



# Δ Alfaomega Grupo Editor

---

Comunicaciones

Castro-Fusario

Capítulo 5:

Medios de comunicaciones



## Temas:

- 5.1 Introducción
- 5.2 Cables de cobre
- 5.3 Líneas de cobre desnudos
- 5.4 Cables de par trenzados
- 5.5 Cables multipares
- 5.6 Cables coaxiales
- 5.7 Cables de pares trenzados blindados y sin blindar
- 5.8 Cables submarinos de cobre
- 5.9 Radiocomunicaciones
- 5.10 Satélites
- 5.11 Microondas
- 5.12 Guias de onda
- 5.13 Láser
- 5.14 Fibras ópticas
- 5.15 Cables submarinos de fibra óptica



## 5.1 Introducción

El Equipo Terminal debe tener las características adecuadas que permitan transmitir la información que se desea.

Todo sistema de comunicaciones debe tener:

- un equipo terminal en cada extremo
- transmisores y receptores
- medio físico de comunicaciones



## 5.2 Cables de cobre

### 5.2.1 Definición y distintos tipos

Son el medio de comunicaciones más usado

Se usa en las redes de banda ancha con la **tecnología xDSL**.

Variantes:

- Líneas de cobre desnudos.
- Cables de par trenzados.
- Cables multipares.
- Cables multipares de aéreos.
- Cables coaxiles.
- Cables de pares trenzados blindados (para uso en cableado estructurado).
- Cables de pares trenzados sin blindar (para uso en cableado estructurado).
- Cables submarinos de cobre.



### 5.2.2 Los medios de transmisión basados en conductores de cobre

Los conductores presentan formas constructivas diversas.

Características similares:

- Conductividad del material directamente relacionada con su atenuación por kilometro.
- Diámetro y la separación entre los conductores.
- Características del dieléctrico utilizado.
- Capacidad mutua entre conductores.
  - Ambos se comportan entre si como si fueran capacitores.
  - La capacitancia mutua es la capacidad que presentan cada uno de ellos respecto del otro
- Resistencia mecánica que ofrecen para su instalación.
- Facilidad con que pueden ser manipulados.
- Aspectos que hacen a sus detalles constructivos.



## 5.3 Líneas de cobre desnudos

### 5.3.1 Características generales

- Alto costo de mantenimiento o de ampliación de sus recorridos.
- Ancho de banda limitado.
- Fuerte dependencia de factores meteorológicos o inclemencias del tiempo
- Propensas a acciones de vandalismo
- Posibilidad de capturar ruido exógeno, o generación de diafonía por defectos constructivos.



### **5.3.2 Detalles constructores y operativos**

**Líneas abiertas a dos hilos** sobre postes con dos alambres sobre aisladores cerámicos en travesaños horizontales a *0,5 m.*

Los postes son de palmera previamente tratados con creosota para mayor duración.

---

**COBRE:** Conductores de 3, 4 y 5 mm

---

**BRONCE:** Conductores de 1,5, 2 y 3 mm

---

**HIERRO GALVANIZADO:** Conductores de 2, 3, 4 y 5 mm



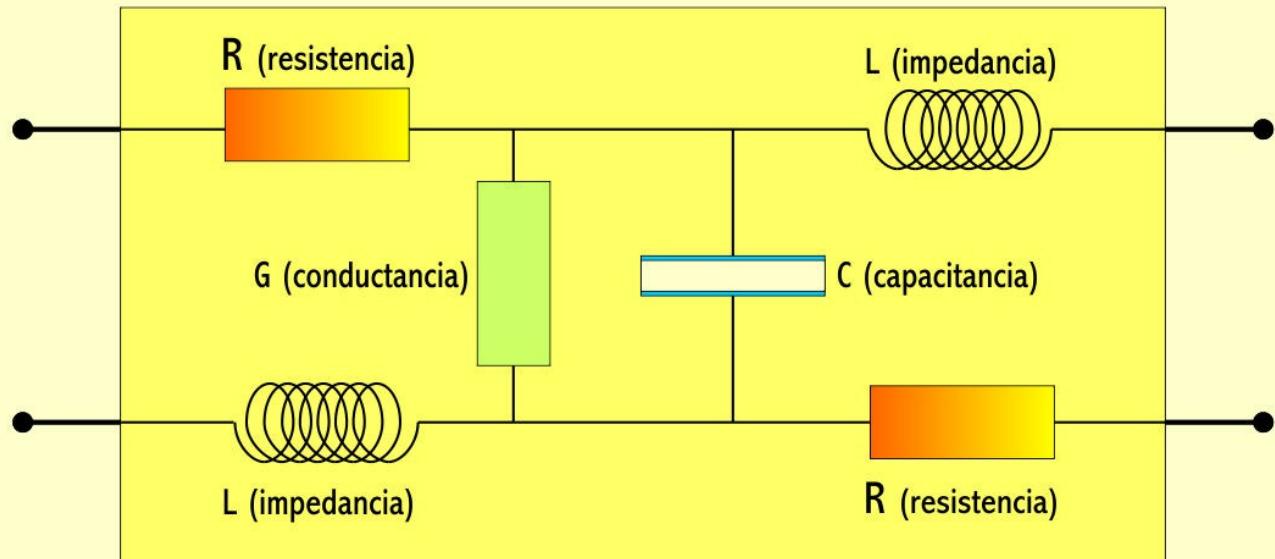
## 5.4 Cables de par trenzados

### 5.4.1 Características generales

- Escasa inmunidad frente a las interferencias producidas por campos electromagnéticos externos y al ruido impulsivo.
- Bajo costo, y por lo tanto amplio uso en distintas partes de la red.
- Posibilidad de presencia de diafonía.
- Ancho de banda máximo reducido.
- Resistencia eléctrica del par: disminuye cuanto mayor es el diámetro del conductor y aumenta con la distancia.
- El uso limitado por el **efecto pelicular**, más evidente a mayor velocidad .
- El alto valor de **capacitancia mutua** entre sus conductores produce efecto similar.



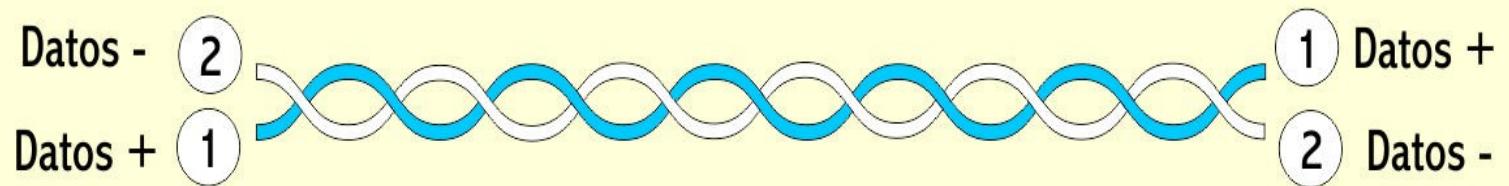
## 5.4.2 Características eléctricas





## 5.4.3 Detalles constructivos y operativos

### 5.4.3.1 Estructura general



Las corrientes circulan en sentido contrario creando campos electromagnéticos opuestos que se anulan entre sí.



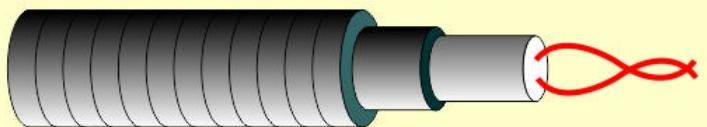
Los pares trenzados se construyen blindados para evitar interferencia externa.

Recubiertos por una capa metálica entre las aislaciones.

Aumenta el costo, pero permite grandes velocidades a cientos de metros.

Normalizados por la *American Wire Gauge - AWG*, en valores enteros denominados calibres.

Cable de 2 hilos



Cable de 4 hilos





### 5.4.3.2 Empleo y características de los conductores

Se aplica en:

- redes internas con las centrales telefónicas privadas
- circuito terminal de llegada a los usuarios.

En redes telefónicas públicas se denominan **pares de abonado** (bucle de abonado).

Se usan los calibres 22 y 24.

Transmiten señales analógicas como digitales.

En analógico se necesitan amplificadores cada 10 o 20 km.

En digitales se necesitan repetidores regenerativos cada 2 a 4 km.

Los conductores son de alambre de cobre electrolítico recocido y de sección circular.

Resistencia máxima normalizada de  $0,017241 \text{ Ohm} \times \text{mm}^2/\text{m}$ , a  $20^\circ \text{ C}$  de temperatura.



## 5.5 Cables multipares

### 5.5.1 Definición y uso

Cables multipares tienen un número variable de pares trenzados.

### 5.5.2 Distintos tipos

Se instalan en forma subterránea, aérea o utilizando ductos.

### 5.5.3 Cables multipares subterráneos o para instalación en ductos

#### 5.5.3.1 Definición y uso

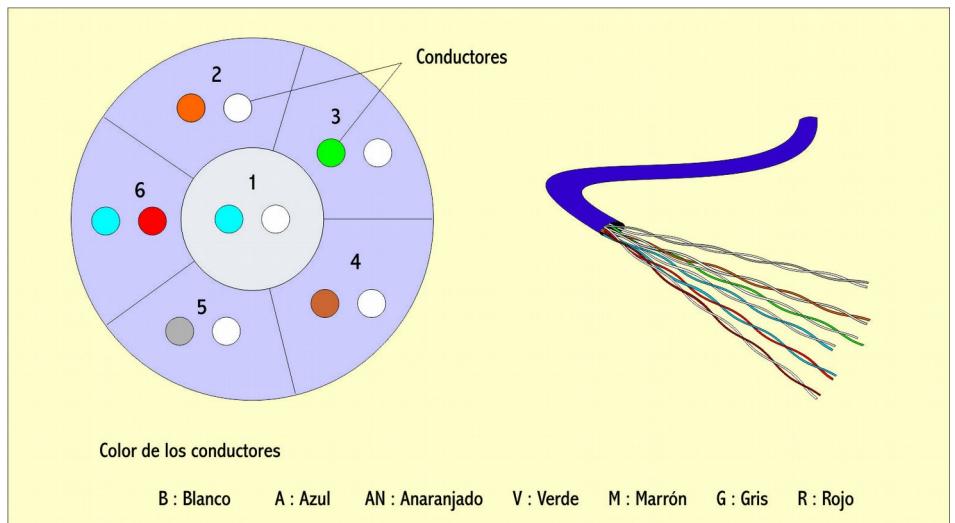
Tienen elementos aislantes o están en ductos que los protejan de su deterioro o destrucción.

Desde 6 pares hasta miles de pares.



### 5.5.3.2 Detalles constructivos

- Aislación



Par Número	Color del aislación	
	Conductor N° 1	Conductor N° 2
1	Blanco	Azul
2	Blanco	Anaranjado
3	Blanco	Verde
4	Blanco	Marrón
5	Blanco	Gris oscuro
6	Rojo	Azul

Diámetro del conductor conductor aislado (mm)	Diámetro exterior mínimo (mm)
1,10	0,40 y 0,50
1,40	0,65
1,70	0,80 y 0,90

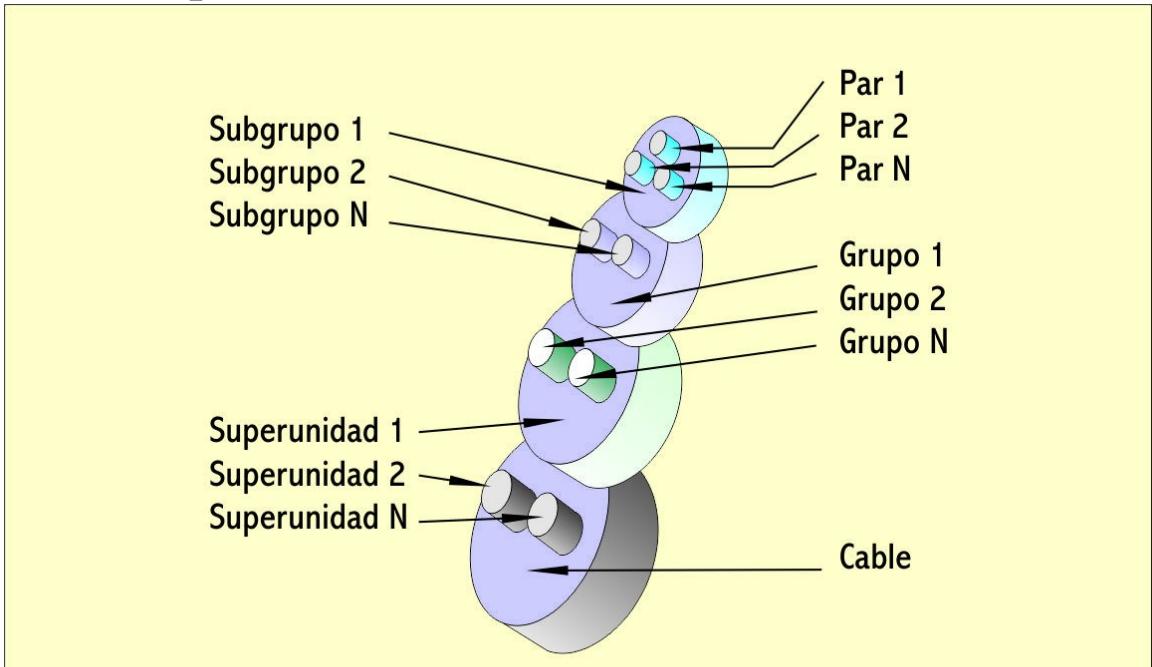


- Formación de los pares de conductores

Los conductores son aislados, trenzados de a pares según el color de aislación

- Cableado

Cables normalizados: 6, 10, 18, 20, 30, 50, 80, 100, 150, 200, 300, 400, 600, 900, 1200, 1500, 1800 o 2200 pares.





- Pares de reserva

Para reemplazar pares defectuosos o por el crecimiento de la red hay pares de reserva (10% del total).

- Envoltura y cubierta exterior

Los pares trenzados se recubren totalmente con una cinta de material **dieléctrico no higroscópico** resistente a la humedad y aplicado en forma helicoidal o longitudinal (protección contra el calor)

Se aplica una cubierta protectora de polietileno o copolimero de etileno con blindaje de polietileno/aluminio/polietileno laminado.

El cierre de las puntas se efectúa con capuchones en ambos extremos.

Los capuchones en el extremo interno de la bobina tienen válvulas tipo **cámara de automóvil**.

Hay capuchón de plástico termo contraíble con adhesivo.



- Presurización de los cables

Se suministra una presión interior de **gas seco** para eliminar la humedad interna.

Los cables menores de 50 pares no se presurizan.

Gas: **aire, nitrógeno o bióxido de carbono.**

La presurización se logra mediante la instalación de equipos presurizadores.

Los cables con sustancias especiales impiden el paso de la humedad hasta los conductores sin presurizador.

Estos cables han sido reemplazados por el cable coaxil y la fibra óptica.



### 5.5.3.3 Procedimientos de prueba de los cables

- Pruebas eléctricas

#### -Resistencia eléctrica de los conductores

Se determina la resistencia eléctrica promedio de los diferentes conductores.

Se mide en corriente continua aplicada sobre un tramo de cable de longitud conocida a 20° C de temperatura.

Diámetro del conductor (mm)	Resistencia óptima (Ohms/km) Promedio máximo
0,40	143,0
0,50	91,4
0,65	54,5
0,80	35,7
0,90	28,2



## -Capacidad mutua

Dada la proximidad entre los conductores de los pares existe una capacidad entre ellos denominada **capacidad mutua**.

Nº de pares (para todos los calibres de conductores)	Capacidad mutua (microfaradio/km) Promedio máximo
Cables de hasta 10 pares	0,058
Cables con más de 10 pares	0,056



## -Resistencia de aislación

La resistencia de aislación de cada conductor se determina midiéndolo contra todos los demás, unidos entre si, y también contra el blindaje de aluminio del cable.

Aplicando  $500\text{ V}$  de corriente continua se mide la resistencia de aislación, que debe ser mayor que  $15\text{ M}\Omega \cdot \text{km}$ .



### 5.5.3.3 Procedimientos de prueba de los cables

- Pruebas físicas

-Resistencia a la tracción y alargamiento de rotura de la aislación

Se usan trozos de aislación separados (**probetas**).

Se someten a la tracción registrando los valores donde:

- comienza el alargamiento del material (resistencia a la tracción mínima)
- la rotura del material (alargamiento de rotura mínimo).

Tipo de aislamiento	Material	Resistencia a la tracción mínima (da n/cm <sup>2</sup> )	Alargamiento de rotura mínima (%)
Sólido	Polietileno tipo I y II	100	300
	Cop. Propileno etileno	200	300
Celular c/capa exterior sólida	Polietileno tipo I y II y Cop. Propileno etileno	70	125



- Pruebas de aislación del polietileno y del copolímero de propileno/etileno

#### -Unidad de contracción

Se toma una muestra de cada color de aislación de 150 mm de largo.

Se aplica aire caliente (entre 115 y 130 ° C) a presión atmosférica durante 4 horas.

Se mide la contracción producida en la longitud del aislante de cada muestra.

#### -Índice de escurrimiento

Aplicable a la aislación sólida.

No debe exceder para el **polietileno tipo I** más de 60% del valor obtenido sobre la materia prima.



## 5.5.4 Cables multipares aéreos

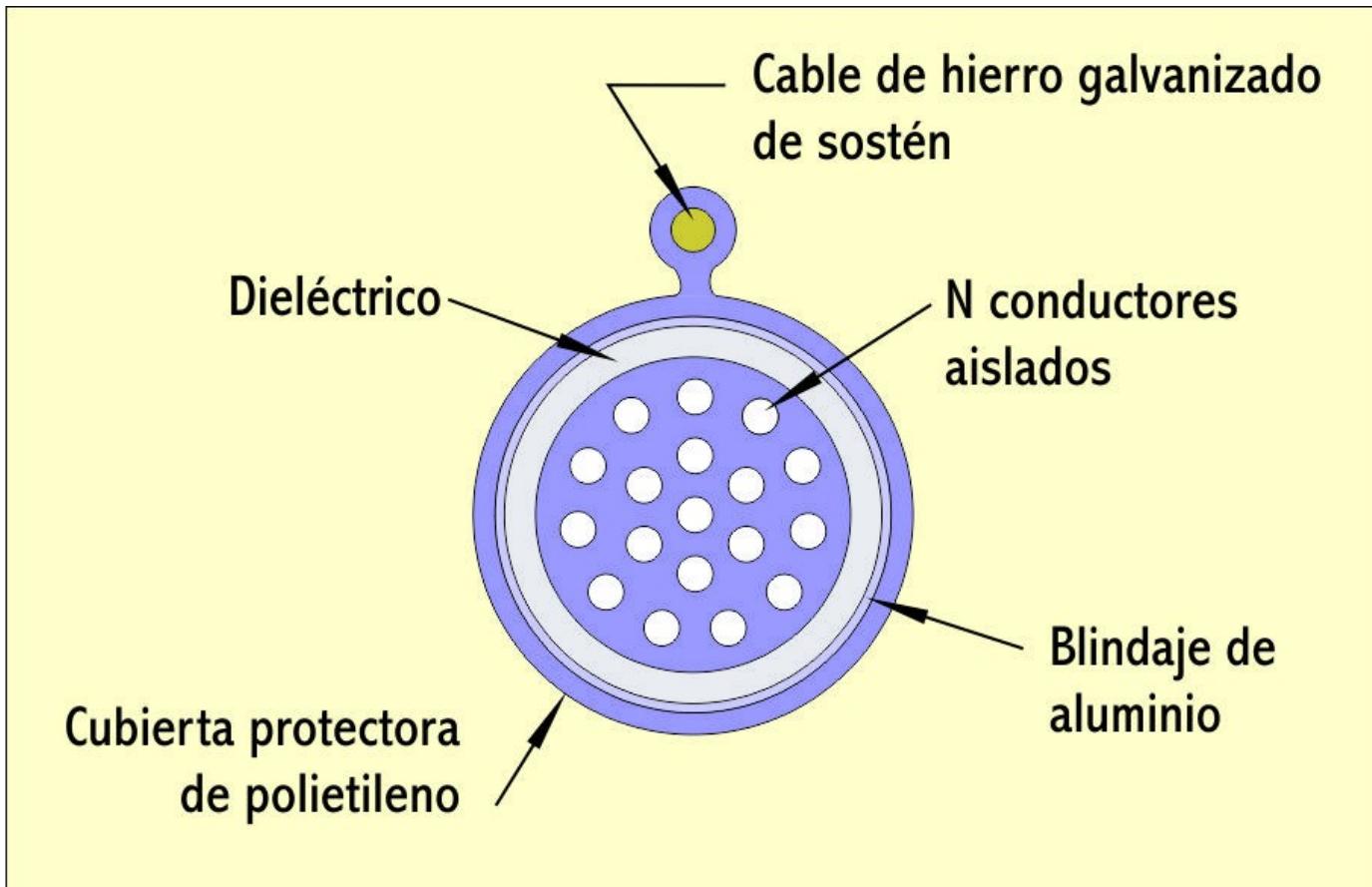
### 5.5.4.1 Definición y uso

Cuentan con los elementos de sostén adecuados.

Contienen entre 100 y 300 pares con conductores de 0,5 mm.



#### 5.5.4.2 Detalles constructivos





## 5.6 Cables coaxiales

### 5.6.1 Definición y uso

Son dos conductores concéntricos: uno interno o central y uno externo, que lo rodea.  
Construidos con cobre electrolítico.

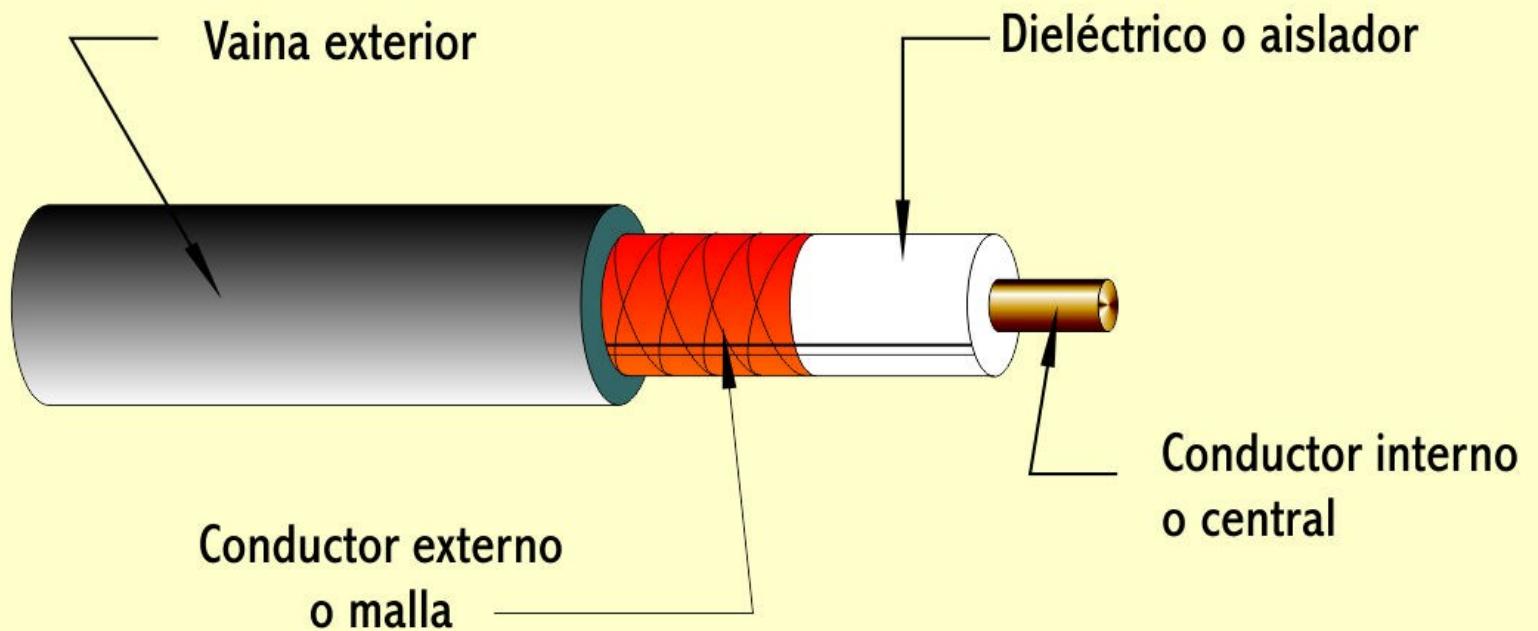
Usado para el envío de señales de televisión por cable, denominados CATV.

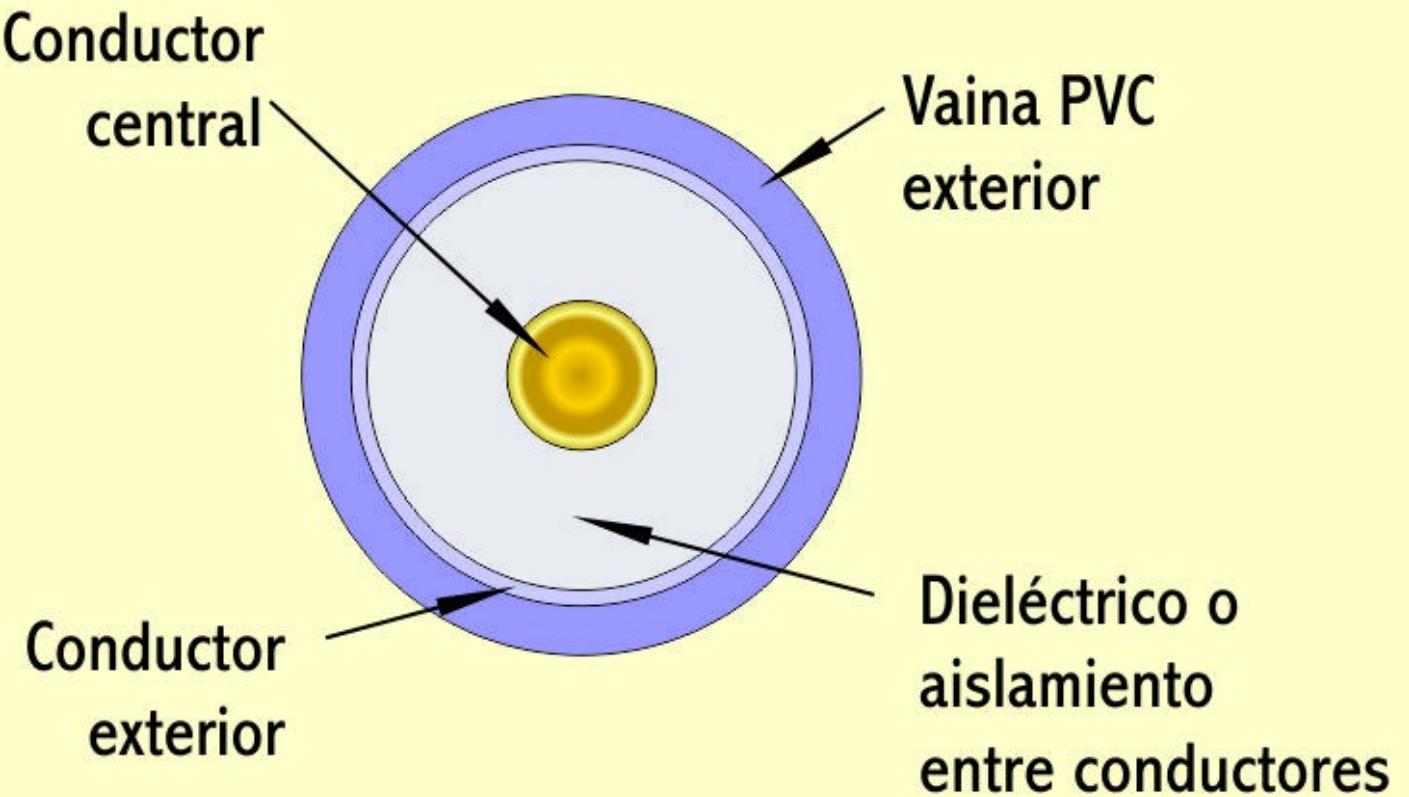
Cables de varios conductores se usaban en redes interurbanas.

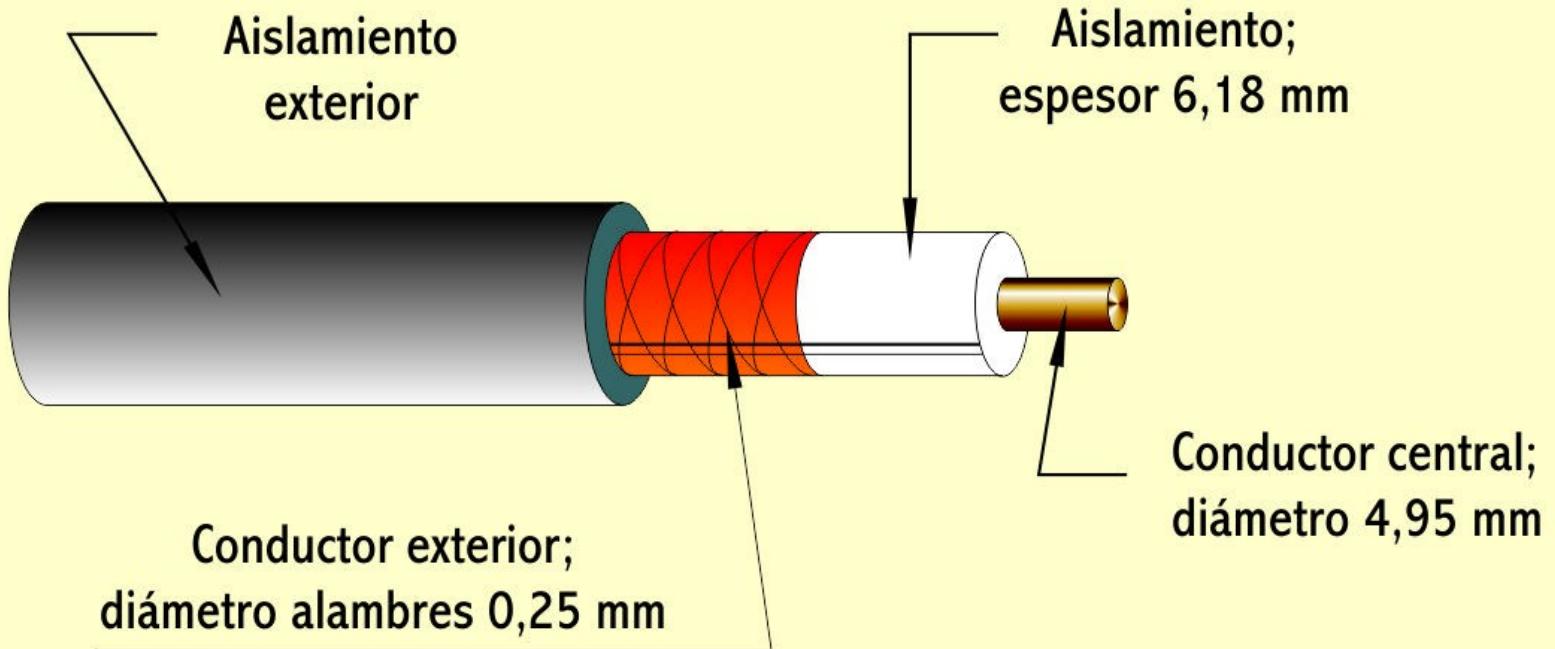
Antes fue empleado en las LAN, ahora reemplazado por el cable UTP.



## 5.6.2 Detalles constructivos









## Eléctricas

## Operativas

Coaxial tipo	Impedancia $Z_0 = [\Omega] \pm 2$	Capacidad $C [pF/m]$	Velocidad de Propagación $V_0 = [\%]$	Tensión máxima $U_{\max} = [kV]$	Atenuación a 20° C $\alpha = [\text{dB}/100m]$					
					1000	1000	1000	1000	1000	1000
Rg174 A/U	50	101	66	1,5	12,80	23,0	29,2	39,4	61,0	98,4
RG122 /U	50	101	66	1,9	5,90	14,2	23,0	36,1	56,0	95,2
RG58 C/U	50	101	66	1,9	4,90	12,0	17,0	26,0	38,0	65,0
RG223 /U	50	101	66	1,9	4,30	10,0	14,0	20,0	29,0	45,0
RG223 /U	50	101	66	1,9	3,90	9,5	15,8	23,0	33,0	54,2
RG 213 /U	50	101	66	5,0	2,00	4,9	7,0	10,5	15,5	26,0
RG9 B/U	50	101	66	5,0	2,20	5,4	7,6	11,5	17,5	30,0
RG21 4/U	50	101	66	5,0	2,20	5,4	7,6	10,9	17,0	28,9
RG21 8/U	50	101	66	11,0	0,75	1,8	3,0	4,6	7,0	12,0
RG17 7/U	50	101	66	11,0	0,78	1,8	3,1	4,6	7,9	14,5



## 5.6.3 Características eléctricas

### 5.6.3.1 Capacidad e inductancia

La **capacidad** y la **inductancia** por unidad de longitud de estos cables se pueden calcular por medio de las siguientes expresiones:

$$\text{Capacidad} = \frac{24,16 E}{\log \frac{D}{d}} \left[ \frac{\text{pF}}{\text{m}} \right]$$

$$\text{Inductancia} = 0,463 \log \frac{D}{d} + 0,522 \cdot 10^{-6} \frac{R}{f} \left[ \frac{\mu\text{H}}{\text{m}} \right]$$



### 5.6.3.2 Impedancia característica de los cables coaxiles

La **impedancia característica** se puede calcular como la división entre la **tensión** aplicada y la **corriente** absorbida en un cable de longitud infinita.

Se puede calcular en base a su geometría:

- relación entre el diámetro del **conductor central** y el **exterior**
- la **constante dieléctrica del material aislante**.



### 5.6.3.3 Atenuación

La **atenuación** es la pérdida de potencia a una determinada frecuencia expresada en decibeles por cada kilometro de cable.

La attenuación depende de la temperatura, que incrementa la resistividad

	Atenuación dB/km	Frecuencia MHz
	0,59	0,06
	1,27	0,30
	2,32	1,00
	8,01	12,00
	14,67	60,00
	40,7	300,00



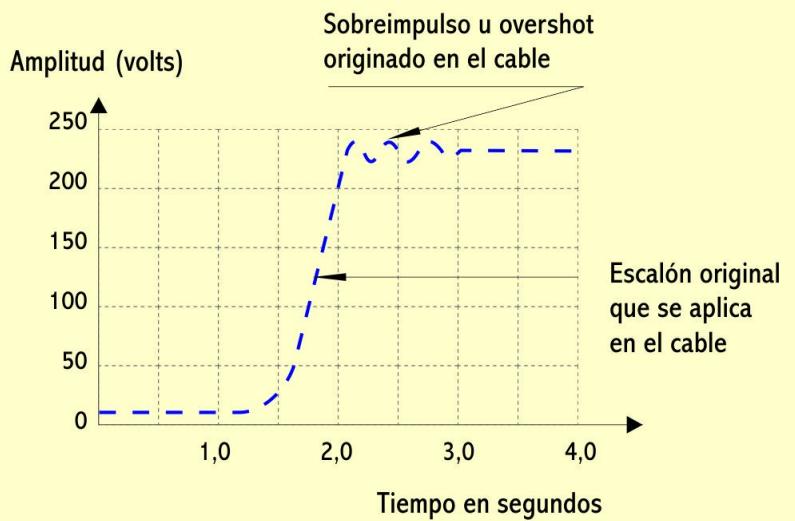
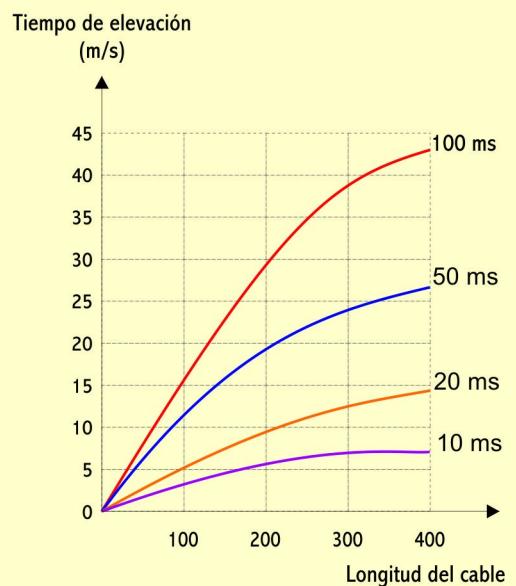
## 5.6.4 Respuesta de los cables coaxiales a la transmisión de señales digitales

Cuando se transmiten pulsos a través de los cables coaxiales se producen distorsiones en la transmisión.

El **tiempo de crecimiento** de un pulso: intervalo para que crezca desde un 10% hasta 90% del valor máximo.

Si el cable fuese ideal:

- el **tiempo de crecimiento** debería ser cero
- no habría distorsión del pulso.





### 5.6.5 Velocidad de propagación de las señales

Está determinada por la **constante dieléctrica del material aislante** que separa al conductor central del conductor exterior.

La velocidad se expresa como un **porcentaje de la velocidad de propagación de la luz** en el espacio libre.

Cable coaxial con material dieléctrico	Tiempo de retardo (m seg/Ft)	Velocidad (%)
Polietileno sólido	1,54	65,9
Polietileno espumoso	1,27	80,0
Polietileno y aire	1,15 - 1,21	84 a 88
Teflón sólido	1,46	69,4
Elastipar	1,50	66
Teflón expandido	1,27	85



## 5.6.6 Designación de los cables coaxiles

La norma más conocida es la de las Fuerzas Armadas de EE.UU: **MIL C -17 E**  
Define unas siglas para identificar a cada tipo de cable y sus características físicas y eléctricas.

Las siglas tienen tres partes:

- las letras **RG** (**radiofrecuencia/gobierno**)
- un número progresivo para cada tipo de cable
- la letra **U** (**universal**)

Las versiones se identifican con una letra delante de la letra **U** (**A/U**, **B/U**, etc.).

Para la elección de cada cable coaxil se deben tener en cuenta los siguientes tres parámetros :

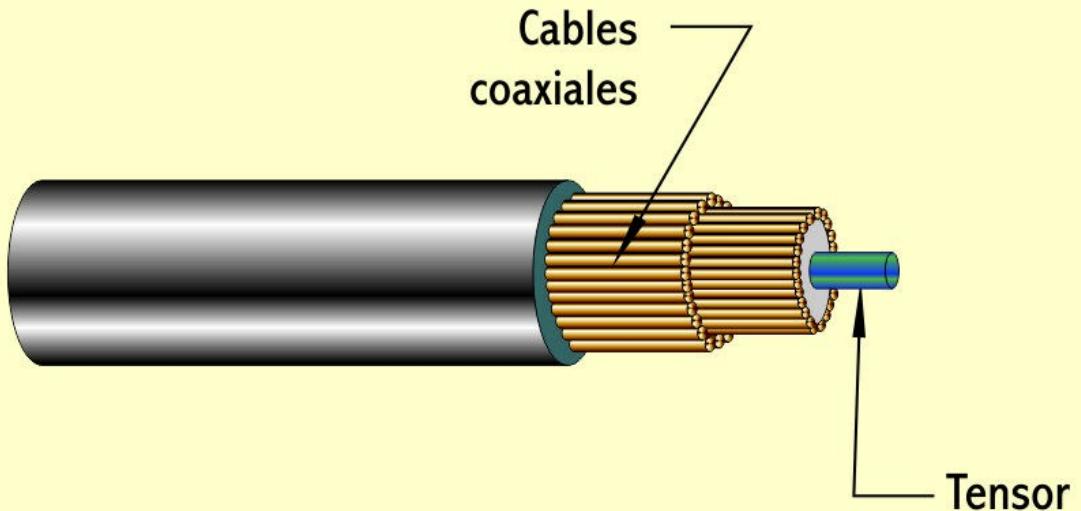
- Impedancia característica.
- Frecuencia de trabajo.
- Atenuación máxima.



## 5.6.7 Cables coaxiales de varios conductores

### 5.6.7.1 Definición y uso

Se usan para la transmisión de señales de comunicaciones (voz, datos e imágenes).  
Aptos para ser instalados en forma subterránea o aérea.





### 5.6.7.2 Detalles constructivos

En los tendidos subterráneos el empleo de cables múltiples baja costos.

Tienen un alma de acero que facilita la instalación.

Los cables coaxiles se colocan dentro de tubos.

Dentro del **mazo** se instalan **cables cuadretes de cobre** para circuitos telefónicos de frecuencia de voz.

Hay elementos para presurizar.

Tienen cubierta exterior de plomo de mas de 2 mm.



## 5.7 Cables de pares trenzados blindados y sin blindar

### 5.7.1 Conceptos generales sobre el cableado estructurado

Se instala simultáneamente tres tipos de redes a cada puesto de trabajo:

- Red para la **transmisión de datos**, que permita organizar una **Red de Área Local**;
- Red de cables multipares de cobre que posibilite el funcionamiento de la **Red Telefónica**,
- Red de **Red de Energía Eléctrica**.

Es un sistema de cableado de telecomunicaciones para edificios que soporta una amplia gama de productos sin necesidad de ser modificado, y permite reconfigurar la topología de las redes sin efectuar nuevos tendidos de cables hacia los puestos de trabajo.



## 5.7.2 Características generales de los cables UTP y STP

Los cables UTP o STP son clasificados en siete categorías según las normas TIA (1 al 7).

El cable STP es similar al UTP pero tiene una cubierta protectora y además una lámina externa de aluminio o de cobre trenzado alrededor del conjunto de pares para reducir el ruido eléctrico.

UTP - Sin apantallar → Unshielded Twisted Pair

STP - Apantallado → Shielded Twisted Pair

---

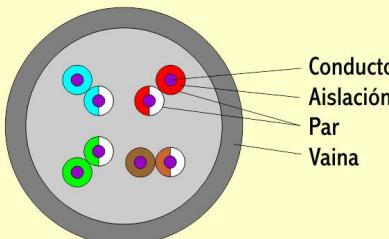
Cuatro pares trazados - ocho cables

STP = Cables de cobre aislados dentro de una cubierta protectora

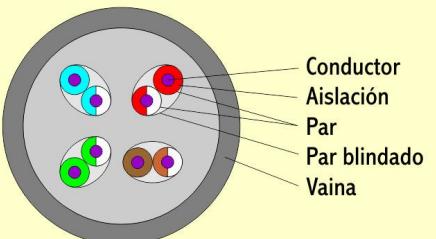
UTP = Cables de cobre aislados dentro de una cubierta

---

UTP

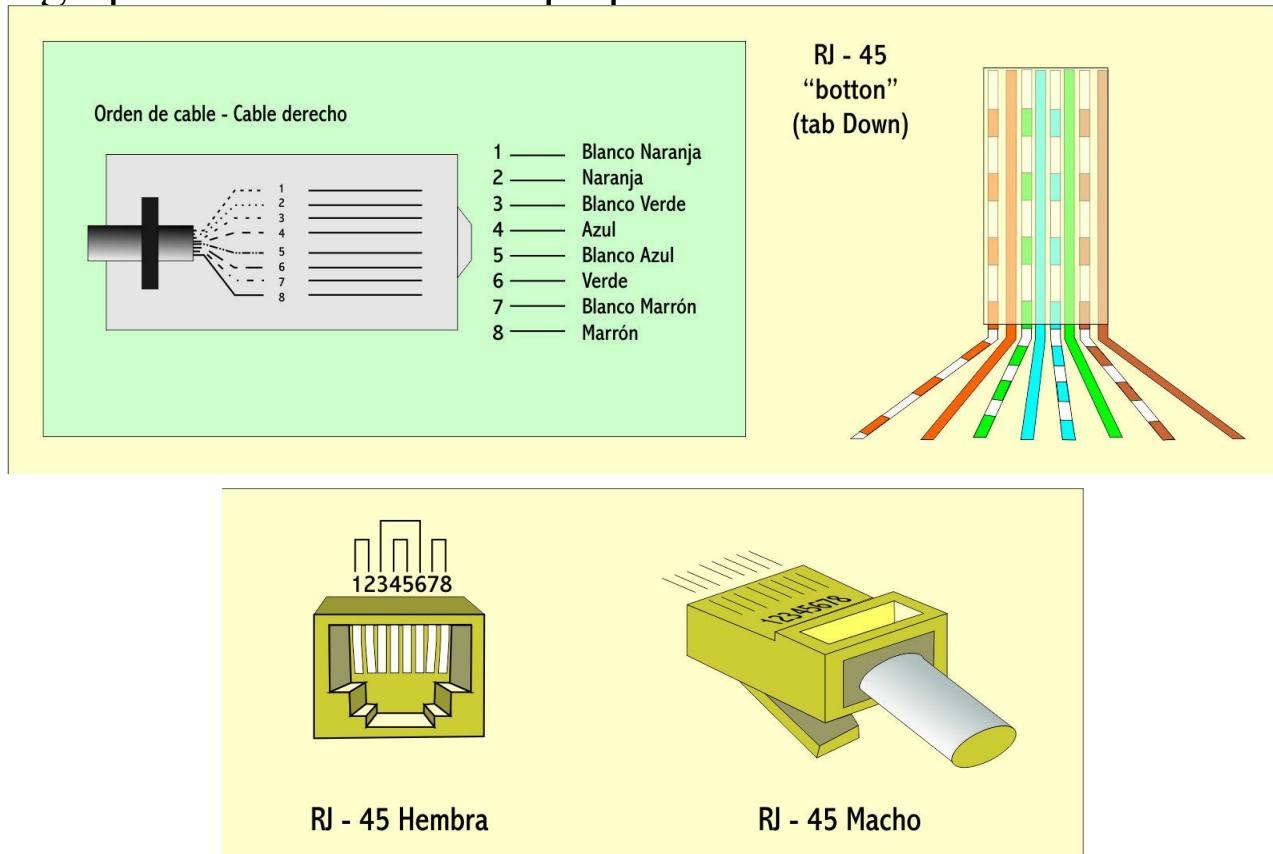


STP





Dentro de cada categoría existe una clase especial con aislación exterior **plenum**.  
En caso de fuego producen una llama pequeña con mínimo humo.





## 5.7.3 Características particulares de los cables UTP y STP

### 5.7.3.1 Aspectos generales

Las especificaciones están normalizadas por la TIA y por la ISO.

Son muy similares pero usan terminología diferente.

En las normas TIA el rendimiento se caracteriza por categoría.

En las normas ISO el mismo se divide en **clases** y sus componentes por **categorías**.



### 5.7.3.2 Cables de las categorías 1 a 4

- **UTP - Categoría 1:** (telefonía analógica, no apto para la transmisión de datos).  
Un solo par de cables de cobre trenzados.
- **UTP - Categoría 2:** (telefonía analógica y digital hasta 4 Mbps).  
Cuatro pares de cables de cobre trenzados.
- **UTP - Categoría 3:** (voz y datos hasta 10 Mbps)  
**Redes de Área Local** con tecnologías **Token Ring** de 4 Mbps o **Ethernet**.  
Cuatro pares de cables de cobre trenzados, con una trenza cada 10 cm.  
Atenuación cada 100 m: **13,1 dB a 10 Mbps**.
- **UTP - Categoría 4:** (telefonía digital hasta 20 Mbps)  
**Redes de Área Local** con tecnologías **Token Ring** de 16 Mbps o **Ethernet**.  
Cuatro pares de cables de cobre trenzados.



### 5.7.3.3 Cables para uso en velocidades de 100 Mbps o mayores

Ancho de Banda [Mhz]	Normas TIA		Normas ISO	
	Cables	Componentes	Cables	Componentes
100	Categoría 5/5e	Categoría 5/5e	Clase D	Categoría 5/5e
250	Categoría 6	Categoría 6	Clase E	Categoría 6
500	Categoría 6A	Categoría 6A	Clase E A	Categoría 6A
600	Categoría 7	Categoría 7	Clase F	Categoría 7
1000	Categoría 7A	Categoría 7A	Clase F A	Categoría 7A



#### 5.7.3.4 Características de cada norma

- **UTP - Categoría 5 y 5e/Clase D:** (voz y datos en **Redes de Área Local 100BASE – T** a 100 Mbps). Cuatro pares de cables de cobre trenzados. Atenuación cada 100 m: **8,2 dB a 16 Mbps y 22,0 dB a 100 Mbps.**
- **UTP - Categoría 6 y 6A/Clase E y EA:** (voz y datos hasta *1.000 Mbps*) **Redes de Área Local con tecnología Ethernet.**  
Actualmente muy usado por rendimiento y relación de precio-calidad.
- **Categoría 7 y 7A/Clase F y FA:**  
Mínimo de atenuación/diafonía a la interferencia en valores de *600 MHz* y *1.000 MHz*.  
Construcción blindada brinda una excelente **compatibilidad electromagnética** (disminuye los efectos del acoplamiento entre elementos eléctricos o electrónicos).



### 5.7.3.5 Parámetros más representativos de cada categoría o clase

Parámetros	Categoría - Clases				
	5e / D	6 / E	6A / E <sub>A</sub>	7 / F	7A / F <sub>A</sub>
Frecuencia [MHz]	1 - 100	1 - 250	1 - 500	1 - 600	1 - 1000
Atenuación [dB] (1)	24	21,3 / 21,7	20,9	20,8	20,3
Pérdida NEXT [dB] (2)	30,1	39,9	39,9	62,9	65
Pérdida ACRF [dB] (2)	17,4	23,3	23,3 / 25,5	44,4	47,4
Pérdida Retorno [dB] (2)	10	12	12	12	12
Delay de propagación [ns]	548	548	548	548	548



## 5.8 Cables submarinos de cobre

### 5.8.1 Definición y uso

Compuestos por coaxiles para la transmisión de señales aptos para ser instalados bajo la superficie del mar.

Son obsoletos y fueron reemplazados por la **fibra óptica**.



## 5.8.2 Breve reseña histórica

1832 a 1836: Morse desarrolla el telégrafo eléctrico.

1844: servicio entre Washington y Baltimore.

1850: cable submarino para conectar Inglaterra con el continente europeo.

1866: cable entre Europa y América.



### 5.8.3 Detalles constructivos

Los cables coaxiales submarinos son similares a los usados para tendidos terrestres, aunque tienen mucha mayor calidad y aislación.

La vida útil es del orden de los veinticinco años con no más de dos fallas.

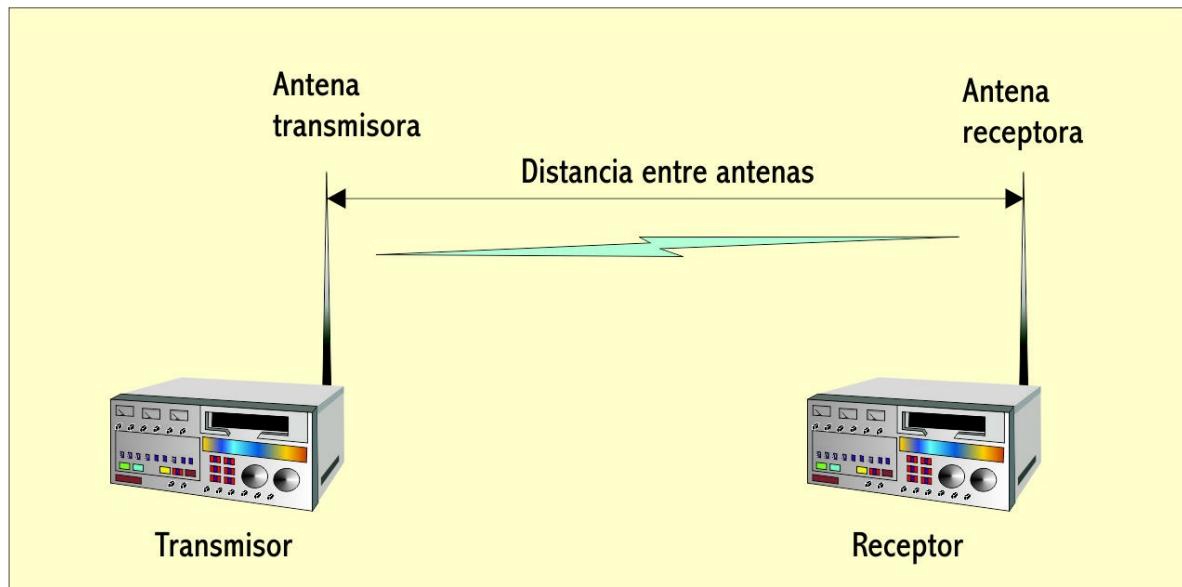


## 5.9 Radiocomunicaciones

### 5.9.1 Definición y uso

Intercambian información mediante la transmisión y recepción de ondas electromagnéticas que utilizan el aire o el vacío como dieléctrico.

Se propagan a la velocidad de la luz: 300.000 km/s





Nombre	Abreviatura ITU	Intervalo de frecuencias	Longitud de Onda	Servicios
Baja frecuencia Low Frequency	LF	30 - 30 kHz	10 - 1 km	Móvil marítimo - Radionavegación Radio faros
Media frecuencia Medium Frequency	MF	300 - 3000 kHz	1 km - 100 m	Radiodifusión
Alta frecuencia High Frequency	HF	3 - 30 MHz	100 - 10 m	Radioaficionados Comunicaciones Onda corta
Muy alta frecuencia Very high Frequency	VHF	30 - 300 MHz	10 - 1 m	TV - Radio FM Radio llamadas Radioaficionados
Ultra alta frecuencia Ultra high Frequency	UHF	300 - 3000 MHz	1 m - 100 mm	Microondas - Comunicaciones móviles TV
Súper alta frecuencia Super high Frequency	SHF	3 - 30 GHz	100 - 10 mm	Microondas Satélites
Extra alta frecuencia Extremely high Frequency	EHF	30 - 300 Ghz	10 - 1 mm	Satélites - Radionavegación Radionavegación Satelital



## 5.9.2 Características de las ondas de radio

Cuando se aplica una señal a una antena, los electrones en el metal oscilan y generan una corriente eléctrica que produce un campo magnético concéntrico al conductor.

Los campos eléctricos y magnéticos resultantes varían en forma y valor siguiendo las variaciones de la señal generando una onda electromagnética que se propaga.

Velocidad de ondas de radio es igual a la de la luz:  $300.000 \text{ km/s}$ .

En el aire y en el vacío la velocidad es la misma.



## 5.9.3 Propagación de las ondas de radio

### 5.9.3.1 Definición y conceptos generales

Propagación es el conjunto de fenómenos por el cual las ondas enlazan puntos geográficos distantes a través de medios dieléctricos.

Depende de las distintas zonas geográficas (superficie del mar, zona desértica).

Las ondas de radio se propagan en función a su frecuencia de emisión de acuerdo a los siguientes modos:

- Propagación por onda terrestre.
- Propagación por onda reflejada espacial o ionosférica.
- Propagación por onda directa.



### 5.9.3.2 Propagación por onda terrestre

Es una combinación de la propagación por **onda de superficie** y por **onda espacial**.

La **onda espacial** tiene dos componentes:

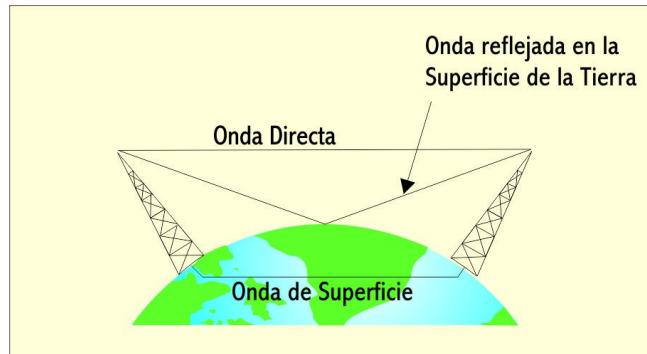
- onda directa** (o transmisión por línea de vista)
- onda reflejada en la superficie de la Tierra.**

Ambas parten en forma simultanea de la antena transmisora.

El rayo que se refleja en la tierra llega a la antena receptora con retraso.

La diferencia entre las distancias determina la intensidad de la señal en el receptor.

El fenómeno se denomina **interferencia de ondas**.





### 5.9.3.3 Propagación por onda reflejada espacial o ionosférica

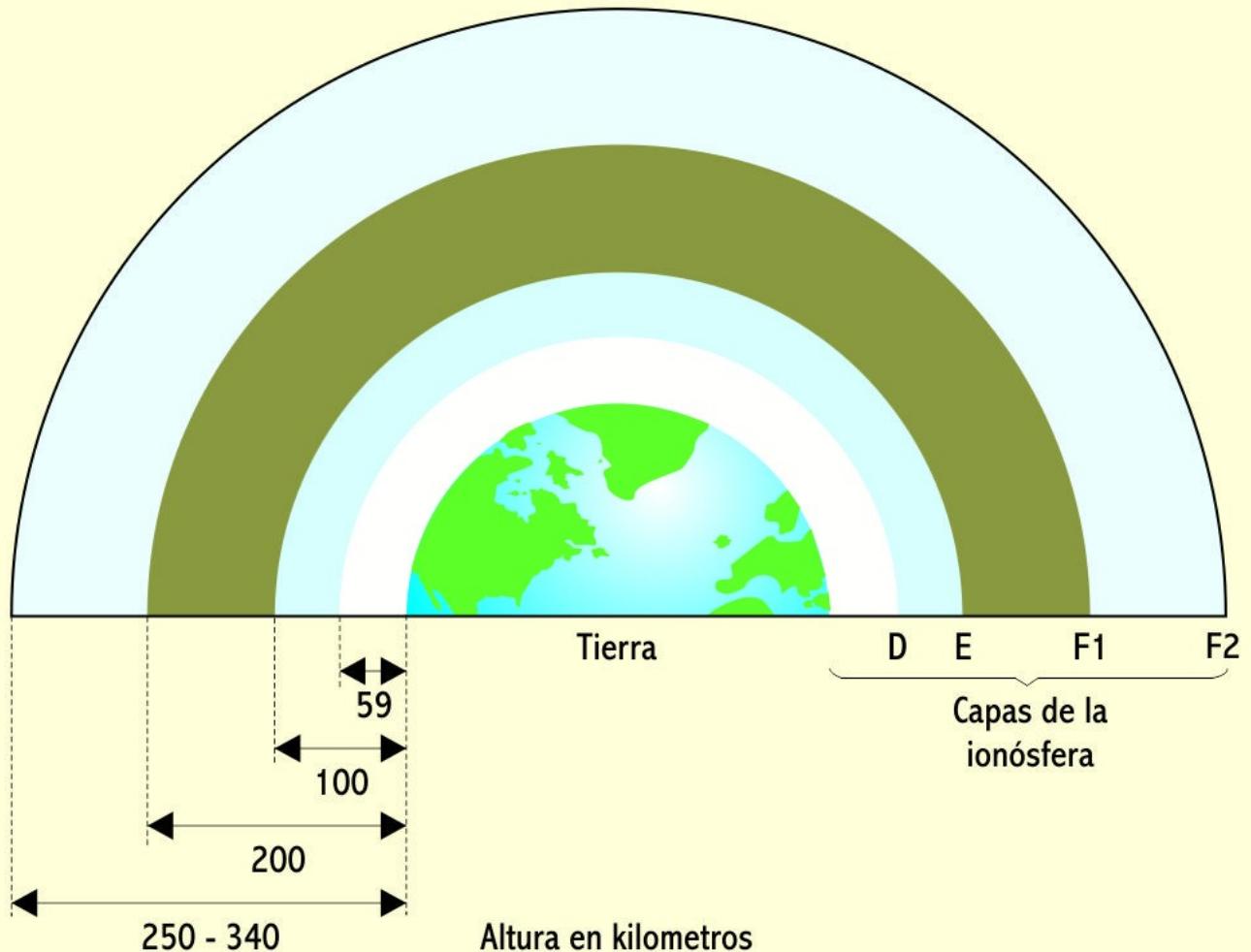
La ionósfera es una zona formada por las ondas electromagnéticas provenientes del Sol.

Cuando una onda ultravioleta choca contra los átomos de los gases existentes en la atmósfera, algunos electrones salten a una órbita exterior absorbiendo energía.

Si se desprende el electrón de su átomo, el núcleo queda cargado (**ion positivo**).

La densidad de iones depende de la radiación solar y de la densidad de la atmósfera.

Las capas ionizadas de la atmósfera (**ionósfera**) forman un casquete esférico alrededor de la superficie terrestre que causan una propagación diferente.





Las antenas emiten radiación electromagnética que se dirige a la ionosfera con un **ángulo incidente ( $\alpha$ )**.

Cada antena tiene un diagrama de radiación con direcciones de mayor intensidad.

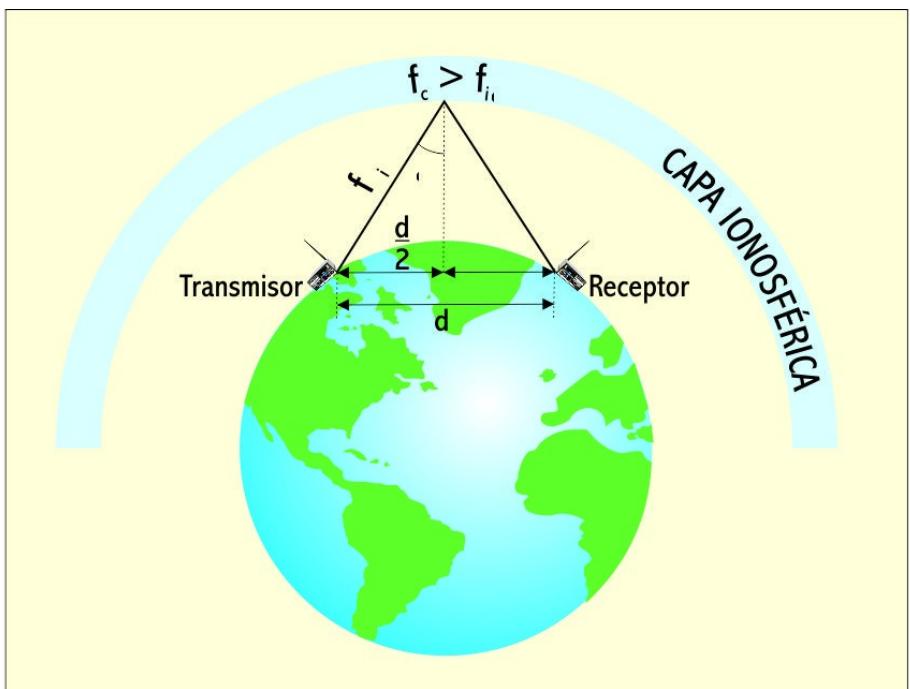
La propagación depende de: frecuencia, ángulo de emisión, altura y densidad de ionosfera.

Durante el recorrido por el interior de la ionósfera hay refracción aumentando el ángulo de emisión  $\alpha$  según la Ley de Snell.

Conforme avanzan el ángulo se hace cada vez mayor y los rayos salen de la ionosfera alcanzando la superficie de la Tierra a una gran distancia del transmisor.



La propagación por onda reflejada espacial o ionosférica depende de la frecuencia, y hay una **frecuencia crítica**.



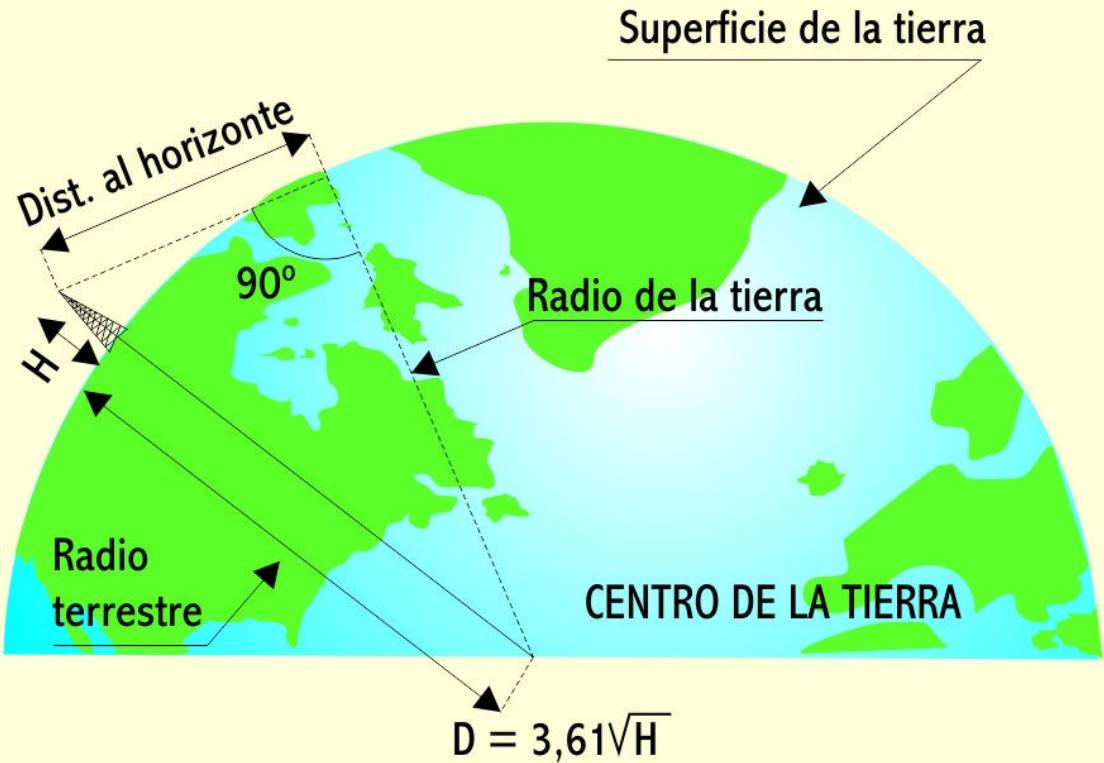


#### 5.9.3.4 Propagación por onda directa

Propagación en línea recta: la onda viaja sin tocar el terreno ni la ionosfera.

Se usa en bandas de frecuencias muy elevadas, frecuencias ultra elevadas y superiores.

- **Distancia al horizonte:** Es la distancia cubierta por una onda que se propaga en línea recta hasta rozar tangencialmente la superficie de la Tierra.
- **Distancia de alcance visual:** Es la máxima distancia a la cual pueden instalarse dos antenas, de alturas determinadas, sobre la superficie de la Tierra si se desea que se establezca entre ambas una comunicación en línea recta.

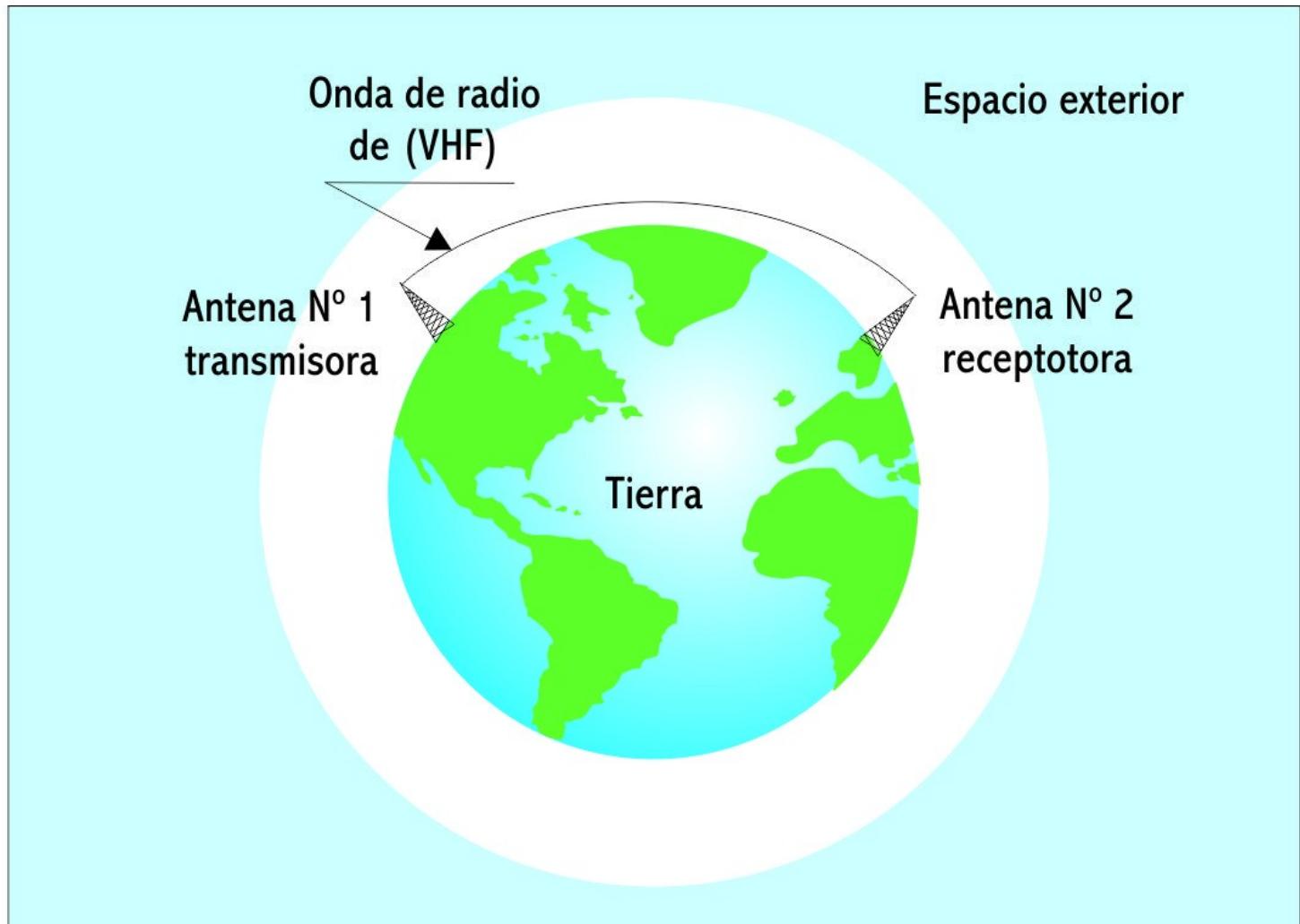


Donde:

D: Distancia al horizonte en kilómetros

H: Altura de la antena en metros







## 5.10 Satélites

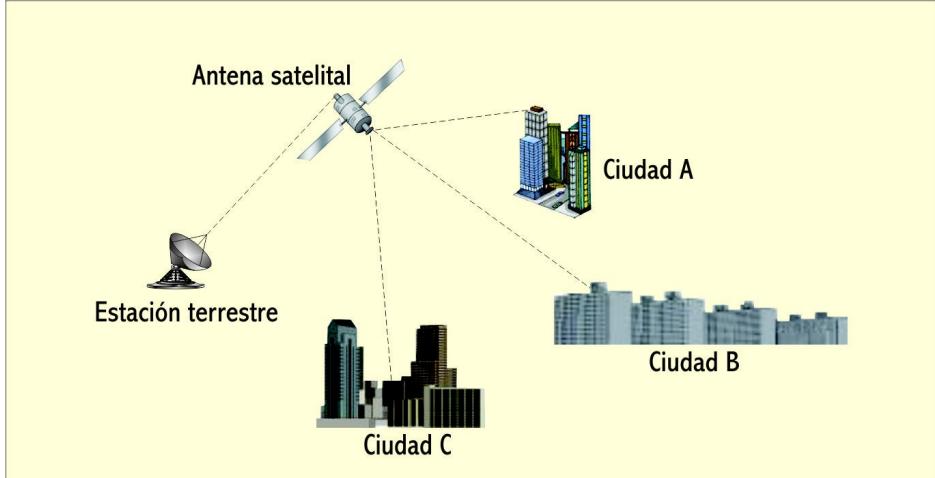
### 5.10.1 Definición y uso

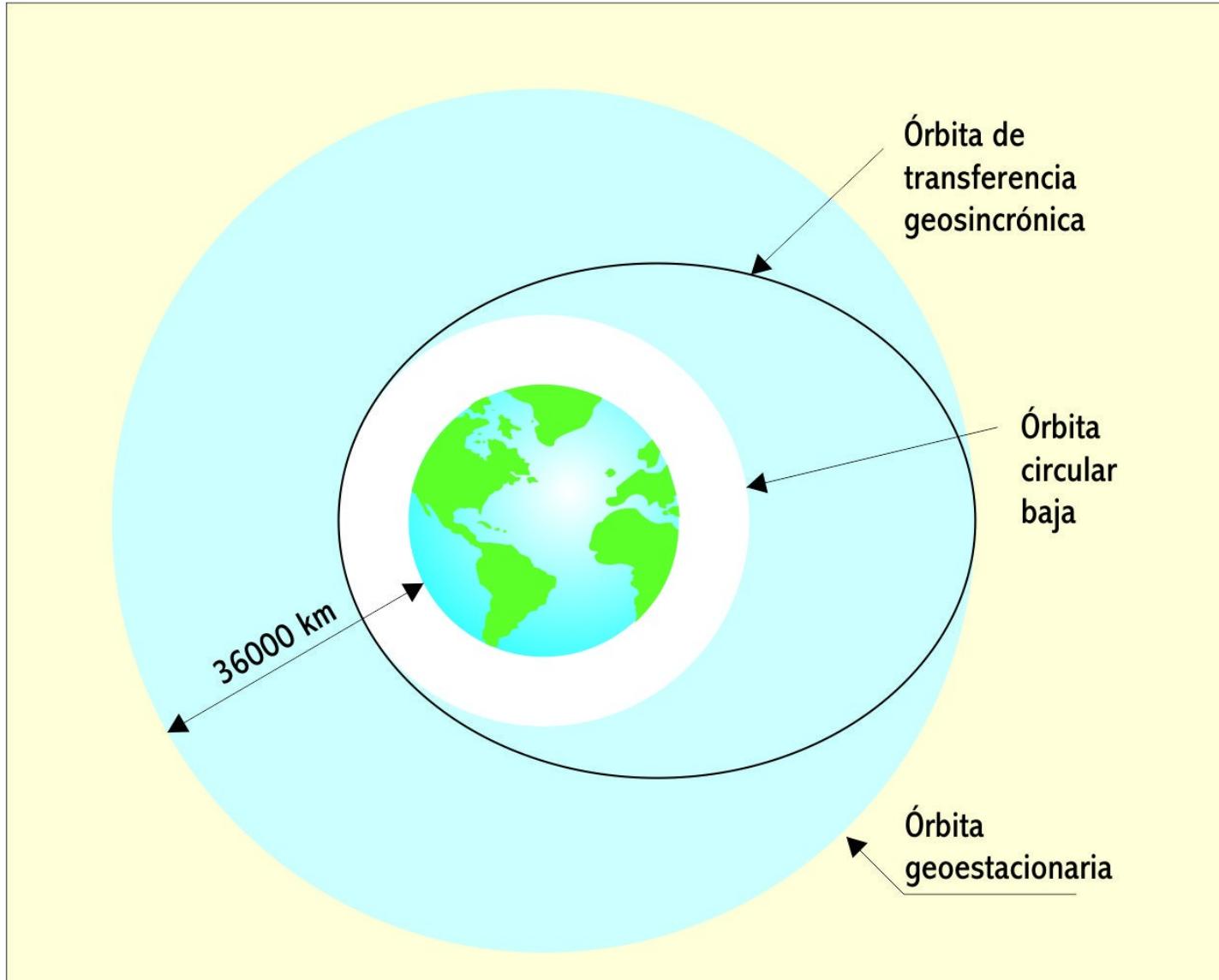
Se usan uno o más satélites como punto medio para lograr la reflexión de las ondas para llegar a un punto distantes sin alcance visual.

### 5.10.2 Referencia histórica

Los satélites de telecomunicaciones están ubicados en la denominada **órbita geosincroestacionaria**.

Hay sistemas con satélites ubicados en otras orbitas, medias y bajas.







## 5.10.3 Las organizaciones internacionales para la provisión de servicios satelitales

### 5.10.3.1 Aspectos generales

Los servicios satelitales están operados por varios consorcios internacionales. Más de 60 empresas proporcionan servicios internacionales, regionales y nacionales. Hay gran cantidad de satélites en órbitas geoestacionarias en las **Bandas C y Ku**. Varios proyectos para instalar satélites de órbita baja en la **Banda Ka**. Deben competir en precios y servicios con las redes de cables de fibras ópticas.



### 5.10.3.2 Consorcio INTELSAT

1964: la **Resolución Nº 1721 de las Naciones Unidas** funda el **primer consorcio internacional** llamado **INTELSAT** (*International Telecommunication by Satellite*). 1965: primer satélite (**Early Bird**-pájaro madrugador) o **Intelsat I**.

Servicios de voz y televisión (480 canales de voz) entre EE.UU. y Europa.

Los miembros del consorcio son más de 140 países.

2001: pasa a ser una empresa privada (INTELSAT Ltd.) con sede en Luxemburgo.



### 5.10.3.3 INTERSPUTNIK

1971: el bloque de países socialistas formó el segundo Consorcio Internacional, constituido inicialmente por 8 países miembros, entre ellos Cuba.

En 2008 contaba con 25 países incluyendo a Alemania Federal y Nicaragua.

Usan un grupo de satélites geoestacionarios entre los 14° Oeste y 166° Este.

El operador es la **Compañía Rusa de Satélites de Comunicaciones** (*Russian Satellite Communications Company*), que es distribuidora de otros operadores.



#### 5.10.3.4 INMARSAT

1979: tercer consorcio creado por la **OMI para** comunicaciones marítimas.

Integrada por 94 países que supervisa:

- La seguridad en el mar según lo establece la OMI.
- Coordinación de comunicaciones para búsqueda y rescate.
- Seguridad aeronáutica (normas y métodos recomendados por la **Organización de Aviación Civil Internacional – OACI**).
- Sistema internacional para la **Identificación Seguimiento de Buques de Largo Alcance – LRTI** (*Long Range Identification and Tracking*).



### 5.10.3.5 ARABSAT

1976: la Liga árabe crea la **Organización Árabe para las Comunicaciones por Satélite – ARABSAT** (*Arab Satellite Communications Organization*).

1985: lanzan el primer satélite (Arabsat-1<sup>a</sup>).

2011: cinco satélites en tres posiciones orbitales

- 20° Este: Arabsat - 2B
- 26° Este: BADR-4, BADR-5 y BADR-6
- 30,5° Este: Arabsat – 5A.

Transporta 400 canales de televisión y 160 emisoras de radio.

Cubre más de 100 países de Oriente Medio, África, Europa y Asia Central.



#### 5.10.3.6 EUTELSAT

1977: crean la **Organización Europea de Telecomunicaciones por Satélite** (*European Telecommunications Satellite Organization*).

1983: primer satélite

2005: con 30 lanzamientos abarca un 14% del mercado.

2005: se crea un *holding* (Eutelsat Communications).

Posee 27 satélites en órbita y dispone de 20 posiciones geoestacionarias.

Cubre desde la posición 15° Oeste hasta los 75° Este.

Presta servicios a Europa, Oriente Medio, África, parte de Asia y América.



### 5.10.3.7 ASIASAT

1988: en Hong Kong se funda la **Organización Asiática de Satélites - ASIASAT** (*Asian Satellite Organization*)

1990: primer satélite.

2011: opera tres satélites (AsiaSat 3S, 4 y 5)

Brinda conectividad a 50 países de la región.

Actualmente es una empresa privada: **ASIASAT** (*Asia Satellite Telecommunications Company Limited*).



## 5.10.4 Clasificación de los distintos tipos de satélites

### 5.10.4.1 Aspectos generales

Un satélite permanece en órbita si la fuerza centrífuga que genera su rotación alrededor del planeta iguala la fuerza de atracción de la Tierra.

Son repetidores de comunicaciones desde y hacia la Tierra.

La zona de cobertura depende de:

- la órbita
- las antenas
- la potencia de transmisión



#### 5.10.4.2 Satélites de órbita baja (LEOS)

- A 800 km de altura se necesitan 90 minutos para dar una vuelta completa a la Tierra.  
1991: Satélite europeo ERS – 1

Para una estación terrestre permanece solo unos pocos minutos disponible.

- Para un servicio continuo es necesario contar con muchos satélites (50 a 100).
- Requieren bajas potencias de transmisión (menor consumo y costo).
- La recepción se puede efectuar por antenas omnidireccionales.
- Ambas particularidades los hacen aptos para comunicaciones personales móviles.
- Lanzamientos son de bajo costo debido a la altura de la órbita.
- Bajo retardo o *delay* (10 ms) : favorece las comunicaciones de datos.



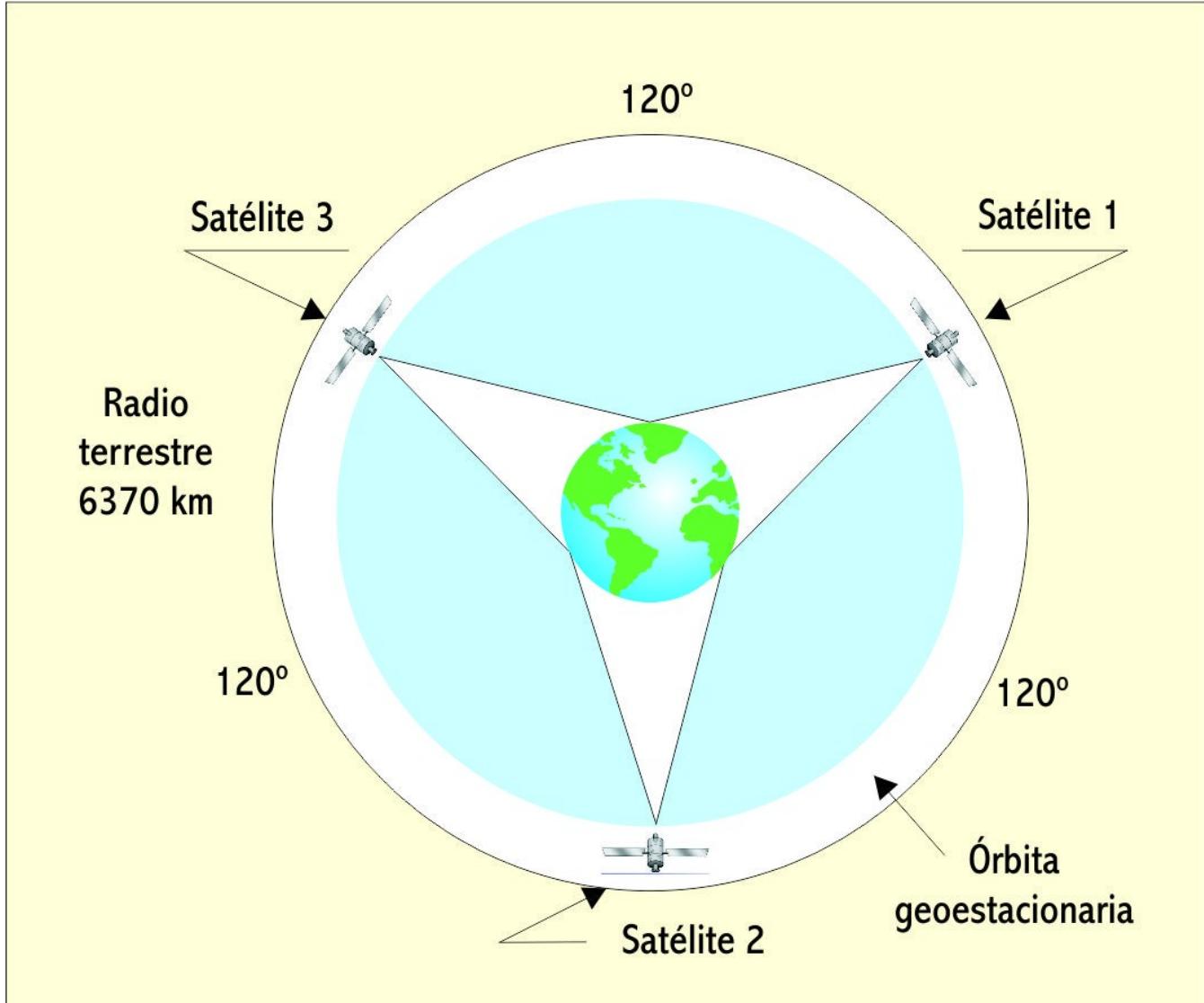
### 5.10.4.3 Satélites de órbita media

- Las órbitas duran de seis a ocho horas (permanece visible entre una y dos horas).
- Para un servicio continuo es necesario diez satélites en dos planos a  $45^\circ$  respecto del Ecuador para una cobertura mundial.
- Requieren potencias mayores que los satélites en órbitas bajas.
- Lanzamientos de costos menores que los satélites geoestacionarios, pero mayores a los de órbitas bajas.
- El retardo o *delay* está en el orden de los 70 ms.



#### *5.10.4.4 Satélites de órbita geoestacionaria*

- Periodo de rotación igual al de la Tierra (parecen permanecer fijos en el espacio con disponibilidad de 24 horas).
- Para un servicio continuo basta con un solo satélite para unir dos puntos que puedan ser vistos por él, y tres para cubrir toda la Tierra.
- Requieren altas potencias de transmisión, antenas costosas del tipo parabólico, y amplificadores de bajo ruido (LNA).





- Usan antenas omnidireccionales.
- Aptos para las comunicaciones personales móviles.
- La cantidad de satélites que pueden operar en la órbita geoestacionaria está limitada por las interferencias de los satélites ubicados a ambos lados.
- Los lanzamientos tienen costos muy elevados.
- Retardo o *delay* muy alto (menor a 480 ms entre estaciones terrestres)
- En telefonía genera ecos indeseados y obliga a usar canceladores de eco.



#### *5.10.4.5 Satélites de órbitas altamente elípticas*

- Aptos para las cubrir las zonas polares.
- Periodo de rotación de 12 horas, con ocho horas útiles.
- Tres satélites para servicio continuo.

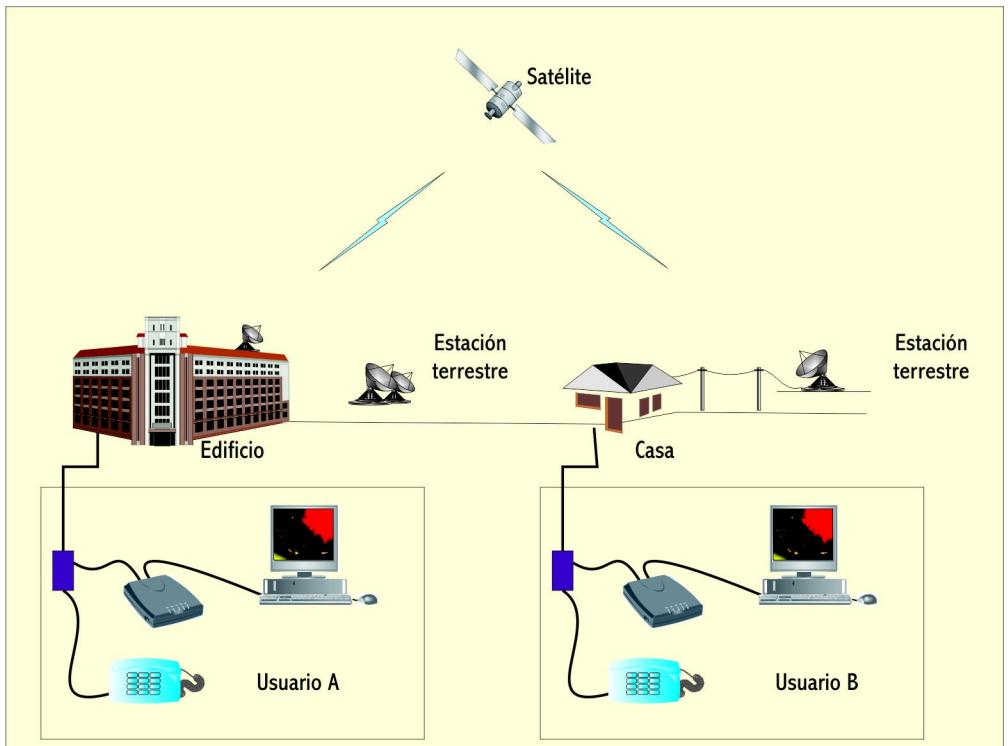


## 5.10.5 Componentes de un sistema de comunicaciones por satélite

### 5.10.5.1 Aspectos generales

Elementos fundamentales:

- Segmento espacial o satélite.
- Segmento terrestre o estaciones terrestres.
- Sistemas de seguimiento, telemetría y control.
- Otros sistemas auxiliares y complementarios.





### *5.10.5.2 Segmento espacial o satélite*

Satélite ubicada en el espacio con vida útil de 8 a 18 años.

Recibe señales desde la tierra, las amplifica, cambia la frecuencia de la portadora, y las retransmite a otras estaciones terrenas.

El *hardware* es de alta calidad por las severas condiciones ambientales.



Un satélite está compuesto de los siguientes subsistemas principales:

- Estructura del satélite
- Subsistemas de comunicaciones o *payload* (carga útil)
- Subsistemas de generación y distribución de potencia
- Subsistemas de estabilización
- Subsistemas de control de temperatura



### *5.10.5.3 Segmento terrestre o estaciones terrestres*

Caracterizadas por el tamaño de la antena, la potencia de transmisión, sensibilidad de recepción, capacidad de canales que manejan, modos de acceso, etc.

Procesan las señales, luego son multiplexadas por división de tiempo y finalmente enviadas al transmisor, que se encarga de amplificarlas y transmitirlas a la antena con la frecuencia y la potencia adecuada.

La calidad está dada por la relación entre su **ganancia con relación al ruido total**.



Según su empleo y capacidad final, las podríamos clasificar en los siguientes tipos:

- Estaciones de alta capacidad
- Estaciones de media capacidad
- Estaciones de pequeña capacidad
- Estaciones terrestres móviles



#### *5.10.5.4 Sistemas de seguimiento, telemetría y control*

Los sistemas de seguimiento mantienen la posición orbital dentro de  $0,5^\circ$ .

Las estaciones reciben datos de la posición, altura, alarmas, nivel de potencia, etc.

Mediante computadoras se calcula de la posición correcta y se envían comandos a los motores/cohetes para corregir la posición.



## 5.10.6 Características de los sistemas de comunicaciones satelitales

### 5.10.6.1 Servicios fijos, con o sin conmutación

Comunicaciones **punto a punto**, o **punto multipunto**

Sobre uno o más satélites.

**Señales analógicas o digitales según el transponder que tenga instalado.**



### *5.10.6.2 Servicios de difusión*

Comunicaciones **punto multipunto** entre una estación con **transmisión y recepción** y muchas estaciones con **recepción**.

Las receptoras brindan servicio a **un único usuario final** o distribuyen la señal recibida mediante redes (**CATV**).



### *5.10.6.3 Servicios móviles*

Comunicaciones **punto a punto** o **punto multipunto** entre dos o más estaciones con **transmisión y recepción**.

**Una estación es fija**, conectada a la red publica, y la otra es una **estación móvil**.

Ejemplo: sistema **Iridium** operado por **Iridium Communications Inc.**



## 5.10.7 Formas de acceso al satélite

### 5.10.7.1 Aspectos generales

Hay limitaciones por ancho de banda y cantidad de satélites.

Para mejor aprovechamiento se han perfeccionado los métodos de acceso (MA).

Según los *transponder* manejan señales analógicas o digitales.



### 5.10.7.2 Single Channel Per Carrier (SCPC)

**Canal Único por Portadora:** una sola señal de una frecuencia y ancho de banda determinado (voz, radiodifusión o video).

Tecnología muy simple, de bajo costo fácil implementación, variados anchos de banda (desde un canal de voz de 64 kbps hasta el ancho de banda total del *transponder* de 36 MHz).



### *5.10.7.3 Multi Channel Per Carrier*

**Varios canales por portadora:** para mayor caudal de datos.

Combinar múltiples señales de voz en un flujo de bits, para modular una portadora utilizando la técnica de banda lateral única.

Todos los canales son multiplexados por división de frecuencia y luego modulados en una única señal de radiofrecuencia que se envía posteriormente al satélite.

Desventaja: todas las señales deben ser enviadas a un solo lugar para ser combinadas para la transmisión.

Es muy eficiente cuando el tráfico es intenso.



#### 5.10.7.4 Comanded Frequency Division Multiplex

**Multiplexación por división de frecuencia con compansión:** permite ampliar la capacidad de ancho de banda disponible hasta casi el doble.

Los canales de voz son comprimidos en amplitud y modulados.

Al ser recibidos son demodulados y expandidos.

En un *transponder* de 36 MHz se pueden acomodar 2100 canales de voz.



#### 5.10.7.5 Time Division Multiplexer Asynchronous

Se usa con señales digitales.

**Multiplexación asincrónica por división de tiempo:** varias estaciones terrestres, utilizando la misma portadora, envíen en diferentes instantes pequeñas ráfagas de datos o *bursts*.

Los datos están multiplexados por división de tiempo dentro de una trama, donde cada estación utilizara un *slot* de tiempo.

El *transponder*, recibe la trama completa, la amplifica, convierte la frecuencia para su devolución a la tierra y la retransmite a la estación terrestre receptora correspondiente.



#### *5.10.7.6 Satellite Switched/Time Division Multiplexer Asynchronous*

Similar al anterior, pero en el satélite hay un commutador que redirecciona las señales, enviando cada estación transmisora al destinatario que corresponde.

La commutación en el satélite es operada desde tierra.

#### **5.10.8 Eco**

Los satélites geoestacionarios están ubicados a 35.780 km de distancia de la tierra.

La velocidad de propagación de la luz es de 300.000 km/s.

La señal electromagnética tiene un retraso de 0,12 segundos de Tierra al satélite.

Para un solo salto satelital, el retardo total será de 0,24 segundos.

Un eco de 0,24 s es perceptible por el oído humano.

Es necesario usar **canceladores de eco**.

Las comunicaciones con vías de transmisión y recepción diferentes (cuatro hilos o **dúplex completo**) no presentan eco.



## 5.11 Microondas

### 5.11.1 Definición y uso

Trabajan en la banda de frecuencias ultra elevadas - UHF y aun mas altas.

Usan un haz radioeléctrico como si fuera un rayo de luz para establecer un enlace punto a punto entre dos estaciones.

Si no están en la misma visual deben utilizar estaciones repetidoras intermedias para armar circuitos de varios miles de kilómetros.

La curvatura de la Tierra o la topografía del lugar limita el alcance del haz directo. La Tierra difracta las señales y pueden alcanzar distancias más allá del horizonte.

La capacidad es elevada y multiplexando el ancho de banda se pueden transmitir, señales de velocidades muy elevadas.



## 5.11.2 Características generales

Las estaciones intermedias reciben el nombre de **estaciones repetidoras** y pueden ser activas o pasivas.

Tienen como funciones básicas la **recepción**, la **amplificación** o la **regeneración**, según se trate de señales analógicas (ya en desuso) o digitales, y la posterior **retransmisión** hacia la siguiente estación (retransmisora o terminal).

Actualmente la totalidad de los enlaces son totalmente digitales.



La instalación de microondas requiere la autorización de la **autoridad nacional** que regula el uso del espectro.

La cantidad de frecuencias disponibles es escasa.

Para que las antenas **se vean ópticamente hay** un límite por la curvatura de la Tierra.  
A mayores frecuencias se debe disminuir la distancia por la mayor atenuación.

Intervalo de frecuencias expresados en GHz	Longitud de salto expresados en km
1,5 a 2,5	60
4 a 6	50
7 a 8	45
11 a 13	25 a 35
15 a 20	10 a 20
30	5
40 a 60	2 a 0,5



## 5.11.3 Microondas analógicas

### 5.11.3.1 Aspectos generales

Las microondas analógicas transmitían canales telefónicos y de televisión. Aún existen algunas instalaciones de este tipo.

Ancho de Banda MHz	Banda asignada MHz
8,0	1850 a 1990
0,8	2130 a 2150
0,8	2180 a 2200
10,0	6575 a 6875
20,0	12200 a 12700



### *5.11.3.2 Estaciones repetidoras*

- Repetidoras pasivas: dos antenas parabólicas conectadas entre si por un trozo de guía de onda.

No se amplifica la señal recibida, no necesita alimentación.

Repetidoras pasivas planas: son de mayor rendimiento y están constituidas por una lámina de aluminio de aproximadamente 1,20 m x 1,80 m.

- Repetidoras activas: están constituidas por dos antenas (receptora y transmisora) y además, circuitos electrónicos que amplifican la señal recibida antes de retransmitirla a la estación siguiente.



## 5.11.4 Microondas digitales

### 5.11.4.1 Aspectos generales

Se utilizan métodos de modulación para **señales multinivel**.

En la actualidad todos los sistemas de microondas nuevos son digitales.

### 5.11.4.2 Métodos de modulación para señales digitales

Los métodos de modulación para señales digitales son los siguientes:

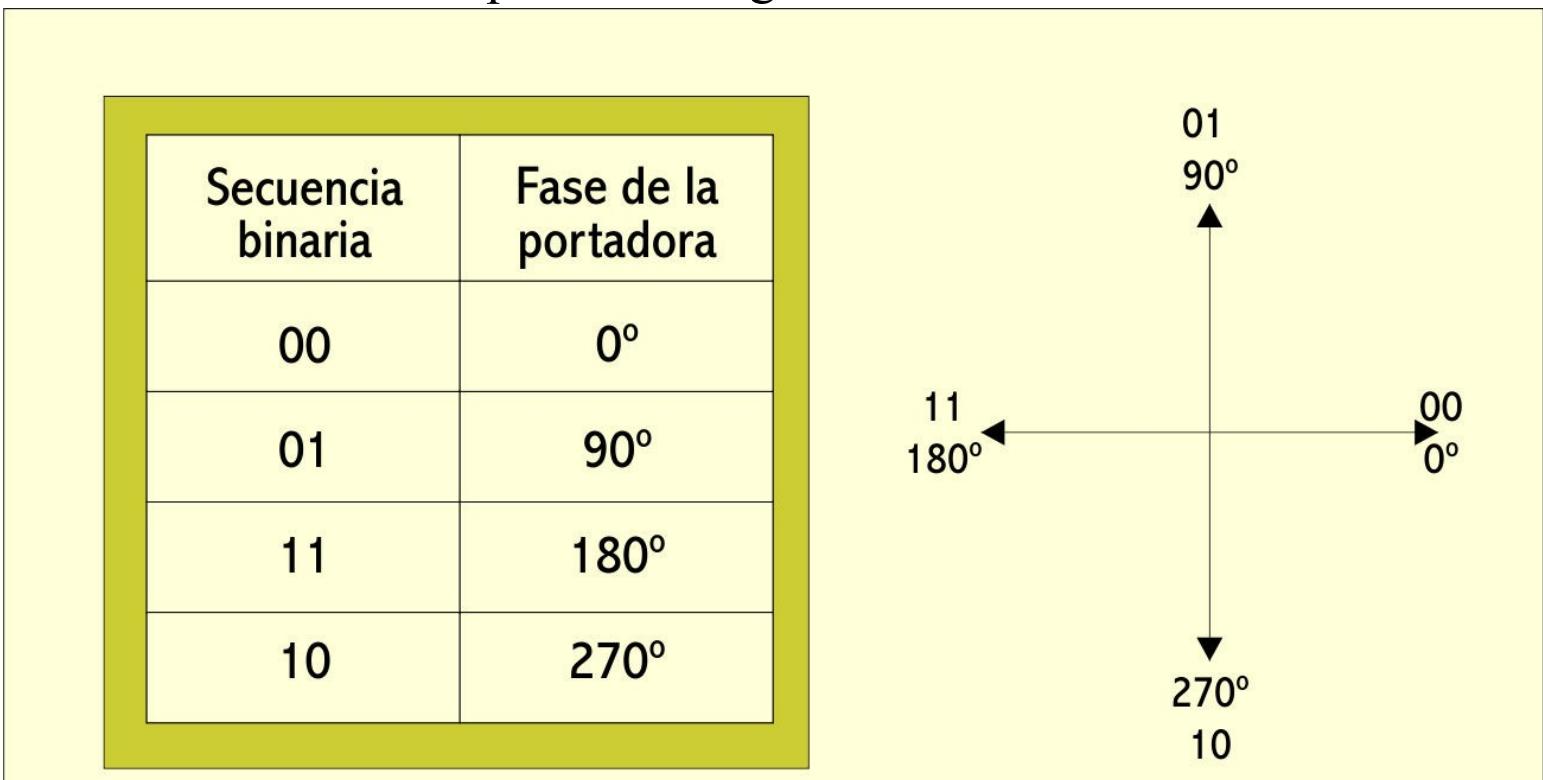
- **2 PSK, 4 PSK y 8 PSK**
- **16 QAM, 64 QAM, 128 QAM, 256 QAM y 512 QAM.**



### 5.11.4.3 Los métodos PSK y QAM

PSK (*Phase Shift Keying*) es modulación por desplazamiento de fase.

Hay variación de la fase de la portadora según se transmita un uno o un cero.





#### 5.11.4.4 Relación entre el método de modulación y el ancho de banda

Sistema de modulación	Ancho de banda necesario (MHz)			
	34 Mbps	68 Mbps	100 Mbps	140 Mbps
	34 Mbps x2	34 Mbps x3	34 Mbps x 4	
2 PSK	34,4	68,8	103,2	139,3
4 PSK	17,2	34,4	51,6	69,7
8 PSK	11,5	22,9	34,4	46,4
16 QAM	8,6	17,2	25,8	34,8
64 QAM	5,7	11,5	17,2	23,2



Método de modulación	Número de bits por baudio	Ancho de banda necesario
2 PSK	1	140 MHz
4 PSK	2	70 MHz
8 PSK	3	47 MHz
16 QAM	4	35 MHz
32 QAM	5	28 MHz
64 QAM	6	23 MHz
128 QAM	7	20 MHz
256 QAM	8	14 MHz
512 QAM	9	10 MHz



#### *5.11.4.5 Características de las microondas digitales*

Permiten la regeneración de los pulsos.

La regeneración posibilita mayor tolerancia al ruido y a las interferencias.

No se propagan las sucesivas adiciones de ruido y/o distorsión.



### 5.11.5 Características de las antenas de microondas

**Omnidireccionales:** irradian energía en todos los sentidos con igual intensidad  
Se emplean en estaciones centrales que deben transmitir en distintas direcciones.

**Direccionales:** la energía es concentrada en un delgado haz.  
Permiten transmitir con muy baja potencia.



Las antenas parabólicas proporcionan una **ganancia** y una **directividad** muy alta.

Mayores dimensiones aumentan la ganancia y el costo.

Compuestas por:

- el **alimentador** o **elemento activo**, que recibe la señal del transmisor por la guía de onda
- el **reflector** tiene la forma de un plato con curvatura de segundo grado (**reflector parabólico**).

Las grandes paráolas reflectoras deben instalarse en torres muy resistentes, por su peso y por la mayor carga por la presión del viento.



## 5.11.6 Equipo de reserva

Se instalan equipos de reserva para aumentar la confiabilidad.

Sistemas **1 + 1**: un equipo operando y otro en reserva.

En caso de falla del equipo principal, el secundario o toma la transmisión.

Con el equipo de reserva se facilitan las tareas de mantenimiento.



## 5.12 Guías de onda

### 5.12.1 Definición y uso

Conduce señales de longitudes de onda micrométrica en distancias cortas.

Conecta la antena y los equipos transmisor y receptor.

Las frecuencias del **orden de varios GHz tienen altas pérdidas** en cables de cobre ya que:

-los cables **radian energía**

-la corriente tiende a circular solamente por la superficie (**efecto pelicular**).

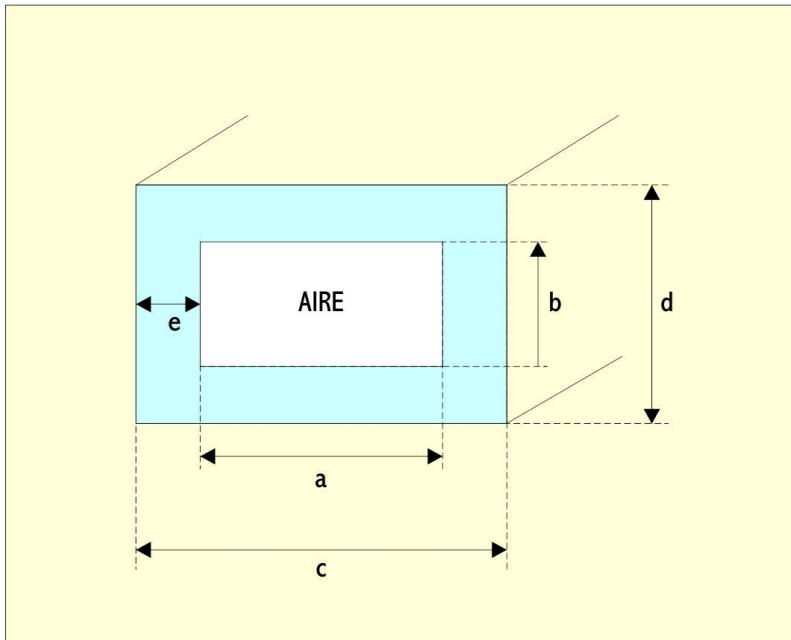


## 5.12.2 Características generales

Son tubos huecos, de una longitud de 5 a 15 m de largo y de secciones tales que permitan la propagación de las ondas electromagnéticas en su interior.

Por su atenuación se debe reducir su longitud.

Las pérdidas aumentan cuando disminuye la longitud de onda.





### 5.12.3 Aspectos técnicos

La transmisión de la energía no es por las paredes de la guía sino por su dieléctrico, normalmente aire tratado.

La energía se propaga por ondas electromagnéticas que se van reflejando en las paredes de la guía siguiendo una forma en **zigzag**.

Las leyes son las de los campos eléctrico y magnético (Leyes de Maxwell y complementarias).



## 5.13 Láser

### 5.13.1 Definición y uso

Hay equipos ópticos e inalámbricos con emisores de un haz de luz coherente que permite transmitir señales.

**FSO:** enlaces ópticos sin cables para enlaces punto a punto dentro de ciudades.

Está limitado por la distancia máxima de propagación del haz de luz (decena de kilómetros).



### 5.13.2 Características generales

El láser permite comunicaciones con **gran ancho de banda**.

Hay limitaciones en la atmósfera por turbulencias, niebla, lluvia, humedad, etc.

En el espacio puede ser un medio de muy alta eficacia.

Se busca modular las señales de los **transmisores láser** mediante medios mecánicos o efectos electroópticos.



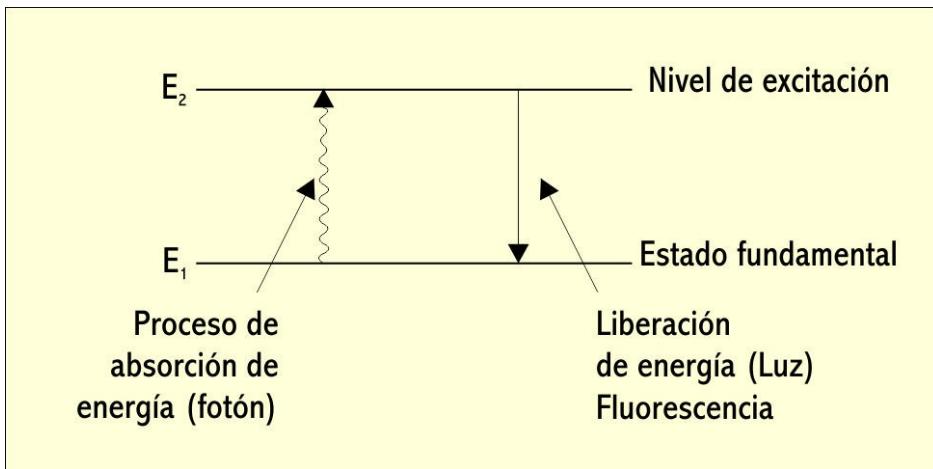
### 5.13.3 Principio de funcionamiento del láser

#### 5.13.3.1 Fluorescencia

Un átomo en reposo tiene una energía  $E_1$ .

Recibe una cantidad de energía  $\Delta E$  por el bombardeo con un **fotón**  
Cambiara a un nivel  $E_2$  (nivel de excitación).

En ese nivel es inestable y regresa al estado inicial  $E_1$ , emitiendo un **quantum** de  
energía de luz (**fluorescencia** que dura pocos milisegundos).





### 5.13.3.2 Emisión estimulada

Si un átomo está en el nivel de excitación  $E2$  y otro fotón lo bombardea, ocurre un proceso denominado **emisión estimulada**.

Hay emisión de un **fotón** sin esperar el retorno al nivel  $E1$  de reposo.

Frecuencia (MHz)	Longitud de onda (cm)	Dimensiones exteriores (cm)	Atenuación (dB/m)
26500 - 40000	0,9	0,71 x 0,355	0,51 - 0,58
8200 - 12400	3,2	2,28 x 1,03	0,10 - 0,15
2600 - 3950	10,0	7,22 x 3,49	0,02 - 0,05
1120 - 1700	25,0	16,50 x 8,25	0,01 - 0,07



#### 5.13.4 Distintos tipos de láser

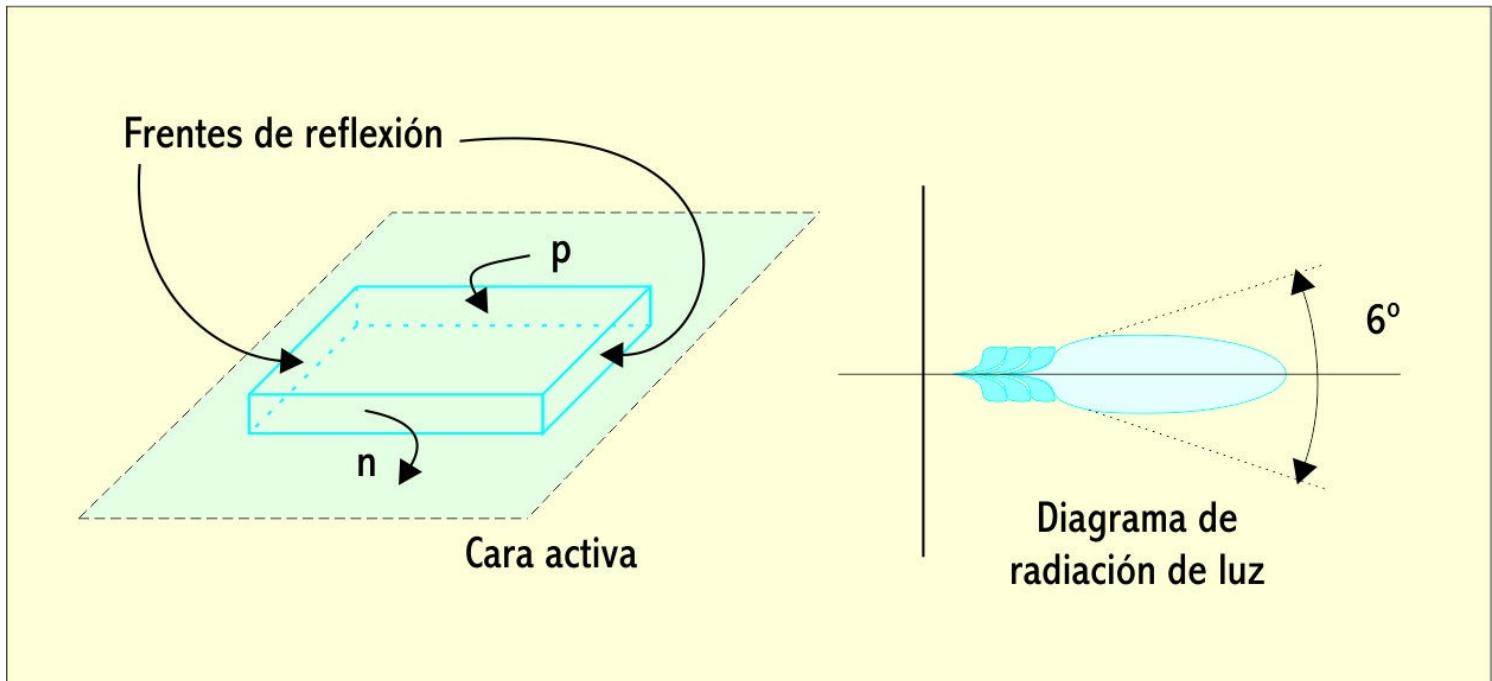
- **Láser gaseoso:** mezclas de **helio** (He/2) y **neón** (Ne/10) en tubos de vidrio y excitados por descargas eléctricas.
- **Láser líquido:** fluidos orgánicos estimulados por luz de alta potencia.
- **Láser sólido:** cristales como el **rubí** excitado por lámparas de **tungsteno** (W/74).
- **Láser semiconductor:** junturas  $p - n$  excitadas por corriente eléctrica.  
Fácil de modular y útil en los sistemas de telecomunicaciones.



### 5.13.5 Evolución futura del láser

Los láser convencionales requieren fuente de alta tensión para **ionizar el gas**

Los láser con semiconductores son de pequeñas dimensiones y no requieren fuente de alta tensión.





## 5.13.6 Equipos de comunicaciones láser

### 5.13.6.1 Características generales

Los enlaces de comunicación por laser (FSO) son fáciles de instalar y el usan frecuencias no reguladas.

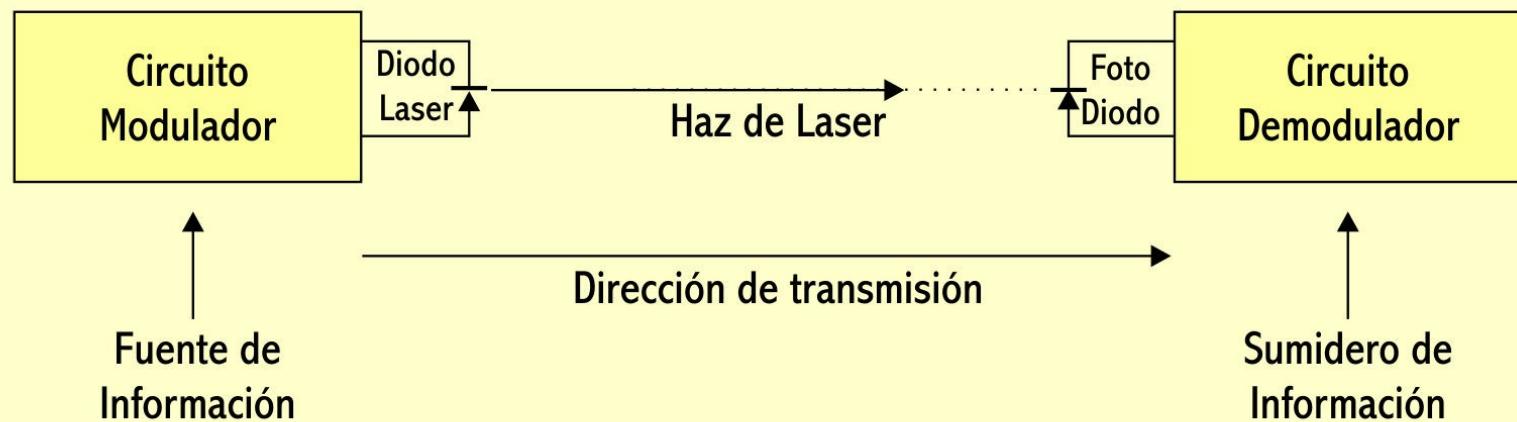
Los equipos de uso comercial alcanzan 5 km, los militares superan los 10 km.

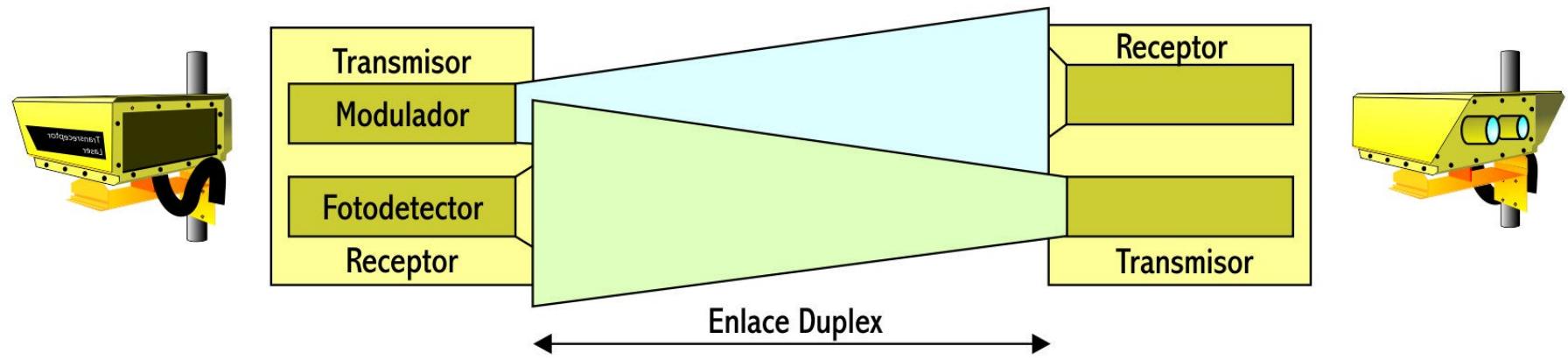
Son inmunes a las interferencias electromagnéticas o radioeléctricas, aunque son afectados por la niebla, lluvia o nieve.



### 5.13.6.2 Estructura de un enlace

El transmisor usa longitudes de onda entre los 780, 850, 980, o 1550 nm  
Llegan hasta 10 micrones.







### 5.13.6.3 Características del equipamiento

La distancia es inversamente proporcional al ancho de banda disponible.

Características	Equipo 1	Equipo 2	Equipo 3	Equipo 4
Rango de alcance	4.000 m	2.000 m	500 m	500 m
Ancho de banda disponible	34 Mbps	155 Mbps	622 Gbps	9,6 Gbps
Potencia consumida	35 W	35 W	45 W	45 W
Longitud de onda del haz	980 nm	980 nm	850 nm	780 nm



## 5.14 Fibras ópticas

### 5.14.1 Definición

Revolucionaron las telecomunicaciones por su mayor ancho de banda.

Hay enlaces digitales a velocidades de varios Tbps.

Este medio es un fino hilo conductor de vidrio, o plástico.

Transportar la luz en la banda de los infrarrojos (no visible).

Permite velocidades muy altas con tasa de errores muy bajas.



## 5.14.2 Uso

- **Redes de Área Extendida - WAN** de alta capacidad.
- Distribución en **Redes Urbanas** usando multiplexación de la **Jerarquía Digital Sincrónica** con **anillos ópticos urbanos** (*Fiber in the Loop - FITL*).
- Redes de **Televisión por Cable** (CATV).
- Areas geográficas con **alta radiación electromagnética**.
- Instalaciones de cableado estructurado (cableado vertical y puestos alejados)
- Si hay probabilidad de condiciones atmosféricas desfavorables.
- En la instalación de cables submarinos.



### 5.14.3 Detalles constructivos de la fibra óptica

Dos capas: núcleo o core y recubrimiento o clad.

Cada una tiene un índice de refracción que mide la relación entre la velocidad de la luz en el vacío respecto de la velocidad de propagación en otro medio.

El índice de refracción de la velocidad de la luz en el vacío es  $n = 1$ .

El núcleo tendrá un índice de refracción  $n1$  y el recubrimiento uno  $n2$ .

La ley de Snell explica porqué la luz no se escapa del núcleo.

El índice de refracción del núcleo debe ser mayor que el del recubrimiento.

Para pérdidas mínimas a través de la cubierta, la relación entre ambos índices debe ser de alrededor del 1%.

Fibras monomodo: núcleo de  $9 \mu\text{m}$  de diámetro y recubrimiento de  $125 \mu\text{m}$ .

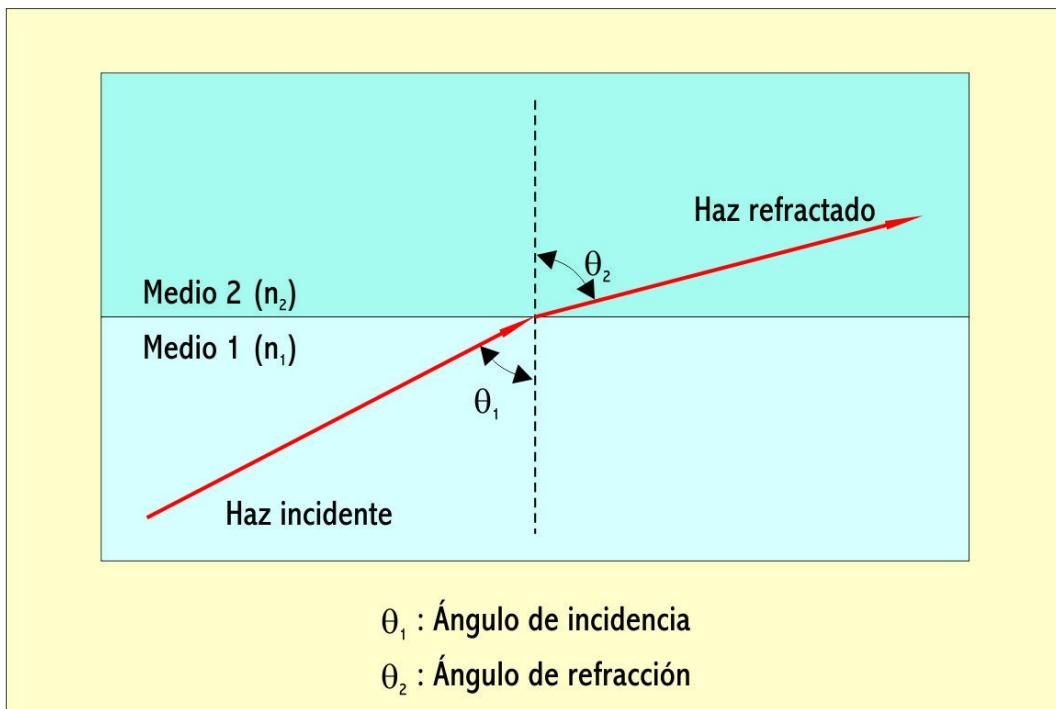
Fibras multimodo: núcleo de  $50$  ó  $62,5 \mu\text{m}$  y recubrimiento de  $125 \mu\text{m}$ .



## 5.14.4 Principios de funcionamiento

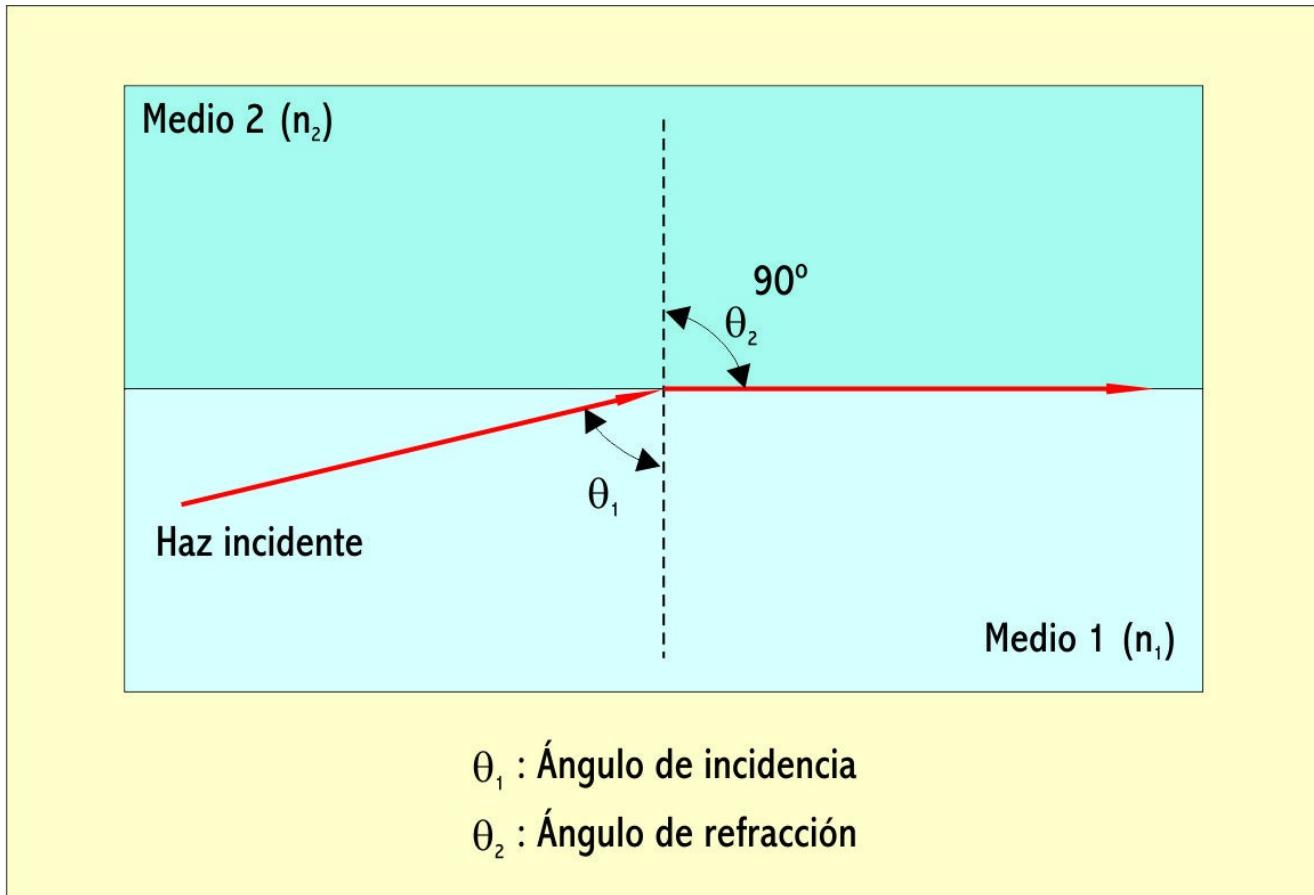
### 5.14.4.1 La propagación de la luz

Ley de Snell:  $n_1 \cdot \operatorname{sen} \theta_1 = n_2 \cdot \operatorname{sen} \theta_2$





## Refracción total:

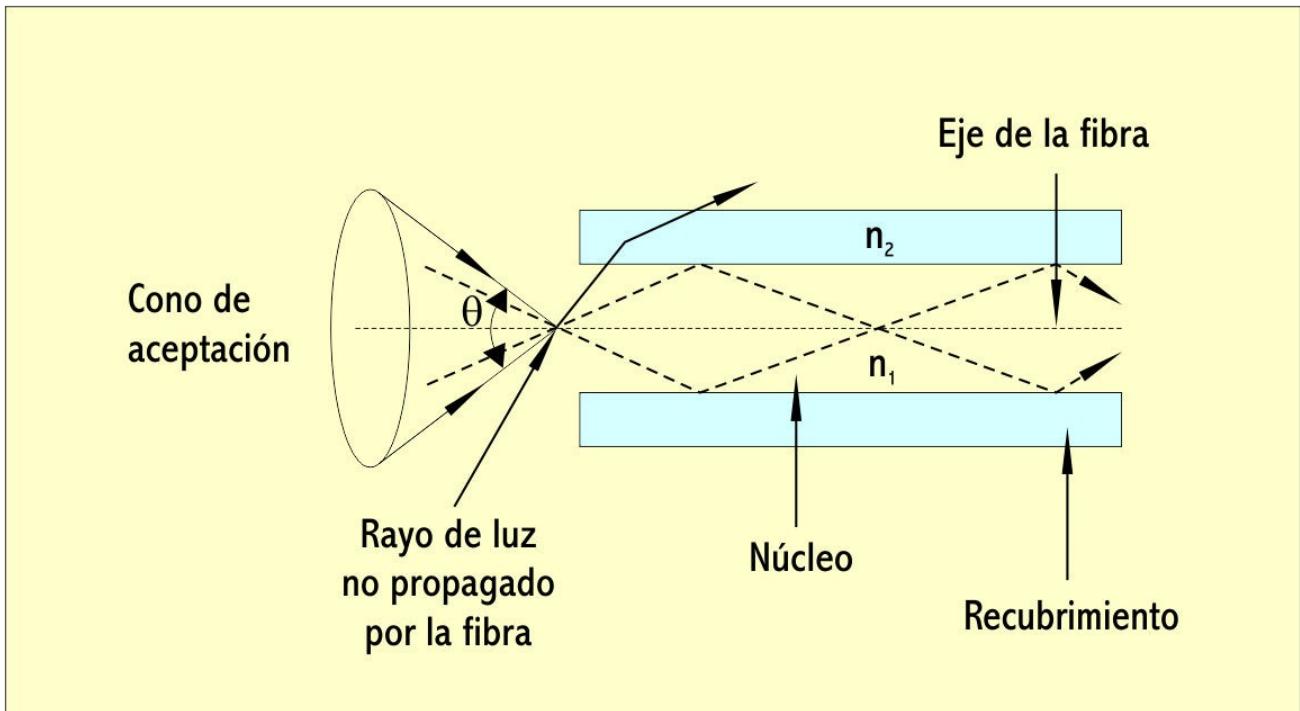




#### 5.14.4.2 Cono de aceptación

El cono de aceptación define un  $\theta$  ángulo de apertura función de los índices de refracción.

Es el formado por la dirección del núcleo de la fibra y una de las generatrices del cono.



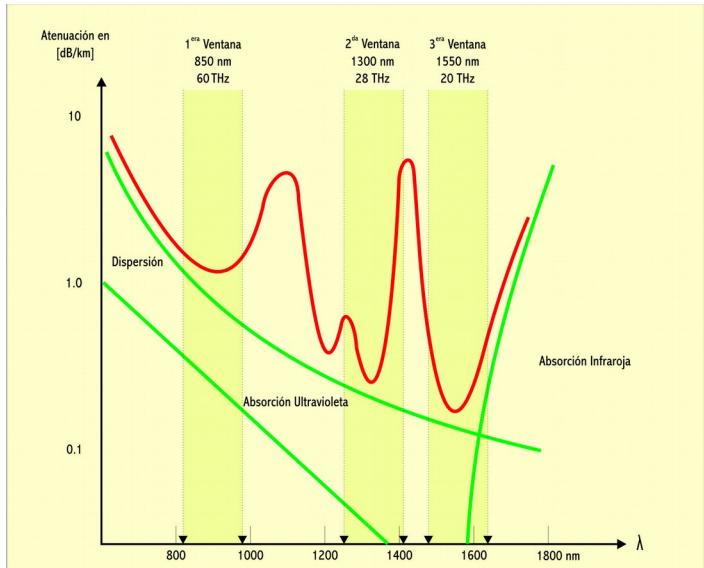


### 5.14.4.3 Atenuación de la luz

Es la pérdida de la potencia óptica del haz de luz que viaja por la fibra.

Se mide en  $dB/km$  y es función de la longitud de onda.

En ciertas longitudes de onda (ventanas) la atenuación de la luz resulta mínima.





#### *5.14.4.4 Ancho de banda de una fibra óptica*

Los límites del ancho de banda de las fibras nunca se expresan en frecuencia (Hz) sino en longitudes de onda (nanómetros).

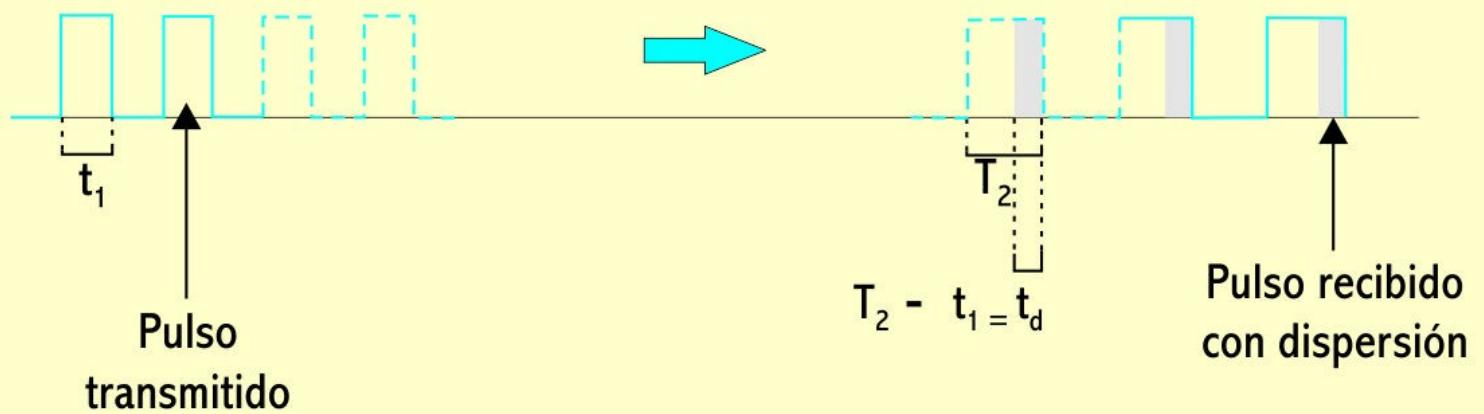
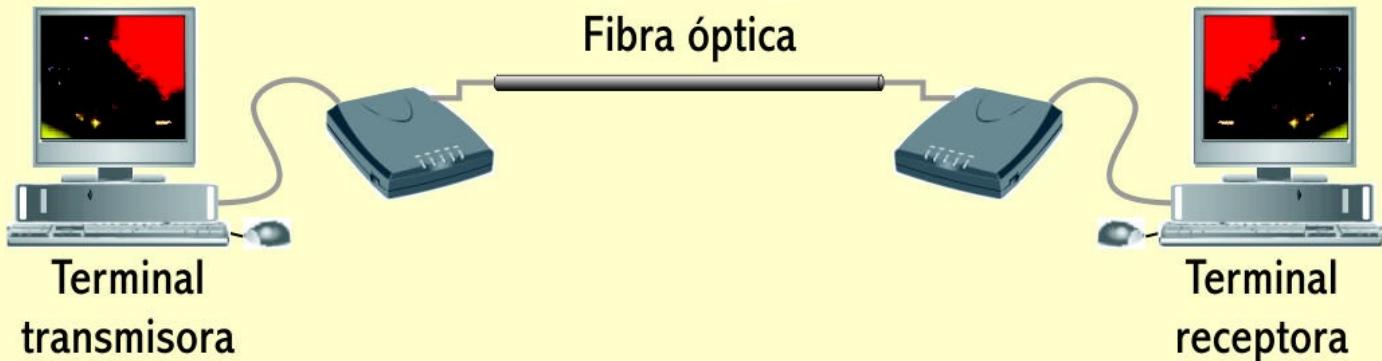
Solamente se pueden usar los anchos de cada una de las tres ventanas.

El ancho de banda disminuye a medida que nos alejamos de la fuente.

Esto se debe a fenómenos de dispersión de la luz (modal y cromática).

La dispersión se incrementa con la distancia.

El ancho de banda se expresa en **GHz por kilómetro**.



$T_d$  = Ensanchamiento del pulso debido a la dispersión



### 5.14.5 Tipos de fibra óptica

- **Monomodo:** como las dimensiones del núcleo son comparables a la longitud de onda de la luz, hay un solo modo de propagación y no hay dispersión.
- **Multimodo:** contiene varios modos de propagación y hay dispersión.

A su vez, se subdividen en:

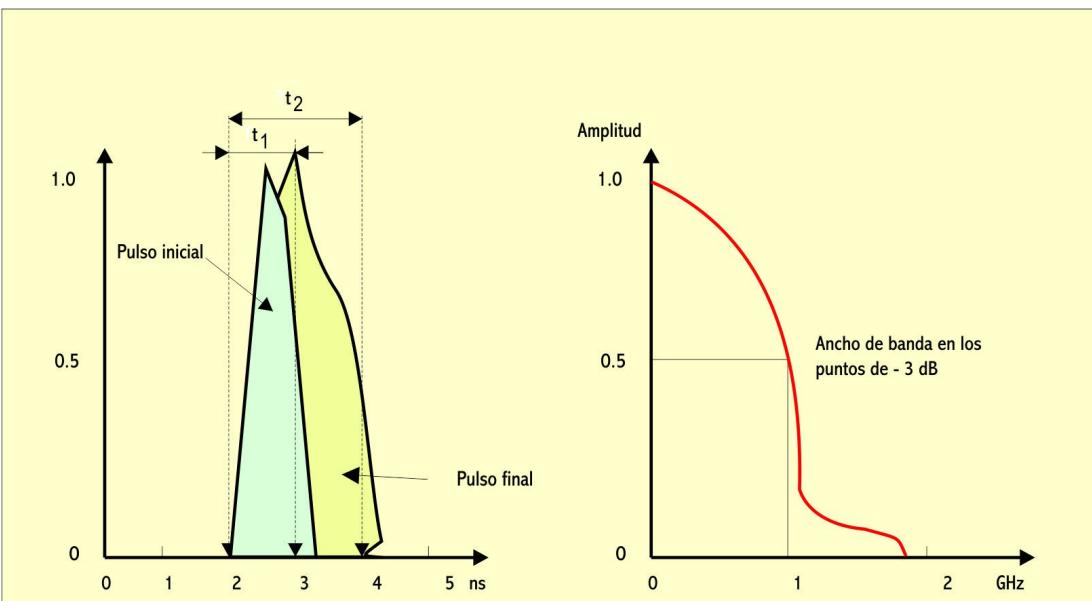
- **Índice Escalón:** con dispersión, reducido ancho de banda, bajo costo
- **Índice Gradual:** más costosas pero de gran ancho de banda.



	Variación del índice de refracción	Estructura de la fibra	Modos de propagación
MULTIMODO índice escalón			
MULTIMODO índice gradual			
MONOMODO			



Dispersión del pulso de luz es el ensanchamiento a medida que se propaga por la fibra. En el extremo final los rayos de luz llegan con tiempos de arribo diferentes. Este proceso limita el ancho de banda de la fibra. Hay relación directa entre ancho de banda, la capacidad de transmisión de información y el perfil del índice de refracción, que dependen del tipo de fibra óptica.





## 5.14.6 Pérdidas en las fibras ópticas

### 5.14.6.1 Aspectos generales

Las pérdidas disminuyen la **potencia de luz**, originan **reducción en el ancho de banda** del sistema y se debe bajar la velocidad de transmisión.

De todos los medios físicos las fibras ópticas presentan las menores perdidas a iguales distancias:

- atenuaciones del orden de **0,2 dB/km** para fibras monomodo



#### *5.14.6.2 Pérdidas por dispersión modal*

Es la de mayor importancia en las fibras multimodo, debido a la diferencia en los tiempos de propagación de los rayos de luz (modos), ya que cada uno toma diferentes caminos.

El pulso se ensancha y hay menor amplitud.

#### *5.14.6.3 Pérdidas por dispersión cromática*

Se produce si el emisor no genera luz monocromática, como el caso del LED.

El índice de refracción depende de la longitud de onda.

Al emitirse diferentes longitudes de onda, viajan a velocidades diferentes.

Hay ensanchamiento del pulso y disminución de su amplitud, pero menor que la dispersión modal.



#### *5.14.6.4 Pérdidas por absorción y radiación*

Depende de la construcción de las fibras ópticas.

Pérdidas por absorción: por las impurezas agregadas al **silicio** para obtener índices de refracción diferentes entre el núcleo y el recubrimiento.

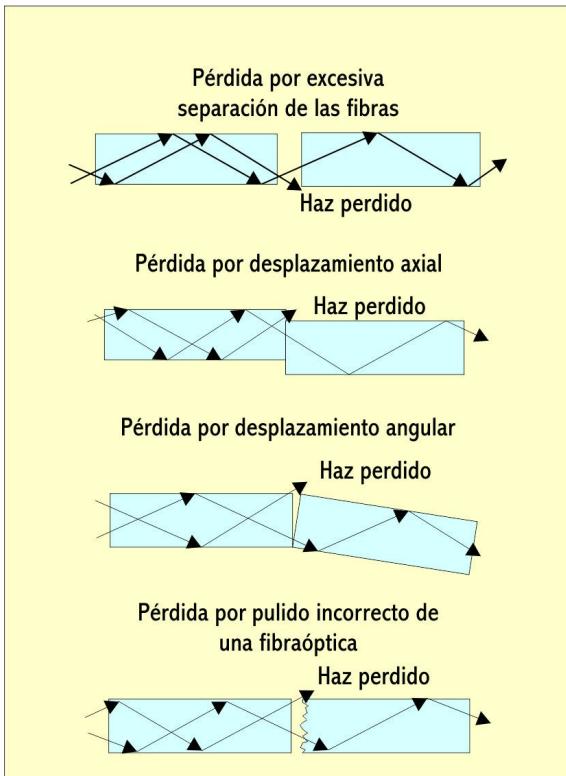
Estas impurezas absorben la luz y la transforman en calor.

Hay imperfecciones como dobleces, discontinuidades, que originan radiaciones indeseadas que disminuyen la potencia.



#### 5.14.6.5 Pérdidas por acoplamiento

Se deben al desacoplamientos entre distintas partes del circuito óptico: transmisor/fibra, fibra/fibra y fibra/receptor.





#### *5.14.6.6 Pérdidas por dispersión de Rayleigh*

En la construcción se trabaja el silicio en un estado **estado plástico** que al solidificarse produce **irregularidades submicroscópicas**.

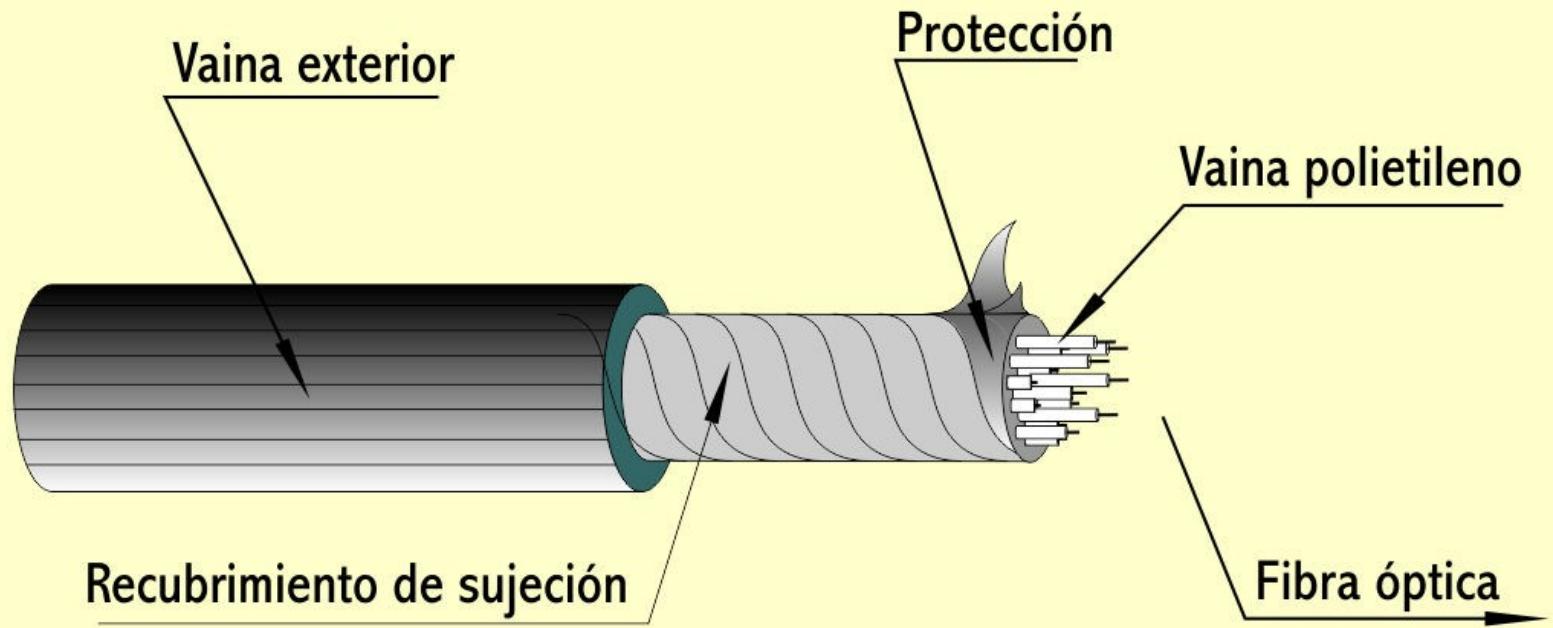
Cuando reciben un rayo de luz producen **difracción** (pérdidas de Rayleigh).



### 5.14.7 Cables ópticos mono y multifibra

Cable óptico con varias fibras una protección que lo recubre y elementos que dan solidez o cables tensores de acero para facilitar su tendido.

Se construyen cables ópticos multifibra para su tendido en edificios por ductos y para instalaciones aéreas, subterráneas o submarinas.





## 5.14.8 Sistema optoelectrónico

### 5.14.8.1 Definición de sistema optoelectrónico

Emisores de luz (LED y laser) transforman una señal eléctrica en fotones que viajan por la fibra.

Fotodetectores que convierten los fotones en electrones.

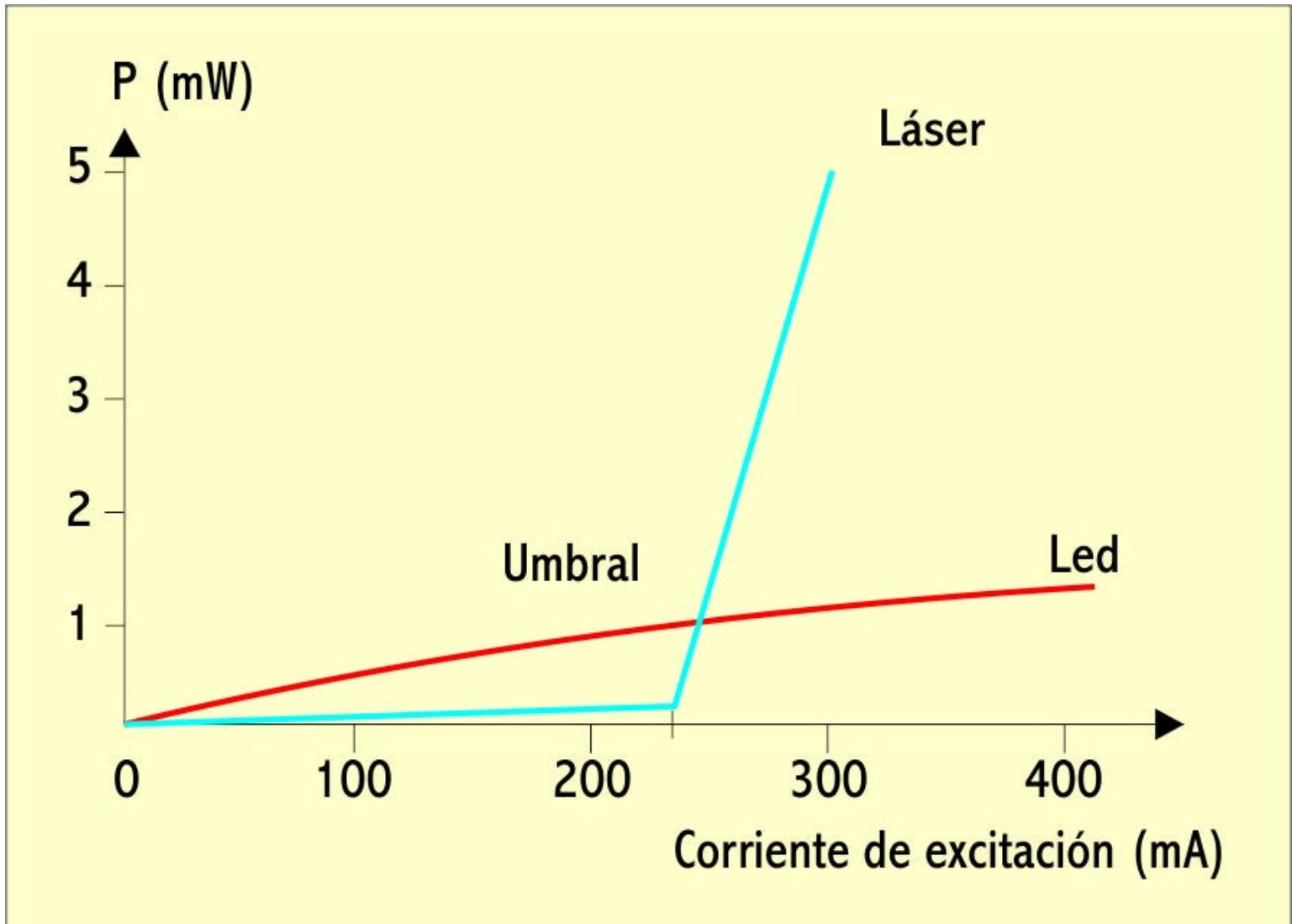
-APD: Foto Detector

-PIN/FET: Foto Detector y Transistor por Efecto de Campo



### 5.14.8.2 Emisores de luz LED y LASER

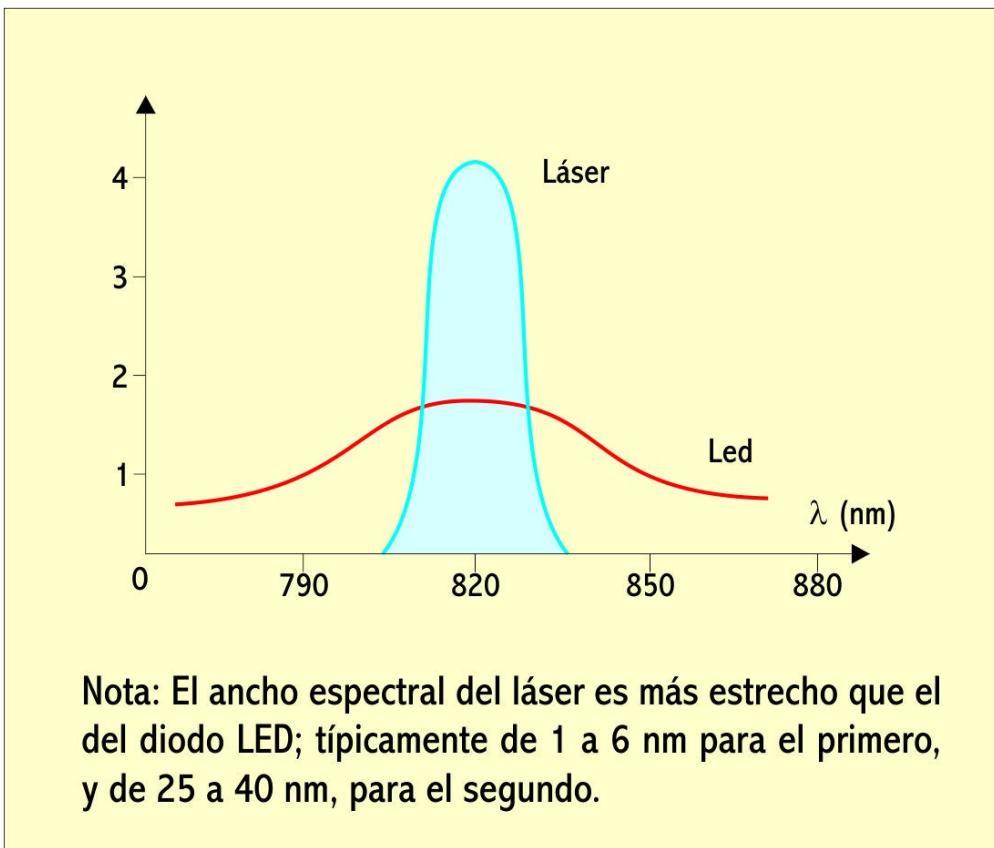
Característica técnica	LED	LASER
Tipo de luz emitida	Incoherente	Coherente
Potencia óptima emitida	Baja (Fig. 5 - 49)	Alta (Fig. 5 - 49)
Potencia frente a longitud de onda. (Ancho espectral)	Grande (Fig. 5 - 50)	Pequeño (Fig. 5 - 50)
Direccionamiento de la luz	Menor	Mayor
Tiempo de crecimiento Tiempo necesario para que la tensión pase de 10% al 90% de ese valor típico	100 ns	1 ns
Confiabilidad	Mayor	Menor
Vida útil	Aprox. $10^5$ h	Aprox. $10^5$ h
Necesidad de circuitos estabilizadores y de enfriamiento	No	SI
Ruido modal (Distorsión de amplitud)	Bajo	Alto
Costo	Bajo	Alto





### 5.14.8.3 Características del transmisor

Se denomina transmisor al emisor de luz **LED** o **LASER** con sus circuitos excitadores.





#### 5.14.8.4 Receptores de luz: APD, PIN, PIN/FET

Semiconductores de estado sólido con juntura **P – N** que genera una corriente eléctrica proporcional al número de fotones que capta.

Los detectores más comunes son:

- Diodo: PIN.
- Fotodiodo de avalancha: APD.
- Fotodetector y transistor por efecto de campo: PIN/FET.
- La eficiencia de un fotodetector APD es mucho mayor que la correspondiente a un PIN.



#### 5.14.8.5 Características técnicas de los fotodetectores APD, PIN Y PIN/FET

En los sistemas ópticos, se utilizan los siguientes conceptos:

- Eficiencia cuántica: número de electrones generados por efecto cuántico al incidir un cierto número de fotones en un detector.
- Corriente de pérdida: la que circula por la juntura sin la presencia de luz.
- Potencia de ruido equivalente (PRE): mínima señal que es posible detectar.
- Ruido cuántico: debido a la conversión fotón/electrón, depende de la potencia óptica incidente.
- Tiempo de crecimiento (*rise time*): lo que tarda la señal desde el 10% hasta el 90% del valor final (tiempo de respuesta).



#### *5.14.8.6 Características del receptor*

Elemento fotodetector con una o mas etapas amplificadoras.

Rango del nivel de entrada limitado por el fotodetector.

- potencia mínima (la menor señal detectable)
- potencia máxima (satura el receptor).

La mínima señal detectable es un dato para calcular la longitud máxima de la fibra óptica sin emplear repetidores.



#### *5.14.8.7 Elementos accesorios en una instalación optoelectrónica*

A parte del transmisor, del receptor y la de fibra óptica necesitaran los siguientes elementos accesorios:

- Repetidores.
- Empalmes.
- Conectores.
- Acopladores.

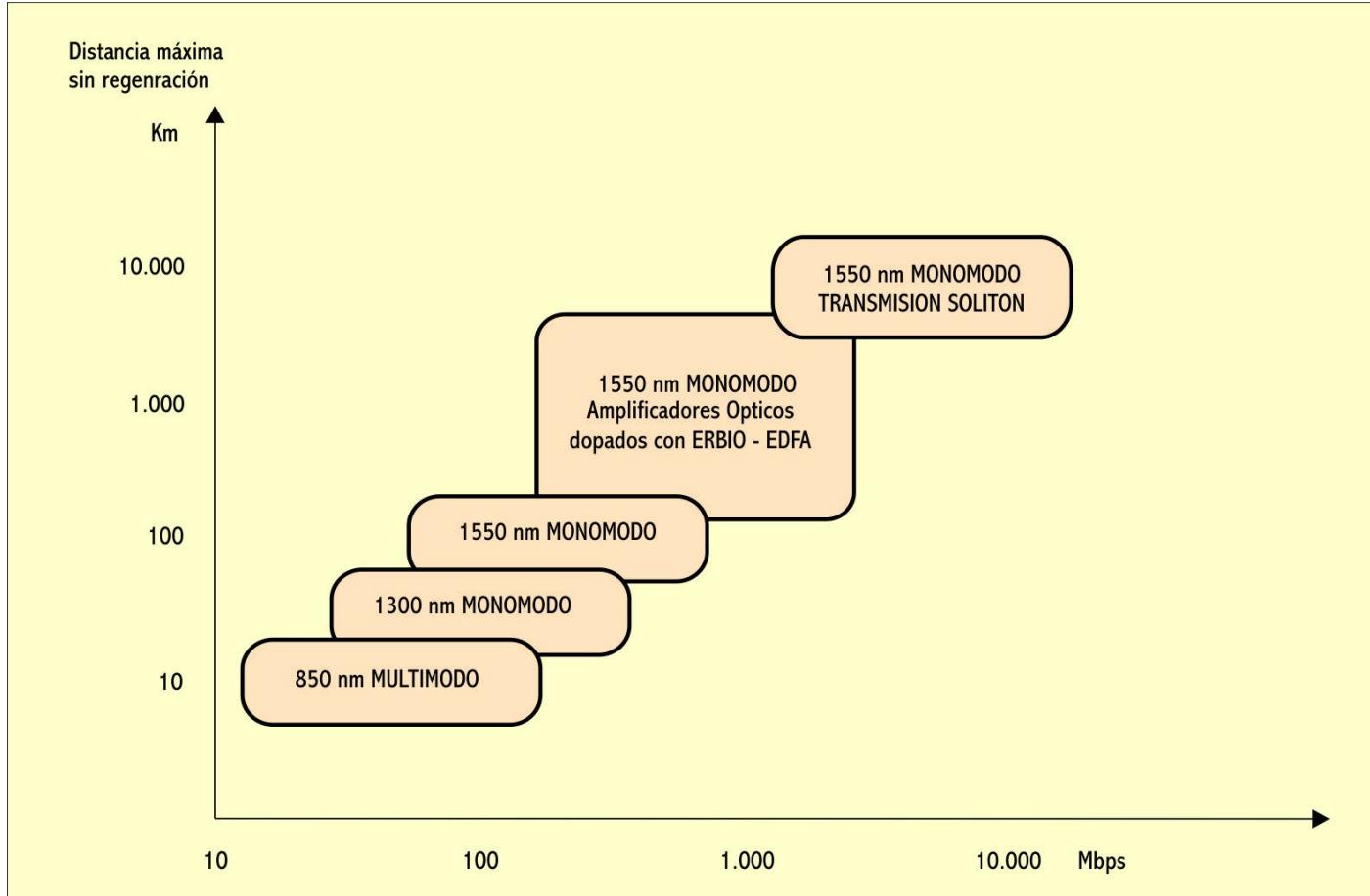


#### 5.14.8.8 Repetidores

- **Repetidor analógico:** detecta, amplifica y retransmite la señal.  
El ruido generado por sus componentes degrada la señal.  
Hay límite al número y ubicación de los repetidores.
- **Repetidor digital:** regeneran la señal digital original.  
No hay limitación al número de repetidores.



### 5.14.8.8 Repetidores





#### 5.14.8.9 Empalmes

Conexiones permanentes entre fibras ópticas.

Los núcleos deben estar alineados con el emisor y el receptor.

Dos tipos de técnicas para el empalme:

- **Por fusión:** une y calienta hasta que se fusionan  
Pérdidas de  $0,2 \text{ dB}$ .
- **Mecánico:** une fibras con extremos cortados y limpios pasando  
luz de una fibra a otra.  
Pérdidas de  $0,5 \text{ dB}$ .



#### 5.14.8.10 Conectores

Interconexiones desconectables.

Las superficies de las fibras deben ser planas y estar enfrentadas entre si en forma paralela.

**Conectores a tope:** con extremos cortados y limpios la pérdida es 0,5 dB.

**Lentes colimadores:** si se raya la superficie de la lente no es tan critico como que una ralladura en la superficie de la fibra.

Pérdidas de 1 dB.

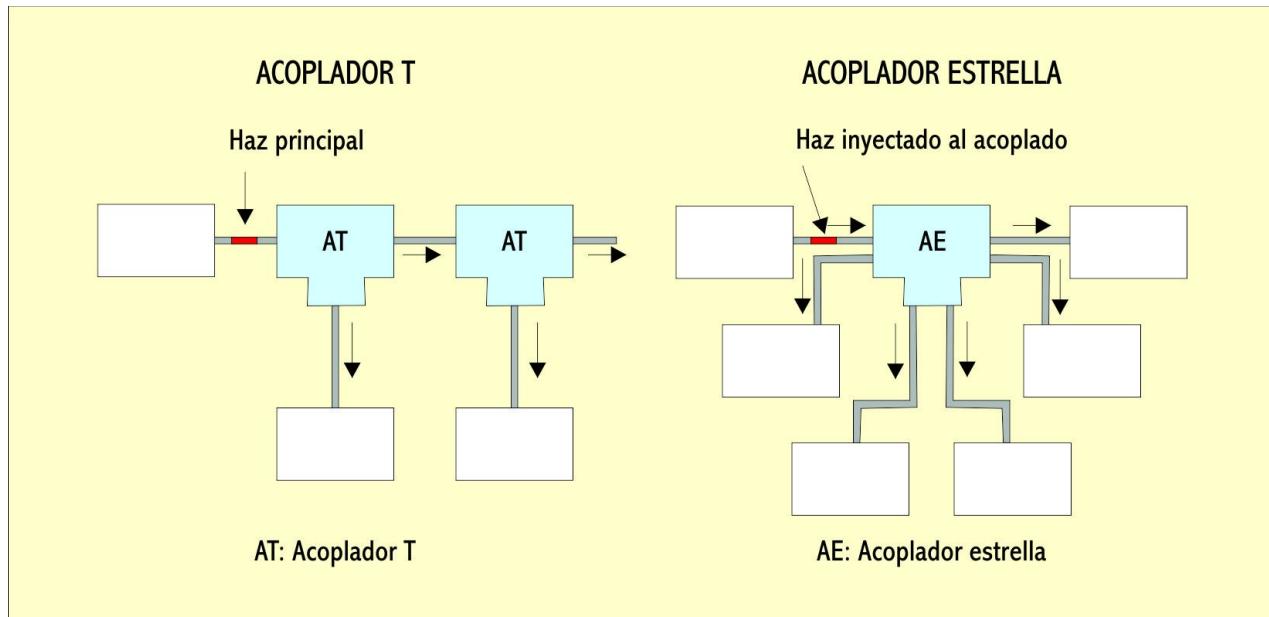


### 5.14.8.11 Acopladores

Distribuyen la luz que circula por una fibra entre varias otras.

Dos tipos de acopladores:

- Acoplador T: extrae un haz de luz del haz principal.
- Acoplador Estrella: la luz inyectada por una fibra sale por todas las otras.





## 5.14.9 Aplicaciones especiales en las redes de datos

### 5.14.9.1 Aspectos generales

Las formas mas usadas son:

- Fibra oscura.
- Enlaces WDM/DWDM/CWDM.

### 5.14.9.2 Fibra oscura

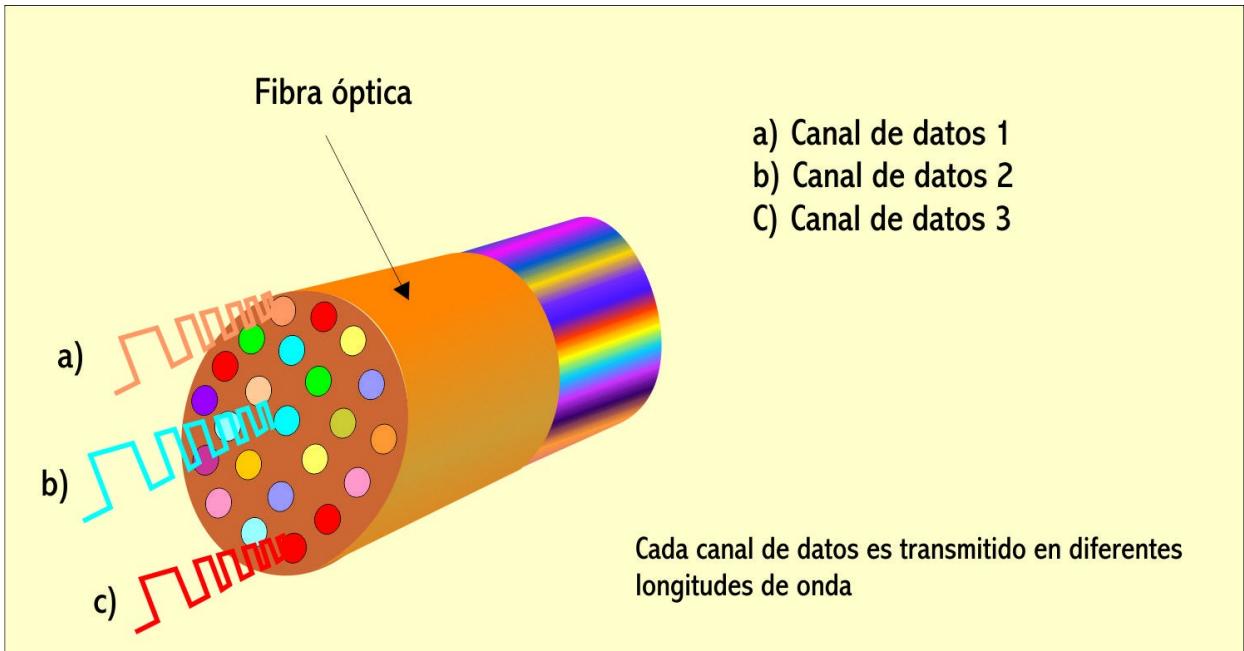
No están siendo iluminadas.



### 5.14.9.3 Fibras con tecnología WDM, DWDM y CWDM

Multiplexación por longitud de onda: transmite múltiples señales en diferentes longitudes de onda a través de una sola fibra.

Cada señal se modula en un **único color** dentro del espectro.





#### *5.14.9.4 Características de estas tecnologías*

Ventajas:

- Permiten incrementar la capacidad de las fibras ópticas existentes.
- Disminuyen el número de fibras ópticas necesarias.
- Posibilitan el crecimiento gradual de la capacidad del enlace a medida que se requiera.



## 5.15 Cables submarinos de fibra óptica

### 5.15.1 Definición y estructura

Tendido por el fondo de un lecho marino conectan puntos en la costa con grandes anchos de banda.

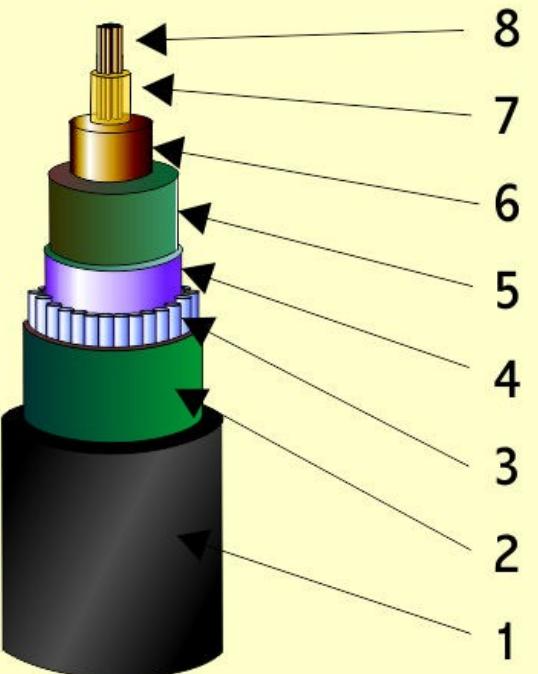
#### Construcción:

- núcleo con muchas fibras con tecnología DWDM.
- capa de polietileno (aislante para prevenir la penetración de agua o hidrógeno ).
- tubo de cobre (lleva corriente eléctrica a los repetidores o monitorea el sistema)
- capa de alambres de acero (armazón para resistencia mecánica)
- capa de polietileno impermeabilizante.



### 5.15.1 Definición y estructura

1. Polietileno
2. Cinta de Mylar
3. Alambres de acero trenzado
4. Barrera de aluminio resistente al agua
5. Policarbonato
6. Tubo de cobre o aluminio
7. Petrolate
8. Fibras ópticas





## 5.15.2 Tipos de cables submarinos y accesorios

Según la profundidad en la cual opere el cable, existen dos tipos:

- Cable armado: (de 0 hasta 1500 m) con altos niveles de protección.
- Cable ligero (0 a 7000 m) menos protegido.



### 5.15.3 Elementos accesorios del cables

#### 5.15.3.1 Repetidores

Amplificación de la señal óptica

Son elementos activos que necesitan alimentación.

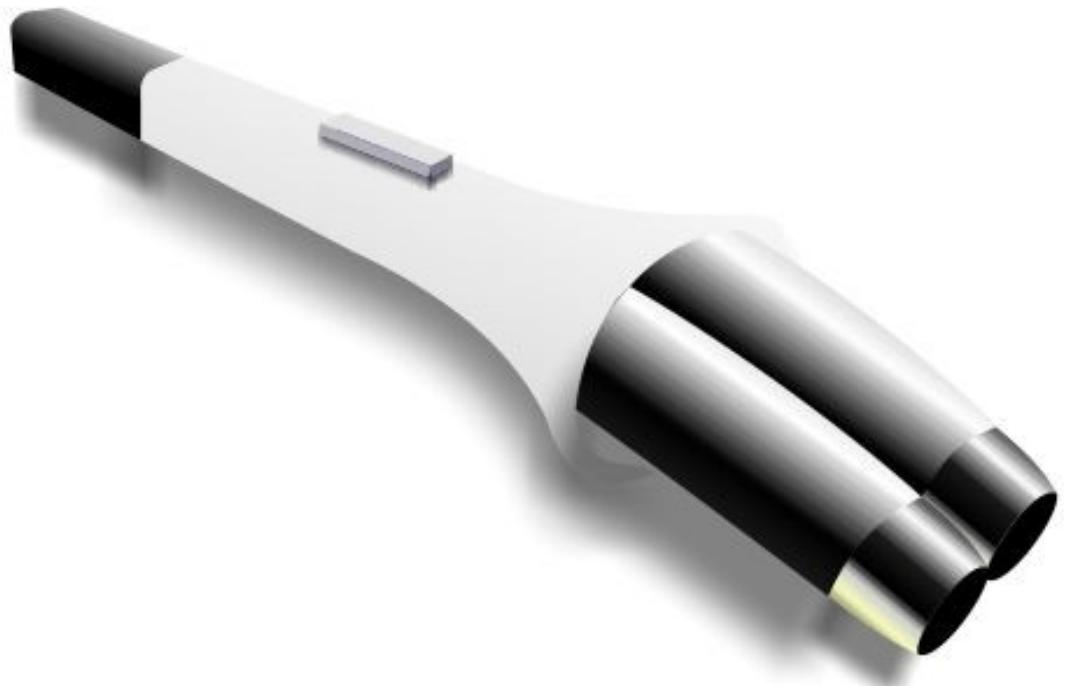
Se provee por el tubo de cobre del cable y el circuito se cierra usando la tierra oceánica.





### 5.15.3.2 *Derivados de ramales*

Derivar cable de fibra óptica hacia los ramales.





### *5.15.3.3 Cajas de empalme*

Une diferentes cables de fibra (cables con diferentes protecciones), incluyendo el conductor de corriente y la protección.



## 5.15.4 Proceso de instalación del cable submarino

El tendido y el mantenimiento son complejos y tienen alto costo (hay corrientes submarinas, terremotos, anclas y las redes de arrastre).

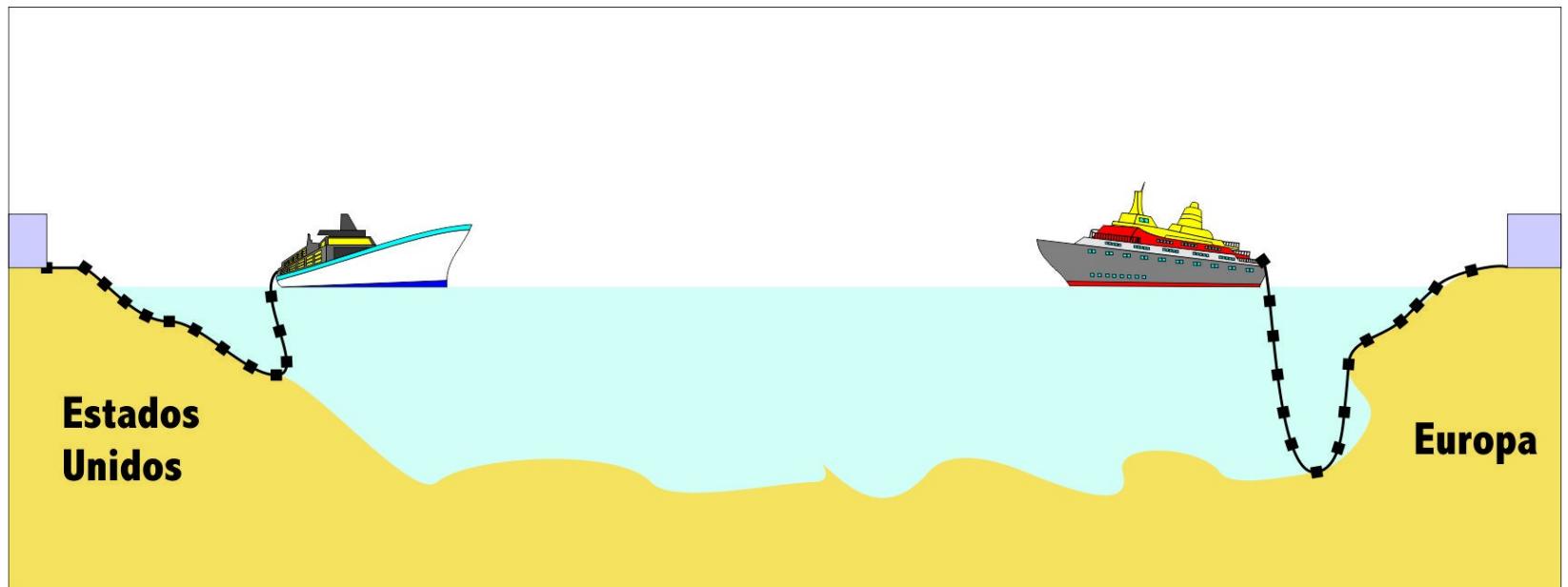
El cable y los repetidores son elementos muy caros y el tendido lo realizan barcos especiales en una operación controlada por computadores.





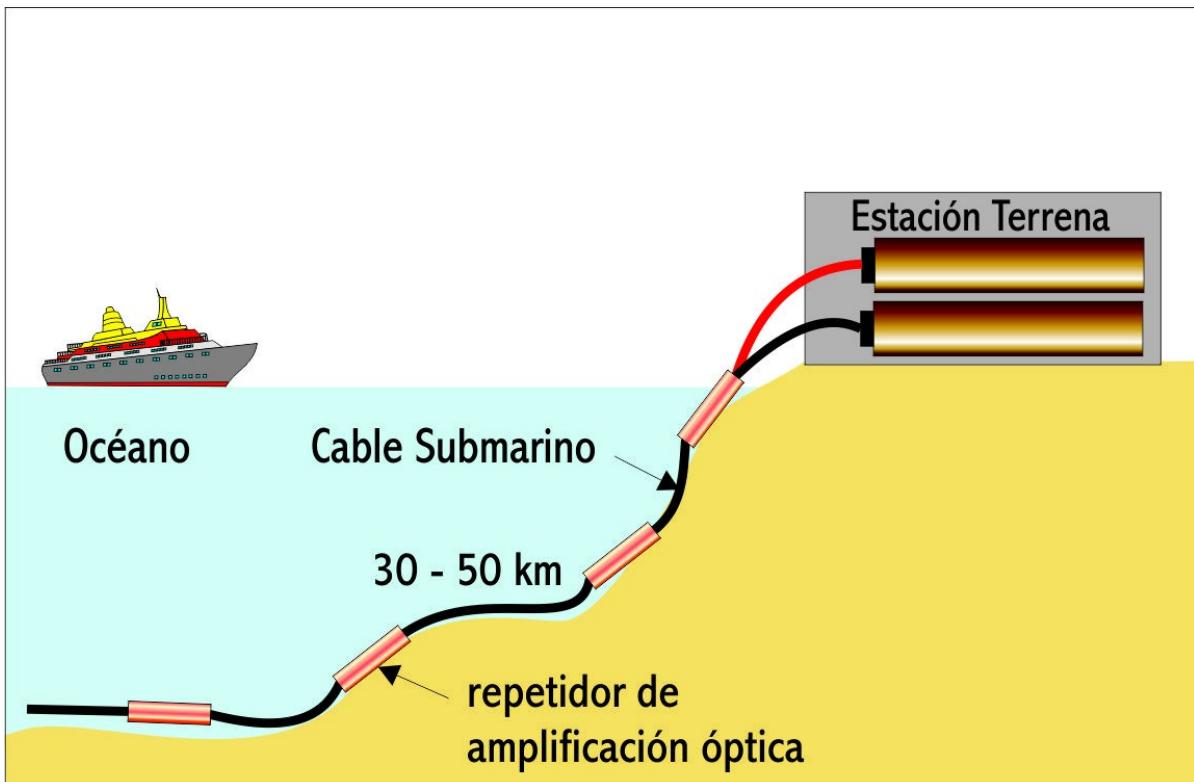
El barco tiene una estación terminal que controla las operaciones y tiene el equipo alimentador.

El cable se amarra tierra en el lugar donde se va a conectar y luego se sigue la ruta calculada por posicionamiento satelital y cálculos geofísicos.





La instalación comprende los cables, los empalmes, los amplificadores, los moduladores y multiplexores ópticos, cada 40 o 60 km.





## 5.15.5 Futuro del cable submarino

Su futuro es brillante.

Hay unos 70 sistemas de cableado submarino de fibra óptica instalados en todos los océanos.

La longitud es mayor a los 450.000 km en cuatro regiones:

- a) Océano Pacífico–Asia
- b) Océano Atlántico
- c) Europa–Asia
- d) Sudamérica.

