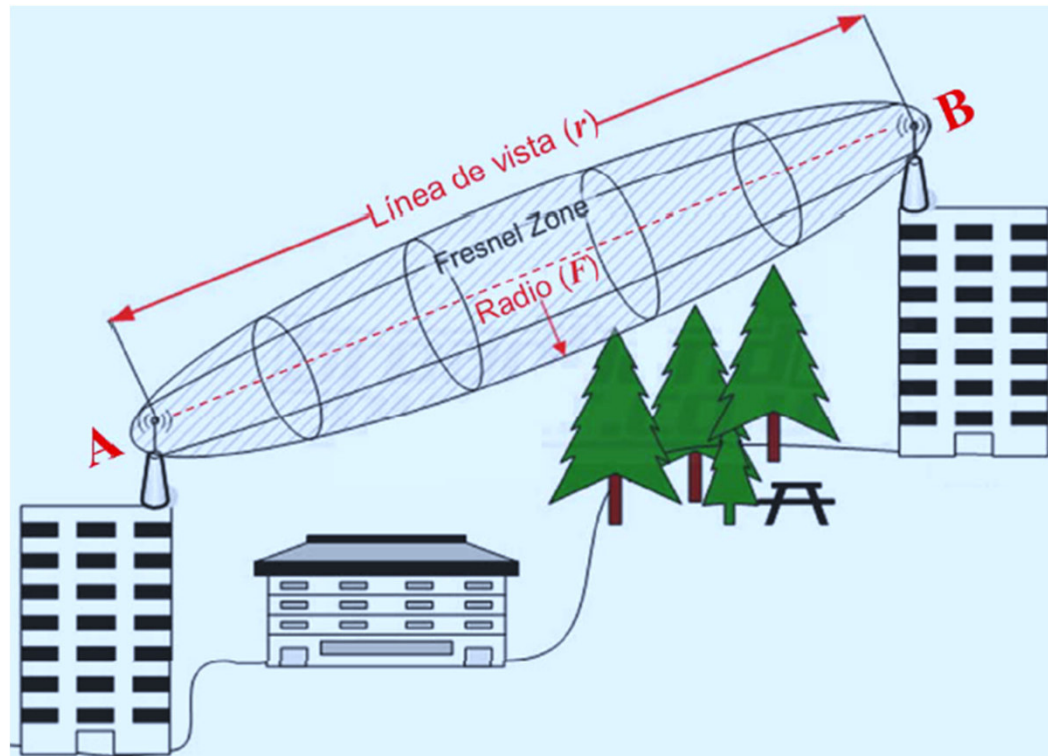
$$r(\text{km}) = r_1(\text{km}) + r_2(\text{km})$$

$$r(\text{km}) = 3,57\sqrt{Kh_1(\text{m})} + \sqrt{Kh_2(\text{m})} \quad \left\{ \begin{array}{l} r = \text{distancia máxima entre antenas. En km.} \\ h_1 = \text{altura de la antena transmisora. En m.} \\ h_2 = \text{altura de la antena receptora. En m.} \end{array} \right.$$

Para pensar: con una antena de 60 mts. de alto, ¿cual será la máxima distancia con línea vista?. Si luego elevo la antena receptora 15 metros. ¿cuántos metros de mástil me ahorraré para colocar la antena transmisora?

# Medios No Guiados: Propagación

## Zona de Fresnel



# Medios No Guiados: Propagación

## Pérdida de la señal en el espacio libre

- ✓ Para cualquier tipo de comunicación inalámbrica, la señal se dispersa con la distancia.
- ✓ Una antena con un área fija recibe menos potencia de señal cuanto más lejos está desde la antena transmisora.
- ✓ Para la comunicación por satélite, este es el modo principal de pérdida de señal. Incluso si no se suponen otras fuentes de atenuación o deterioro.
- ✓ La señal transmitida se atenúa con la distancia porque la señal se está extendiendo un área cada vez más grande.
- ✓ Esta forma de atenuación se conoce como pérdida de espacio libre
- ✓ Se puede expresar en términos de la relación entre la potencia radiada  $P_t$  y la potencia recibida por la antena  $P_r$  o en decibelios, tomando 10 veces el logaritmo de esa relación.

## Medios No Guiados: Propagación

### Pérdida de la señal en el espacio libre

$$L_{dB} = 20 \log (f) + 20 \log (d) - 147.56 \text{ dB}$$

Determine la pérdida de espacio libre isotrópico a 4 GHz para el camino mas corto a un satélite síncrono desde la Tierra (35.863 km). Luego, usando la ecuación:

$$L_{dB} = 20 \log (4 * 10^9) + 20 \log (35.853 * 10^6) - 147.56 = 195.6 \text{ dB}$$

Ahora considere la ganancia de antena de las antenas satelitales y terrestres. Los valores típicos son 44 dB y 48 dB, respectivamente. La pérdida de espacio libre es  $L_{dB} = 195,6 - 44 - 48 = 103,6 \text{ dB}$

Supongamos ahora una potencia de transmisión de 250 W en la estación terrena. Cual es el poder recibido en la antena del satélite? Una potencia de 250 W se traduce en 24 dBW, por lo que la potencia en la antena receptora es  $24 - 103,6 = -79,6 \text{ dBW}$ .

# Temas a tratados

1. Medios de transmisión guiados
  - a) Cable par trenzado
  - b) Cable coaxil
  - c) Fibra óptica
2. Medios de transmisión no guiados
  - a) Antenas
  - b) Microondas terrestre
  - c) Microondas Satelital
  - d) Radiodifusión
  - e) Infrarrojo
3. Propagación de la señal en medios no guiados

## Fin Módulo 5