



Capítulo 5:

Medios de comunicaciones

Apoyo en la





En este capítulo se tratarán los siguientes 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 (ET) debe tener las características adecuadas que permitan transmitir la información que se desea. Esta podría ser, por ejemplo: voz, datos, textos, imágenes fijas o móviles, alarmas, etc. Por lo tanto, como se puede deducir, hay una cantidad de diferentes tipos de terminales según el servicio al que están aplicadas.

Todo sistema de comunicaciones debe tener, además de un equipo terminal en cada extremo, equipos transmisores y receptores conectados a los equipos terminales por un lado y, por el otro, al medio físico de comunicaciones utilizado. En muchos casos las funciones de transmisión y recepción están incorporadas al mismo equipo terminal, como es el caso más simple de un teléfono.



5.2 Cables de cobre

5.2.1 Definición y distintos tipos

Los cables de cobre han sido y aun hoy son el medio de comunicaciones más usado, en particular en los últimos tramos de las redes de comunicaciones, por su uso en las redes de banda ancha con la **tecnología xDSL**.

Dentro de los cables de cobre usados en los sistemas de comunicaciones como **medios de transmisión**, se pueden encontrar las siguientes variantes, a saber:

- 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 distintos conductores que utilizan el cobre para la transmisión de las señales de comunicaciones presentan formas constructivas diversas, y son particularmente aptos para diversas aplicaciones. Sin embargo, los aspectos técnicos de cada uno de los tipos señalados están dados por características similares, a saber:

- Conductividad del material directamente relacionada con su atenuación por kilómetro.
- 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 esta referida al valor de la capacidad que presentan cada uno de ellos respecto del otro (medida en Faradio o en sus submúltiplo).
- 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, tales como: vientos muy fuertes, nevadas, rayos, alta humedad o lluvias intensas. En algunos casos aumentan la atenuación de estas líneas y en otros pueden provocar su deterioro o su destrucción.
- Propensas a acciones de vandalismo, como por ejemplo: robo de los conductores, destrucción de los postes y aisladores, etc. En algunas zonas rurales, el robo de estos conductores es muy frecuente por la facilidad con la que es posible comercializar el cobre electrolítico del que están construidos. Por eso, en algunos casos, se utiliza el hierro galvanizado.
- Posibilidad de capturar ruido exógeno, o generación de diafonía por defectos constructivos.



5.3.2 Detalles constructores y operativos

Las líneas de cable desnudo, o también conocidas como **líneas abiertas a dos hilos**, están construidas en espacios abiertos, sobre postes rectos, muchas veces de **palmeras creosotadas**, por dos alambres aislados entre si y sujetados por aisladores cerámicos fijados a travesaños horizontales, a distancias del orden de los *0,5 m*. Estos postes, en general, son previamente tratados con creosota para otorgarles una mayor duración y hacerlos mas resistentes a las inclemencias climáticas.

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



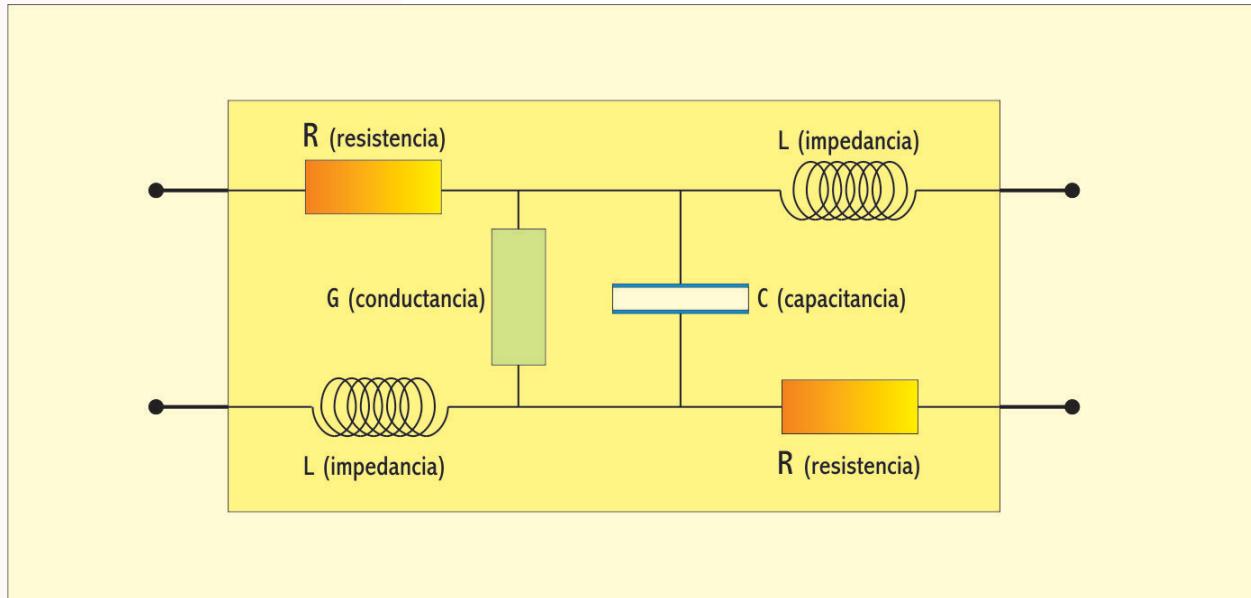
5.4 Cables de par trenzados

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 principal factor que limita su uso es el **efecto pelicular**, cuyo efecto se hace mas evidente cuanto mayor es la velocidad binaria de la señal transmitida.
- El alto valor de **capacitancia mutua** entre sus conductores produce un efecto muy similar al anteriormente descripto.



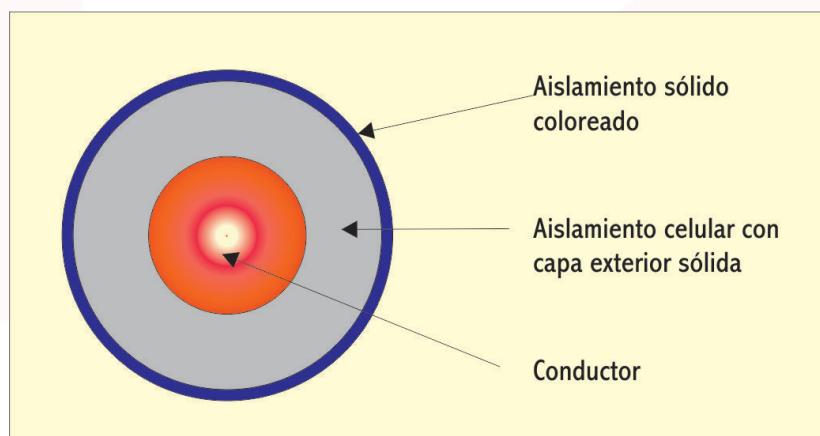
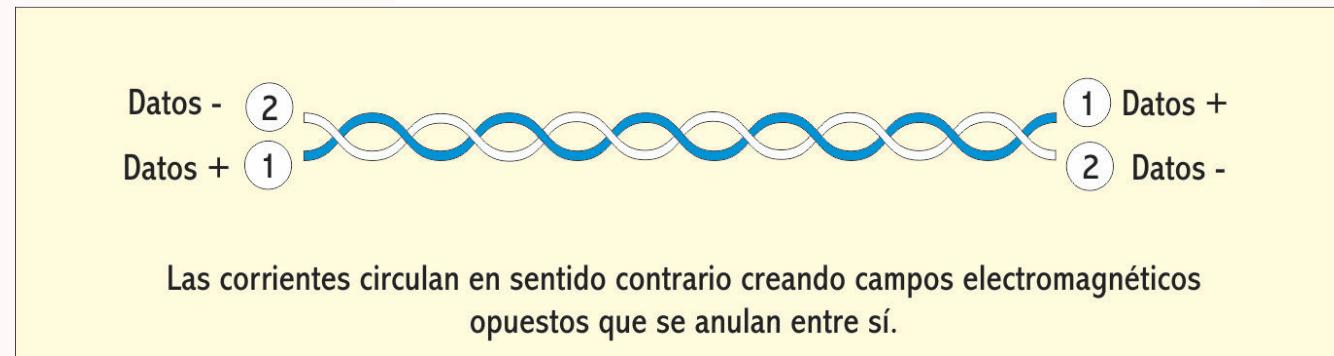
5.4.2 Características eléctricas





5.4.3 Detalles constructivos y operativos

5.4.3.1 Estructura general

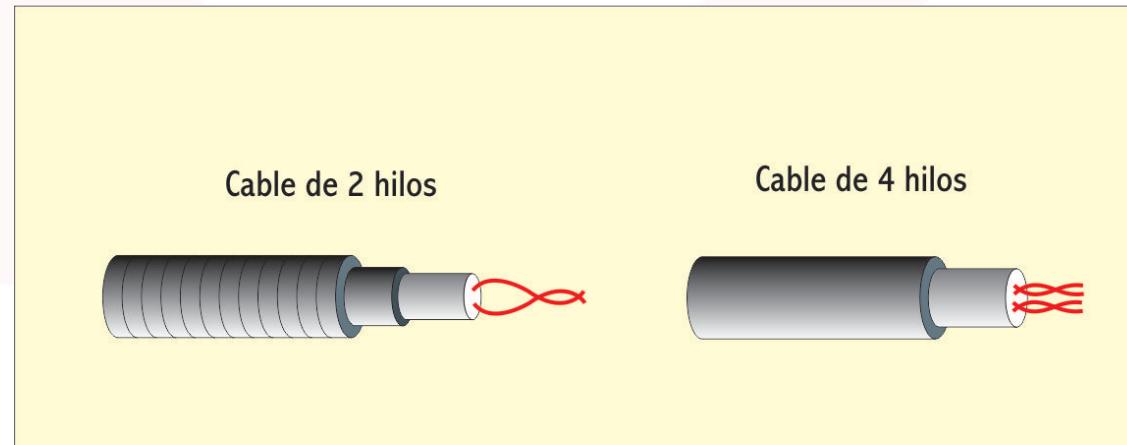




5.4.3.1 Estructura general

Los pares trenzados se construyen blindados para evitar interferencia externa; es decir, están recubiertos por una capa metálica entre las aislaciones. Esto aumenta su rendimiento aunque también su costo, pero permite la transmisión digital de datos a grandes velocidades y a una distancia de unos centenares de metros sin necesidad de usar amplificadores (señales analógicas) o repetidores regenerativos (señales digitales).

Estos cables están normalizados por la **American Wire Gauge - AWG**, en valores enteros denominados calibres. Estos, a su vez, tienen su correlación en **mm** o en **pulgadas**.



5.4.3.2 Empleo y características de los conductores

Se aplica especialmente en las redes internas con las centrales telefónicas privadas y para el circuito terminal de llegada a los usuarios.

En las redes telefónicas publicas, se denominan **pares de abonado**, o también **bucle de abonado**. Los valores empleados normalmente para estas funciones son los correspondientes a los calibres 22 y 24, especialmente este ultimo.

Pueden transmitir señales analógicas como digitales. En el primer caso, se necesitara el empleo de amplificadores cada 10 o 20 km, dependiendo del estado de la línea y sus parámetros físicos. En el segundo caso, se requerirán repetidores regenerativos, cada 2 a 4 km, dependiendo de la velocidad de transmisión binaria que se haya elegido para dicho canal.

Los conductores son, en general, de alambre de cobre electrolítico recocido y de sección circular. Tienen una resistencia máxima normalizada de $0,017241 \text{ Ohm} \times \text{mm}^2/\text{m}$, a 20° C de temperatura.



5.5 Cables multipares

5.5.1 Definición y uso

Se entiende por cables de cobre multipares a soportes físicos compuestos por un numero variable de pares trenzados, que permiten propagar señales inteligentes y que se utilizan preferentemente para la transmisión de frecuencias vocales y, complementariamente, para servicios de transmisión de datos, con o sin acceso a la Red Internet.

5.5.2 Distintos tipos

Los cables de cobre multipares se construyen básicamente para ser instalados en forma subterránea, aérea o utilizando ductos especiales para tal fin.

Si bien las finalidades de uso que cumplen son idénticas, los detalles constructivos de uno y otro tipo de cables son diferentes, lo que justifica su estudio en forma separada.



5.5.3 Cables multipares subterráneos o para instalación en ductos

5.5.3.1 Definición y uso

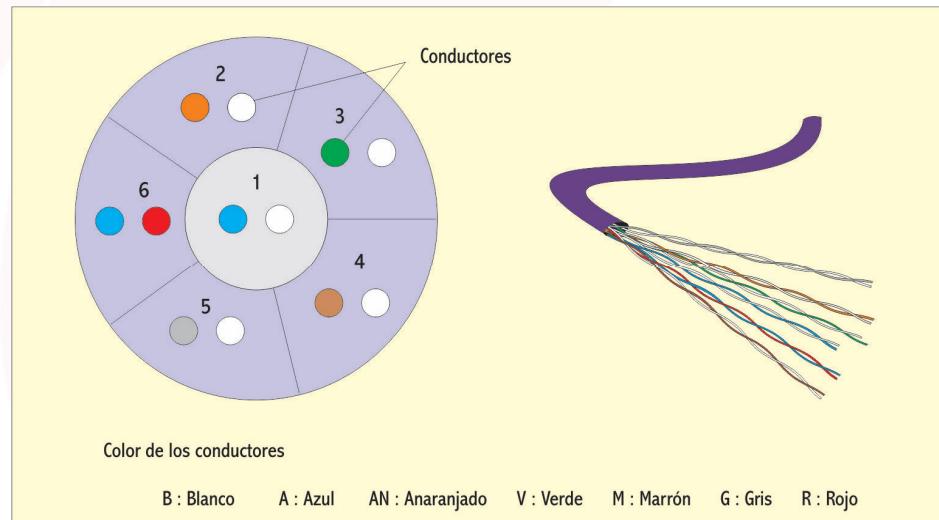
Se entiende por cables multipares subterráneos o para instalación en ductos a los cables de cobre multipares que están especialmente diseñados y construidos para ser instalados en forma subterránea, contando con todos los elementos aislantes que permitan su normal funcionamiento o utilizando ductos que los protejan de su deterioro o destrucción.

Estos contienen desde 6 pares hasta un número variable del orden de los miles de pares y que dependen de las normas de construcción que se utilicen.



5.5.3.2 Detalles constructivos

- Aislación



Par Número	Color del aislación	
	Conductor Nº 1	Conductor Nº 2
1	Blanco	Azul
2	Blanco	Anaranjado
3	Blanco	Verde
4	Blanco	Marrón
5	Blanco	Gris oscuro
6	Rojo	Azul

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



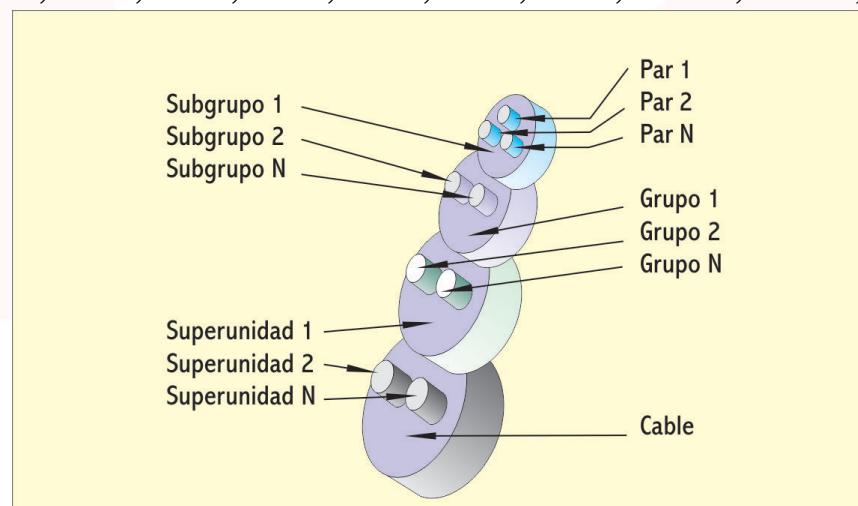
5.5.3.2 Detalles constructivos

- Formación de los pares de conductores

Los conductores, una vez aislados, son trenzados de a pares, de acuerdo al color de aislación de cada uno de ellos. El cable que se describe en la Fig. 5.7. esta compuesto por 6 pares; cada uno de ellos se encuentra trenzado. El par N° 1 esta conformado por un conductor blanco y otro azul; el par N° 2 por uno blanco y otro anaranjado, y así sucesivamente.

- Cableado

Luego de constituidos los pares, se los **agrupa** para conformar el cable, de acuerdo al esquema tipo de la Fig. 5.8. A su vez, los cables telefónicos normalizados pueden ser armados con: 6, 10, 18, 20, 30, 50, 80, 100, 150, 200, 300, 400, 600, 900, 1200, 1500, 1800 o 2200 pares.





5.5.3.2 *Detalles constructivos*

- Pares de reserva

Para el reemplazo de eventuales pares defectuosos o con el objeto de prever el crecimiento de la red, se disponen pares de reserva en cables que tengan 100 o mas pares. Se ubican en la parte mas externa del cable y su numero es del orden de 10% de la cantidad total de pares del cable. Ese porcentaje depende de la situación particular de la zona geográfica en que el cable será instalado y las previsiones de aumento en el numero de clientes previsto para ella.

- Envoltura y cubierta exterior

El núcleo del cable formado por los pares trenzados y cableados o por grupos, subgrupos o superunidades cableadas, se recubre totalmente con una cinta de material **dieléctrico no higroscópico** resistente a la humedad y aplicado en forma helicoidal o longitudinal. Este recubrimiento brinda una adecuada protección contra el calor a efectos de evitar deformaciones en la aislación de los conductores.

Una vez ajustado el núcleo del cable y recubierto con la cinta arriba descripta, se le aplica una cubierta protectora de polietileno o copolimero de etileno con blindaje de polietileno/aluminio/polietileno laminado. El cierre de las puntas del cable se efectúa con capuchones colocados en ambos extremos.

Los capuchones dispuestos en el extremo interno de la bobina están provistos con válvulas tipo **cámara de automóvil** que incluyen su correspondiente ovulo y tapón roscado. Otro tipo de capuchón que se utiliza actualmente es el de plástico termocontraible con adhesivo en su superficie interior.



5.5.3.2 Detalles constructivos

- Presurización de los cables

La presurización consiste en suministrar a los cables una presión interior de **gas seco** a efectos de eliminar la humedad interna de los cables. Los cables menores de 50 pares no se presurizan. El medio gaseoso utilizado puede ser: **aire, nitrógeno o bióxido de carbono**.

La presurización se logra mediante la instalación de equipos presurizadores, ubicados en lugares estratégicos dentro de la red.

Este tipo de técnica se abandonó a causa de la presencia en el mercado de cables tecnológicamente más adelantados, que utilizan sustancias especiales derivadas del petróleo que prácticamente impiden el paso de la humedad hasta los conductores. El costo de la presurización ha llevado a las empresas prestadoras del servicio telefónico a ir reemplazando con rapidez los cables que utilizan este tipo de técnicas. No obstante, los cables multipares, independientemente del tipo de técnica utilizada para eliminar la humedad, han ido siendo 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 según su diámetro. Para la prueba se utiliza una señal de 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



5.5.3.3 Procedimientos de prueba de los cables

- Pruebas eléctricas
 - 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



5.5.3.3 Procedimientos de prueba de los cables

- Pruebas eléctricas
 - 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.

En estas condiciones, y aplicando una tensión de 500 V de corriente continua, se mide la resistencia de aislación que no deberá ser menor de 3000 mW/km.



5.5.3.3 Procedimientos de prueba de los cables

- Pruebas físicas

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

Para llevar a cabo estas pruebas se utilizan trozos de aislación, separados del conductor, denominados **probetas**. Dichas probetas se someten a la tracción registrándose el valor a partir del cual comienza el alargamiento del material (resistencia a la tracción mínima). La fuerza de tracción continua aplicándose sobre la probeta hasta obtener la rotura de la misma (alargamiento de rotura mínimo).

Tipo de aislamiento	Material	Resistencia a la tracción mínima (da n/cm ²)	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



5.5.3.3 Procedimientos de prueba de los cables

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

Se confecciona una muestra integrada por un espécimen, como mínimo de cada color, de aislación del cable. Dichos especímenes, de 150 mm de largo, se colocan en una estufa a circulación de aire caliente, a presión atmosférica durante 4 horas y a temperaturas comprendidas entre 115 y 130 °C, según el material del que se trate.

Luego de este periodo se retiran de la estufa y se mide la contracción producida en la longitud del aislante de cada uno de los especímenes ensayados. El valor de contracción de la aislación debe ser proporcionado a los usuarios, por cuanto se necesita este valor para el diseño de los enlaces y en función de la temperatura.

-Índice de escurrimiento

Este requisito es únicamente exigible para la aislación sólida, pero no así para la aislación celular con capa exterior sólida. El índice de escurrimiento determinado sobre muestras de aislación extraídas del cable no deberá exceder, por ejemplo para el **polietileno tipo I**, más de 60 % del valor obtenido sobre la materia prima utilizada para la extrusión de la aislación.



5.5.4 Cables multipares aéreos

5.5.4.1 Definición y uso

Se entiende por cables multipares aéreos a los cables de cobre multipares que están especialmente diseñados y construidos para ser instalados en forma aérea, para lo cual cuentan con los elementos de sostén adecuados a tal finalidad y todos los elementos aislantes que permitan su normal funcionamiento.

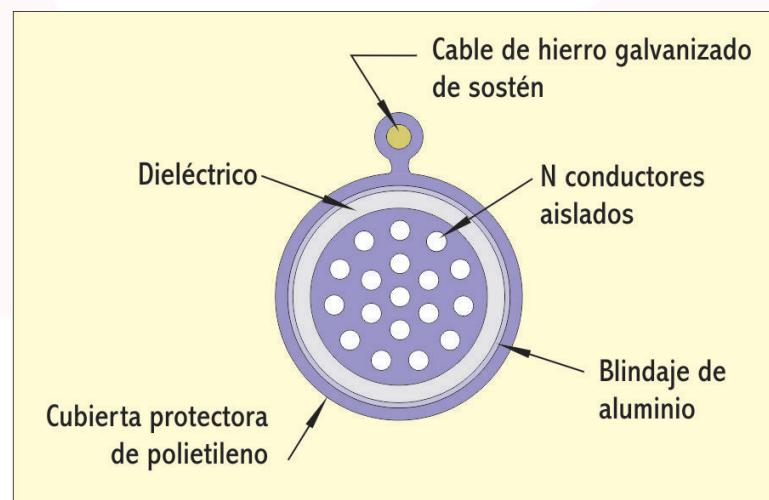
Contienen entre 100 y 300 pares, siendo el diámetro de cada conductor de 0,5 mm aproximadamente.



5.5.4.2 *Detalles constructivos*

Se entiende por cables multipares aéreos a los cables de cobre multipares que están especialmente diseñados y construidos para ser instalados en forma aérea, para lo cual cuentan con los elementos de sostén adecuados a tal finalidad y todos los elementos aislantes que permitan su normal funcionamiento.

Contienen entre 100 y 300 pares, siendo el diámetro de cada conductor de 0,5 mm aproximadamente.





5.6 Cables coaxiles

5.6.1 Definición y uso

Los cables coaxiles son los cables construidos con dos conductores concéntricos: uno interno o central por el que se trasladan las señales eléctricas y uno externo, que lo rodea totalmente. Ambos conductores están construidos con cobre electrolítico.

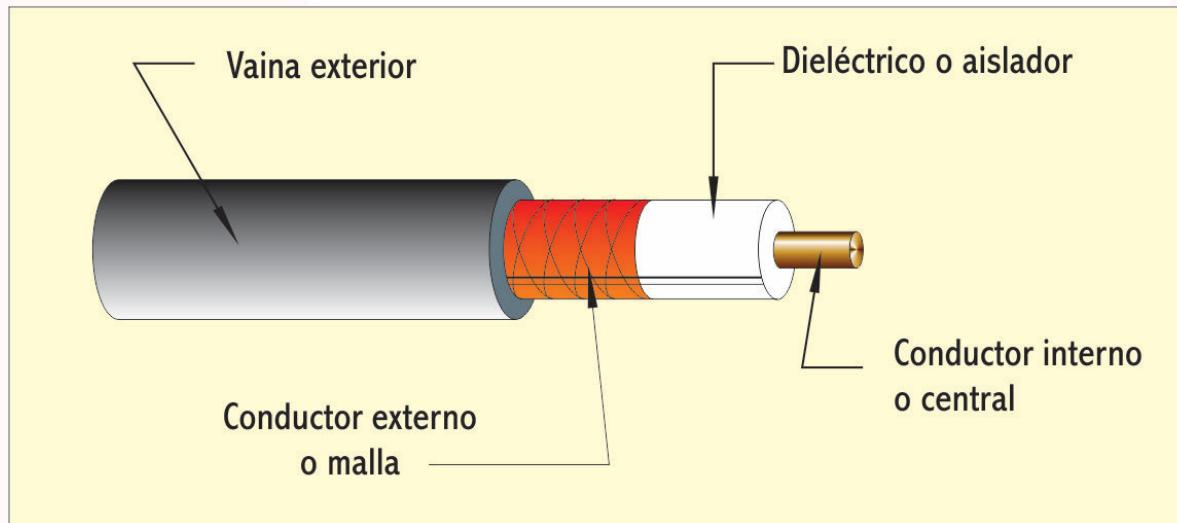
Este tipo de cable ha sido usado, y aun hoy también se lo usa, pero en forma mas limitada, en los sistemas de transmisión para el envío de señales de televisión por cable, denominados CATV.

Formando cables de varios conductores se utilizan en los circuitos de transmisión en redes de telecomunicaciones interurbanas telefónicas.

Este medio fue empleado en las denominadas LAN, aunque su uso ha sido reemplazado por el cable UTP.

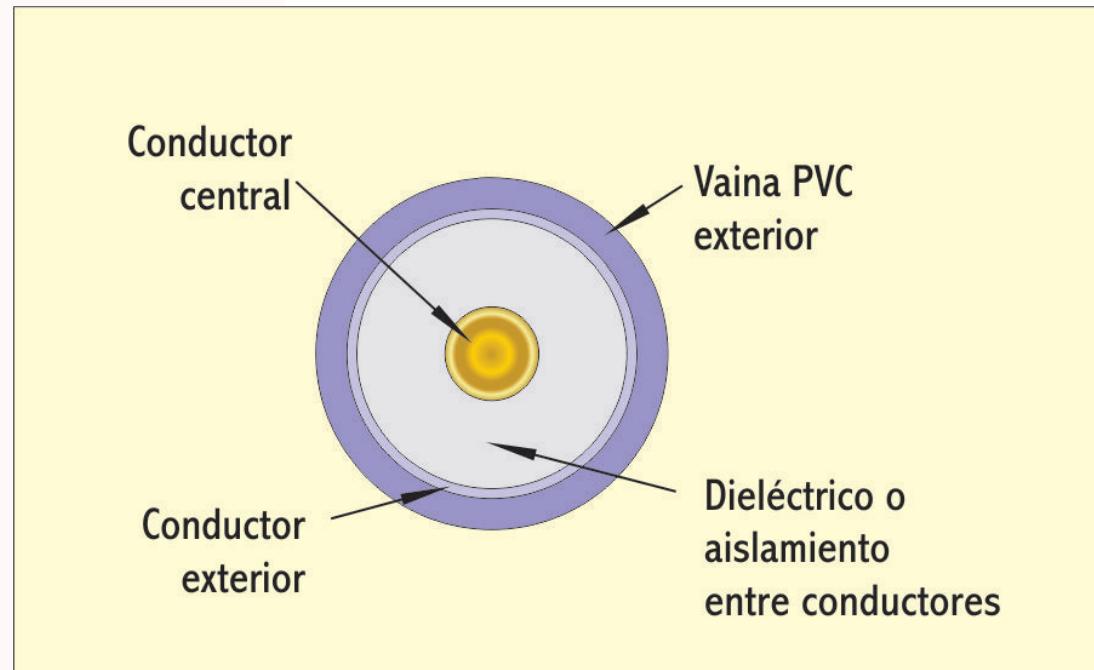


5.6.2 Detalles constructivos





5.6.2 Detalles constructivos





5.6.2 Detalles constructivos

Coaxial tipo	Eléctricas				Operativas					
	Impedancia $Z_0 = [\Omega] \pm 2$	Capacidad C[pF/m]	Velocidad de Propagación $V_0 = [\%]$	Tensión máxima $U_{\max} = [kV]$	Atenuación a 20º 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:

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

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



5.6.3.2 Impedancia característica de los cables coaxiales

La **impedancia característica** es un parámetro de mucha importancia, en particular en el uso de este tipo de cables.

La misma se puede calcular como la división entre la **tensión** aplicada y la **corriente** absorbida en un cable de longitud infinita. Otra forma de calculo para este tipo de cables permite obtener el valor de Z_0 en base a su geometría.

Su valor resultara de la relación existente entre el diámetro del **conductor central** y el del **conductor exterior**, interviniendo también en la determinación de su valor la **constante dieléctrica del material aislante** ubicado entre ellos.



5.6.3.3 Atenuación

La **atenuación** es la perdida de potencia a una determinada frecuencia expresada en decibeles por cada kilometro de cable. La atenuación de estos cables depende de varios factores, entre ellos la temperatura. Su aumento incrementa la resistividad de los conductores.

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

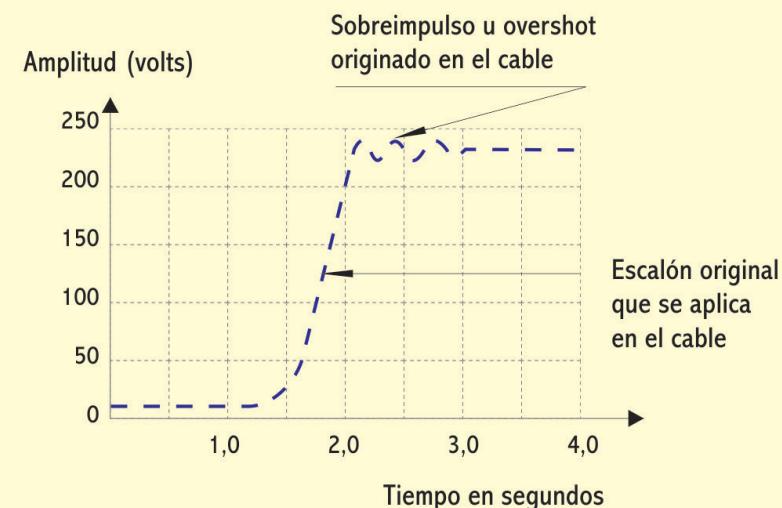
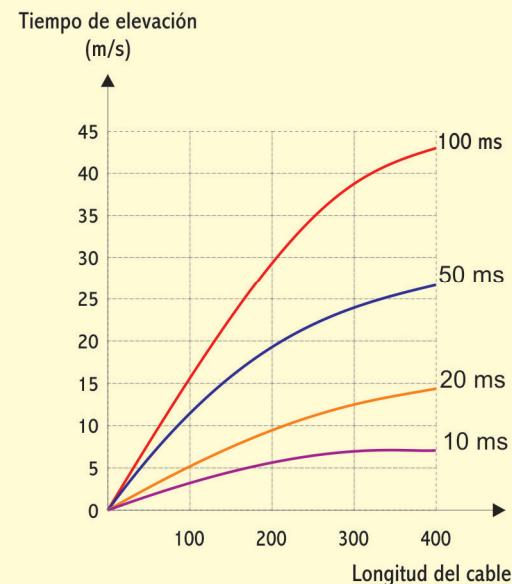
Cuando se transmiten pulsos a través de los cables coaxiales se producen distorsiones en la transmisión. Su estudio se efectúa a través del análisis del **tiempo de crecimiento** de cada pulso.

En particular, se denomina **tiempo de crecimiento** de un pulso al intervalo necesario para que este crezca desde un 10% hasta 90% del valor máximo que alcanza finalmente el pulso.

Si el cable al que se le aplicara una señal escalón o pulso se comportara como un cable ideal, el **tiempo de crecimiento** debería ser cero y, en consecuencia, no habría distorsión del pulso.



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





5.6.5 Velocidad de propagación de las señales

La velocidad de propagación de las señales electromagnéticas en el cable coaxil esta determinada principalmente por la **constante dieléctrica del material aislante** que separa al conductor central del conductor exterior.

Esta 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 coaxiales

Los cables coaxiles toman su designación de distintas normas nacionales e internacionales. Sin embargo, la mas conocida y comercialmente aceptada es la que rige para la fabricación de los cables coaxiles para las Fuerzas Armadas de EE.UU. Esta se conoce como **MIL C -17 E** y define unas siglas para identificar a cada tipo de cable, además de determinar las características físicas y eléctricas que corresponden a cada una de ellas.

Dichas siglas comienzan con las letras **RG**, cuyo significado es **radiofrecuencia/gobierno**, seguidas de un numero progresivo para cada tipo de cable y de la letra **U**, cuyo significado implica que se trata de una especificación **universal**. El agregado de una letra delante de la letra **U**, tal como podría ser **A/U**, **B/U**, etc., indica sucesivas modificaciones al tipo originalmente definido.

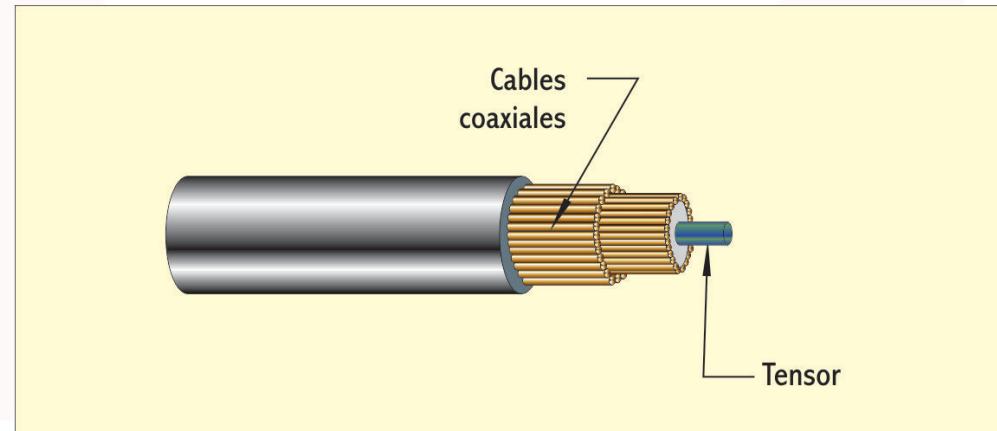
Para la elección de cada cable coaxil se deben tener en cuenta los siguientes tres parámetros que son impuestos por el circuito al cual tendrá que ser conectado:

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

5.6.7 Cables coaxiles de varios conductores

5.6.7.1 Definición y uso

Las cables coaxiles de varios conductores son los cables compuestos por un numero variable de cables coaxiles, que se utilizan para la transmisión de señales de comunicaciones (voz, datos e imágenes). Son generalmente aptos para ser instalados en forma subterránea o aérea y están preparados para soportar condiciones atmosféricas adversas.





5.6.7.2 Detalles constructivos

En los tendidos subterráneos, en distancias de hasta varios cientos de kilómetros, resulta muy útil el empleo de cables múltiples, pues el costo del tendido es elevado y por lo tanto importa mucho aumentar la capacidad final del cable.

Estos están construidos alrededor de un alma de acero que facilita la instalación, rodeada por varios cables coaxiles que en algunas oportunidades se colocan dentro de tubos que los contienen. Dentro del **mazo** se instalan **cables cuadretes de cobre** para circuitos telefónicos de frecuencia de voz. Se denomina así a cuatro conductores que forman un único cable para uso en telefonía.

En algunos casos estos cables llevan elementos que permiten su presurización y, además, una cubierta exterior de plomo de mas de 2 mm de espesor que contiene todo el conjunto.



5.7 Cables de pares trenzados blindados y sin blindar

5.7.1 Conceptos generales sobre el cableado estructurado

El concepto de una **red de cableado estructurado** se corresponde con la idea de la instalación simultanea de tres tipos diferentes de redes que lleguen 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 que provea de energía a los equipos informáticos y de comunicaciones entregando, mediante una **Red de Energía Eléctrica**, potencia eléctrica en cada puesto de trabajo y en los lugares en que se deban instalar equipos de comunicaciones.

Para intentar una solución a todas estas consideraciones, que reflejan una problemática mundial, surge un concepto de lo que se ha llamado **cableado estructurado**, entendiendo por tal al sistema de cableado de telecomunicaciones para edificios que presenta entre sus características ser general, es decir, soportar una amplia gama de productos de telecomunicaciones sin necesidad de ser modificado, y tener la posibilidad de reconfigurar dinámicamente 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, usando en las normas TIA la denominación numérica del 1 al 7.

La diferencia entre el cable **UTP** con el denominado **STP** es que este ultimo, si bien es similar al anterior, tiene una cubierta protectora y además una lama externa de aluminio o de cobre trenzado alrededor del conjunto de pares, diseñada para reducir la absorción del ruido eléctrico.

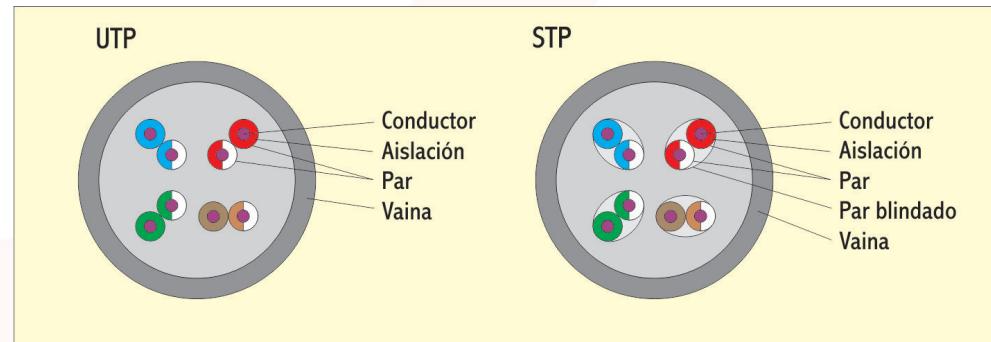
Este cable es mas difícil de instalar que el UTP, aunque actualmente sus costos son semejantes.

UTP - Sin apantallar  Unshielded Twisted Pair
STP - Apantallado  Shielded Twisted Pair

Cuatro pares tranzados - ocho cables

STP = Cables de cobre aislados dentro de una cubierta protectora

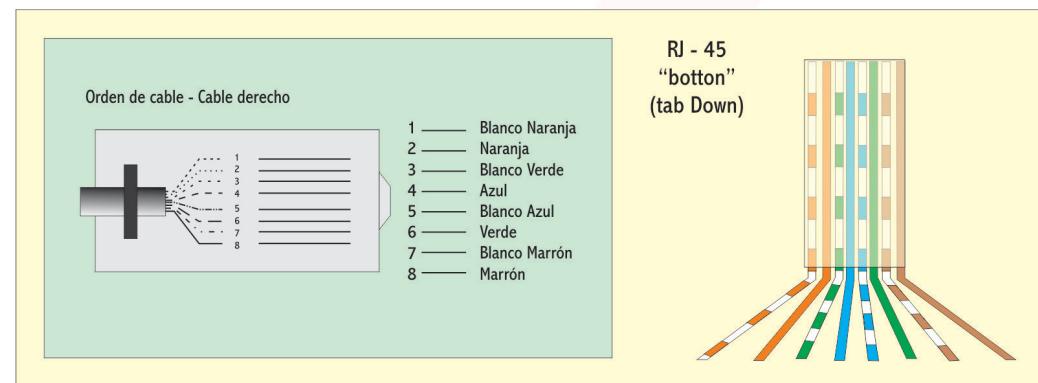
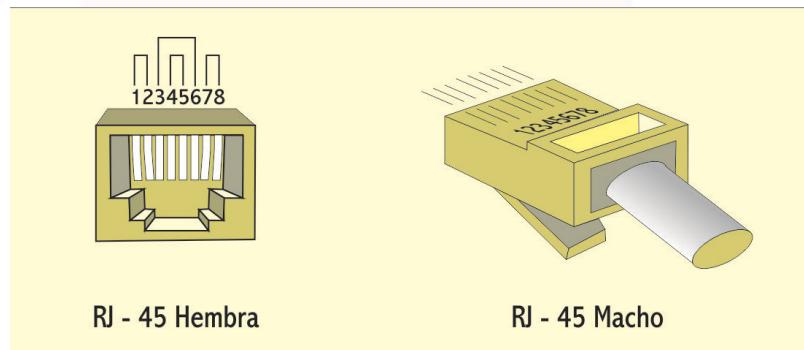
UTP = Cables de cobre aislados dentro de una cubierta





5.7.2 Características generales de los cables UTP y STP

A su vez, dentro de cada categoría existe una clase especial de cables que tienen características de calidad diferente en cuanto a su aislación exterior. Estos se conocen con el nombre de **plenum** pues están construidos para que en caso de fuego produzcan 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 técnicas utilizadas para clasificar y describir estos cables y sus componentes han sido normalizadas por la TIA y por la ISO. Si bien estos requisitos son muy similares en ambas organizaciones para diversos grados de cableado, la terminología que usa cada una de ellas difiere ligeramente y ello provoca muchas veces confusión.

En las normas TIA, tanto en los cables como en los componentes del cableado, hardware de conexión y cables de conexión, el rendimiento se caracteriza por categoría, y en el caso de 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:** Este cable fue utilizado exclusivamente en telefonía analógica y no es apto para la transmisión de datos. Está compuesto por un solo par de cables de cobre trenzados.
- **UTP - Categoría 2:** Estos cables fueron usados en telefonía analógica y digital, aceptando velocidades binarias de hasta 4 Mbps. Están compuestos por cuatro pares de cables de cobre trenzados.
- **UTP - Categoría 3:** Estos cables fueron usados para voz y datos hasta 10 Mbps de velocidad binaria. Permite la instalación de **Redes de Área Local** con tecnologías **Token Ring** de 4 Mbps o **Ethernet**. Esta compuesto por cuatro pares de cables de cobre trenzados, con una trenza cada 10 cm. Posee una atenuación cada 100 m, de **13,1 dB a 10 Mbps**.
- **UTP - Categoría 4:** Estos cables fueron usados para telefonía digital. Permiten velocidades binarias de hasta 20 Mbps y la instalación de **Redes de Área Local** con tecnologías **Token Ring** de 16 Mbps o **Ethernet**. Están compuestos por 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:** es usado para la transmisión de voz y datos en **Redes de Área Local 100BASE – T**, que trabajan en velocidades binarias de hasta 100 Mbps. Pueden ser usados tanto con las tecnologías **Token Ring** o **Ethernet**. Está compuesto por cuatro pares de cables de cobre trenzados. Posee una atenuación cada 100 m, de **8,2 dB** a **16 Mbps** y de **22,0 dB** a **100 Mbps**.
- **UTP - Categoría 6 y 6A/Clase E y EA:** Este tipo de cable es usado para voz y datos hasta **1.000 Mbps** de velocidad binaria. Permite la instalación de **Redes de Área Local** con tecnología **Ethernet**. Actualmente, la mayoría de los proyectos de cableado estructurado que son especificados para nuevos emprendimientos se construyen con cable de esta categoría, dado su óptimo rendimiento y su adecuada relación de precio-calidad. Estas dos condiciones aseguran un muy buen retorno de la inversión.
- **Categoría 7 y 7A/Clase F y FA:** Los cableados de Categoría 7 y 7A/Clase F y FA ofrecen un valor mínimo de atenuación/diafonía a la interferencia, el primero en valores de **600 MHz** y el segundo en los **1.000 MHz**. Debido a su construcción blindada brinda una excelente **compatibilidad electromagnética**. Una compatibilidad electromagnética adecuada permite eliminar o disminuir los efectos de la diafonía y el 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 _A	7 / F	7A / F _A
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

Se entienden por cables de cobre coaxiles submarinos de cobre a los cables compuestos por un numero variable de coaxiles, que se utilizan para la transmisión de señales de comunicaciones (voz, datos e imágenes) y son aptos para ser instalados bajo la superficie del mar, preparados para estar en servicio por periodos suficientemente largos de tiempo.

Los cables coaxiles submarinos permitieron, en la década del sesenta, contar con enlaces intercontinentales de media capacidad a costos razonables. Si bien actualmente los mismos son obsoletos y no se instalan por haber sido reemplazados por la **fibra óptica**, aun algunos se encuentran en servicio.

Los mismos se reemplazaron a medida que quedaban fuera de servicio, su costo de mantenimiento y operación los convertía en inefficientes o se necesitaban anchos de banda mucho mayores que requerían un mayor número de canales de voz y datos.



5.8.2 Breve reseña histórica

Entre los años 1832 y 1836, Morse se dedicó a desarrollar el telégrafo eléctrico. En 1844, este servicio de comunicaciones empezó a funcionar entre las ciudades de Washington y Baltimore, y a partir de allí comenzó a desarrollarse rápidamente. La importancia comercial, política y militar del servicio telegráfico llevó en 1850 a dos hermanos, John y Jacob Brett, a construir un cable submarino buscando conectar Inglaterra con el continente europeo.

Este primer intento consistió en un cable de cobre aislado con una goma que se extrae del árbol Palaquium llamada gutapercha, que fue tendido utilizando un pequeño remolcador denominado Goliath entre las ciudades de Cape Southerland (Dover) en Inglaterra y Cap Gris-Nez (Calais) en Francia. El recorrido del cable tuvo una ubicación similar al actual Eurotunnel. Este primer cable duró unos pocos días, pues fue cortado por un pescador.

Cyrus West Field se impuso el gran desafío de unir dos continentes: Europa y América. Este empresario fue el primero que intentó y promovió tender un cable telegráfico transatlántico. Para ello, obtuvo el financiamiento necesario y en 1865 comenzó un trabajo que estuvo plagado de problemas desde el principio, a causa de que la tecnología de la época no estaba suficientemente desarrollada por un proyecto de esta magnitud.

Luego de varios fracasos, y utilizando un barco con casco de acero, el SS Great Eastern que utilizaba una tecnología más avanzada, el 27 de julio de 1866 se produjo el comienzo de la gran epopeya de los cables submarinos cuando fue unido el continente europeo con el americano.

A partir de allí, comienza toda una serie de enlaces submarinos con tecnologías que se fueron perfeccionando hasta llegar a los actuales cables construidos con fibras ópticas.



5.8.3 Detalles constructivos

Luego de la época de los cables submarinos de cobre, rápidamente se pasó a utilizar como medio constitutivo los cables coaxiles, dado su mucho mayor ancho de banda.

Los cables coaxiles submarinos son de diseño muy similar al de los cables coaxiles de varios conductores que se utilizan para tendidos terrestres, aunque tienen mucha mayor calidad y aislación.

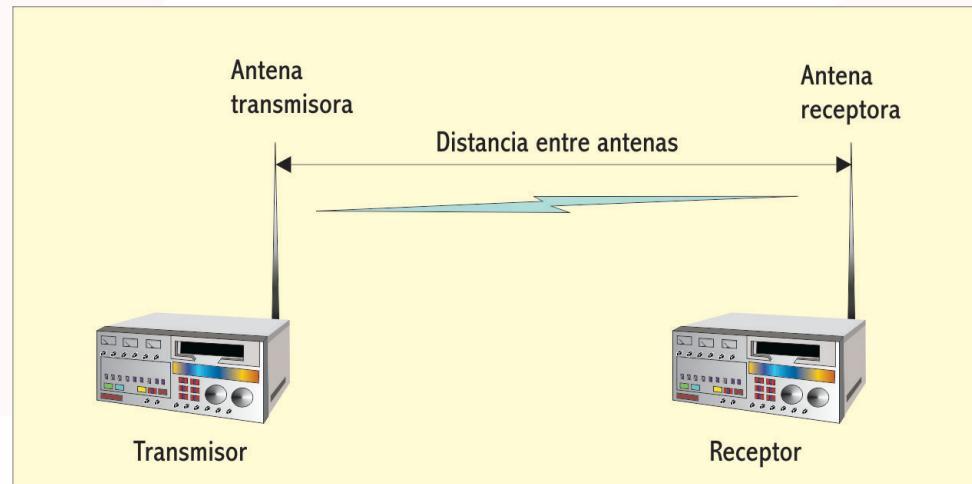
Este tipo de conductores se ha construido para que tengan una vida útil del orden de los veinticinco años con no más de dos fallas durante ese tiempo de operación.

5.9 Radiocomunicaciones

5.9.1 Definición y uso

Se entiende por radiocomunicaciones a las técnicas que permiten el intercambio de información entre dos puntos geográficos distantes, mediante la transmisión y recepción de ondas electromagnéticas que utilizan el aire o el vacío como dieléctrico.

Estas ondas se propagan a la velocidad de la luz, aproximadamente 300.000 km/s, debido a su comportamiento ondulatorio.





5.9.1 Definición y uso

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 de una determinada potencia de radiofrecuencia a una antena, los electrones contenidos en el metal comienzan instantáneamente a oscilar. Estos electrones generan una corriente eléctrica que a su vez produce un campo magnético concéntrico al conductor (antena).

Los campos eléctricos y magnéticos resultantes varían en forma y valor siguiendo paso a paso las variaciones de la señal que les da origen, generando una onda electromagnética que comienza a propagarse a partir de ella.

La velocidad de las ondas de radio que viajan en el vacío es igual a la velocidad de la luz, es decir, aproximadamente *300.000 km/s*. En el aire la velocidad es aproximadamente la misma.

El conocimiento de la longitud de ondas es un parámetro dado que las dimensiones finales de las antenas están directamente relacionadas con la **longitud de onda**, que corresponde a la frecuencia de emisión del transmisor.



5.9.3 Propagación de las ondas de radio

5.9.3.1 Definición y conceptos generales

Se denomina propagación al conjunto de fenómenos por el cual las ondas electromagnéticas producidas por los equipos de radiocomunicaciones permiten enlazar puntos geográficos distantes a través de diferentes medios dieléctricos.

La propagación de las ondas dependerá de las distintas zonas geográficas por las que se transmiten. No es lo mismo que las distancias por cubrir tengan un camino que pase sobre la superficie del mar o sobre una zona desértica.

Las ondas de radio, como se expresó, se propagan básicamente en función a su frecuencia de emisión. Se pueden propagar de acuerdo a los siguientes modos:

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

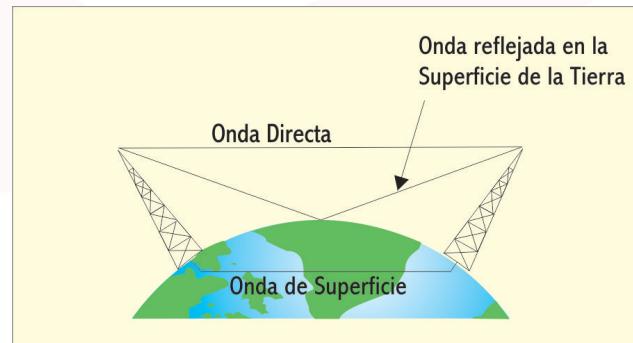


5.9.3.2 Propagación por onda terrestre

Este tipo de propagación es una combinación de la propagación por **onda de superficie** y por **onda espacial**.

A su vez, la **onda espacial** esta compuesta por dos componentes: una que se propaga por **onda directa** (o transmisión por línea de vista) y otra por **onda reflejada en la superficie de la Tierra**.

Como ambas parten en forma simultanea de la antena transmisora, producen que el rayo que se refleja en la tierra llegue a la antena receptora con cierto retraso por recorrer una mayor distancia. Esta diferencia entre la distancia recorrida por uno y por el otro determina la intensidad de la señal en el receptor. La misma esta condicionada por un fenómeno que se denomina **interferencia de ondas**.





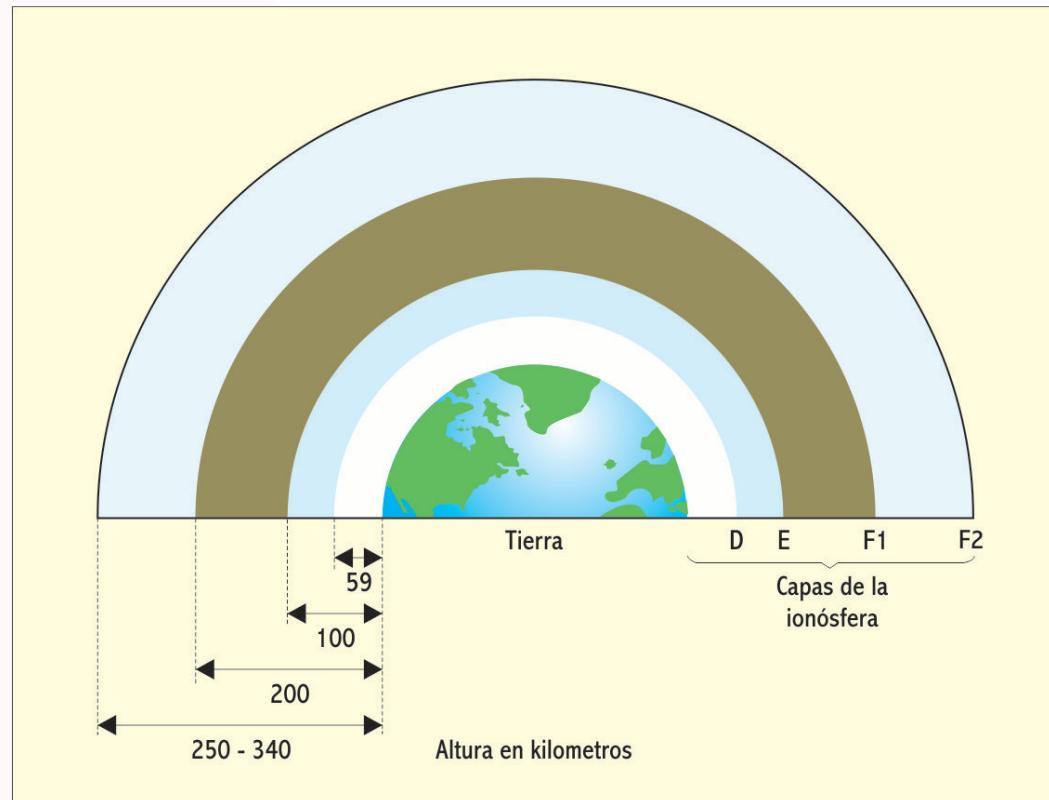
5.9.3.3 Propagación por onda reflejada espacial o ionosférica

La ionósfera es una zona formada por las ondas electromagnéticas provenientes del Sol. El proceso de generación de la ionosfera es el siguiente: cuando una onda electromagnética de longitud de onda correspondiente al ultravioleta choca contra los átomos de los gases existentes en la atmósfera, el resultado más probable es que algunos o varios electrones del átomo salten de una órbita interior a otra órbita más alejada (exterior), absorbiendo energía de la onda incidente.

La absorción de energía puede ser suficiente para desprender completamente al electrón de su átomo. En consecuencia, el núcleo del átomo queda cargado positivamente, y se lo conoce como **ion positivo**. Por lo tanto, las ondas ultravioletas del Sol, al pasar a través de la atmósfera, crean pares de **iones positivos e iones negativos** o electrones libres. La densidad de iones depende de la radiación solar, así como de la densidad de la atmósfera.

Las capas ionizadas de la atmósfera que reciben el nombre de **ionósfera** son las que, formando un casquete esférico alrededor de la superficie terrestre, generan condiciones de propagación diferentes a las del resto de la atmósfera. El nombre fue propuesto por Alexander Watson Watt en 1930. Se basó para ello en la presencia de los iones libres y el significado en griego de la palabra **Ión** (viajero, el que viaja).

5.9.3.3 Propagación por onda reflejada espacial o ionosférica





5.9.3.3 Propagación por onda reflejada espacial o ionosférica

Las emisiones de las antenas de los equipos transmisores emiten radiación electromagnética al espacio que en parte se dirige a la ionosfera. Se puede definir un **ángulo incidente** en la ionosfera de la onda emitida por el transmisor, que llamaremos α . Cada antena tiene lo que se denomina un diagrama de radiación. Según sea este, habrá direcciones privilegiadas en las que la iluminación será mas intensa que en otras.

En función a cuatro parámetros: frecuencia, ángulo de emisión, altura y densidad de las capas de la ionosfera, cuando estos rayos emitidos por la antena la alcanzan con un ángulo α , empiezan a propagarse por ella.

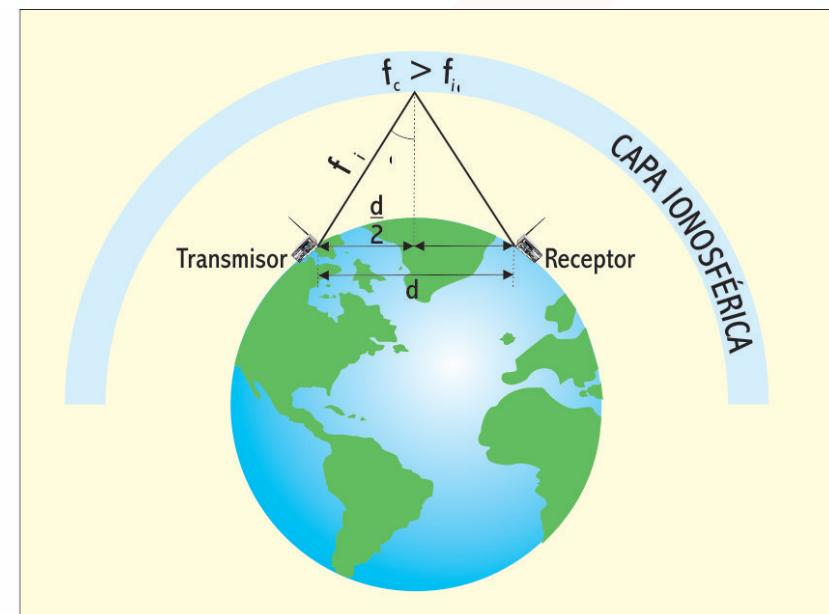
Durante el recorrido por su interior, comenzaran a refractarse aumentando el ángulo de emisión α según la Ley de Snell. Conforme mas avanzan a través de ella, este ángulo se hace cada vez mayor y puede ocurrir que los rayos se propaguen inicialmente en forma horizontal y finalmente salgan de la ionosfera con el mismo ángulo α con el que incidieron, alcanzando así la superficie de la Tierra a una gran distancia del transmisor.

Luego se puede afirmar que cuando se establece una comunicación a larga distancia mediante ondas espaciales o ionosféricas es porque las mismas se han reflejado hacia la Tierra desde las capas de la ionosfera.



5.9.3.3 Propagación por onda reflejada espacial o ionosférica

Como las posibilidades de que se verifique la propagación por onda reflejada espacial o ionosférica están dadas en función de la frecuencia, es posible definir una frecuencia que llamaremos **frecuencia crítica**.





5.9.3.4 Propagación por onda directa

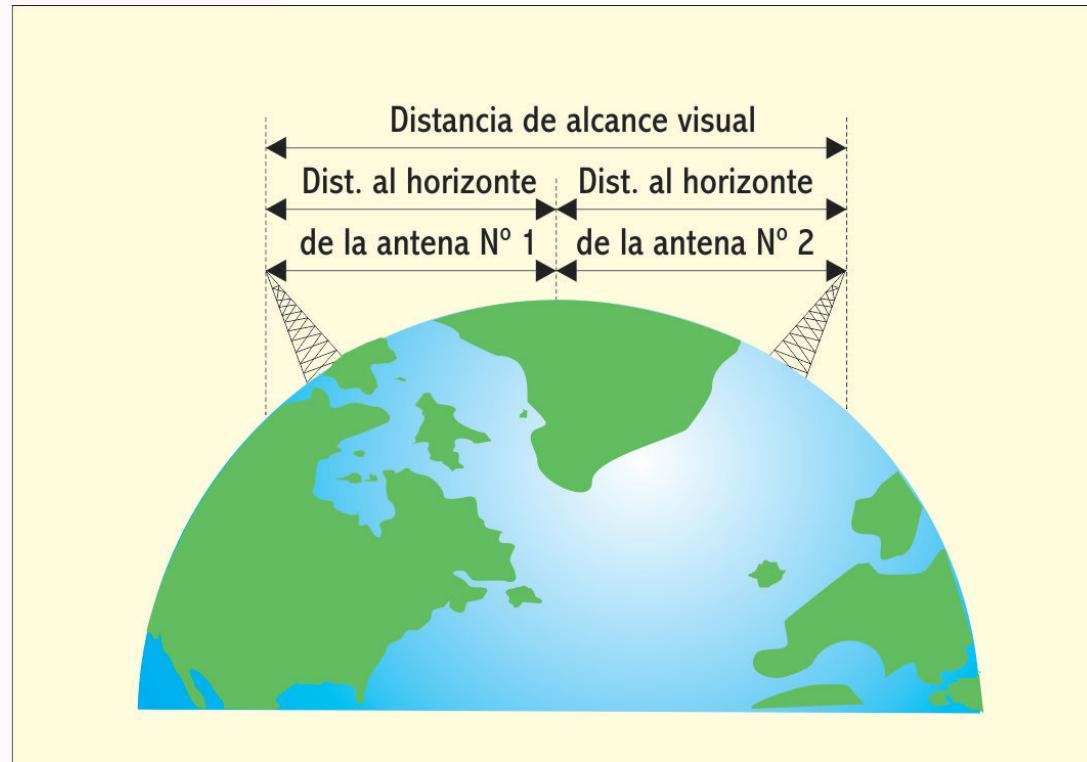
La propagación en línea recta se caracteriza porque la onda emitida desde la antena transmisora viaja en forma directa a la antena receptora sin tocar el terreno ni la ionosfera. Este tipo de radiación se utiliza en bandas de frecuencias muy elevadas, frecuencias ultra elevadas y superiores.

Para comprender el principio de funcionamiento de la transmisión en línea recta, introduciremos los siguientes conceptos:

- **Distancia al horizonte:** Es la distancia cubierta por una onda que se propaga en línea recta desde la antena transmisora 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.



5.9.3.4 Propagación por onda directa

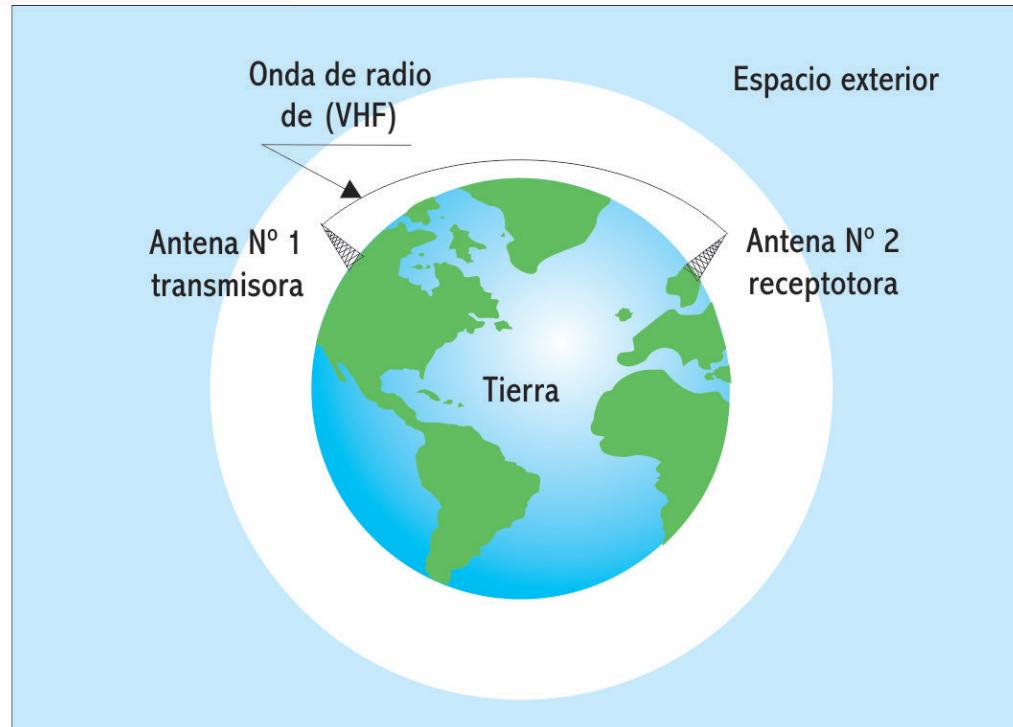




5.9.3.4 Propagación por onda directa



5.9.3.4 Propagación por onda directa



$$DH = 4,14\sqrt{H}$$



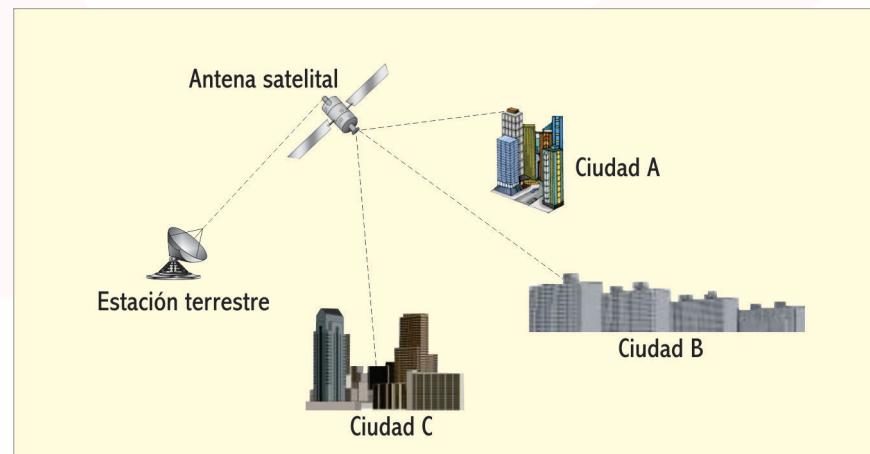
5.10 Satélites

5.10.1 Definición y uso

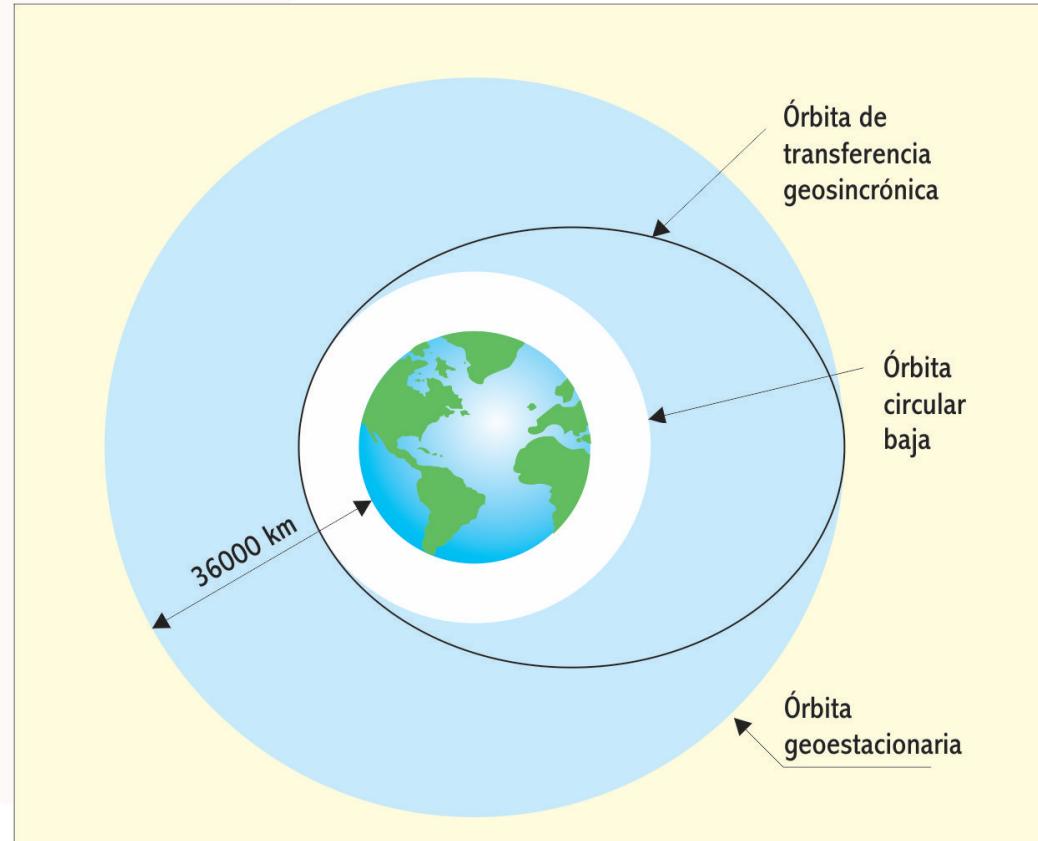
Se entiende por comunicaciones satelitales a los sistemas de telecomunicaciones que utilizan uno o más satélites como punto medio para lograr la reflexión de las ondas electromagnéticas generadas por una estación transmisora con el objeto de hacerlas llegar a otra receptora, situadas ambas en puntos geográficos distantes, generalmente sin alcance visual.

5.10.2 Referencia histórica

Los satélites frecuentemente utilizados en los sistemas de telecomunicaciones están ubicados en la denominada **órbita geosincroestacionaria**. Sin embargo, también se están desarrollando sistemas que trabajan con satélites ubicados en otras órbitas, y muy especialmente los que últimamente operan en las denominadas **órbitas bajas**.



5.10.2 Referencia histórica





5.10.3 Las organizaciones internacionales para la provisión de servicios satelitales

5.10.3.1 Aspectos generales

La globalización de la economía y el aumento continuado de la competitividad han generado una verdadera revolución en la provisión de servicios de telecomunicaciones. Esta situación ha influido particularmente en los servicios de comunicaciones satelitales que han crecido en forma explosiva, por lo que actualmente están operando en todo el mundo varios consorcios internacionales y más de 60 empresas que proporcionan servicios internacionales, regionales y nacionales.

Esta situación ha producido un aumento importante en la cantidad de satélites instalados en órbitas geoestacionarias que trabajan en las **Bandas C y Ku** y, a la vez, varios proyectos para instalar satélites de órbita baja en la **Banda Ka** se han ido materializado.

Estos sistemas deben competir en precios y servicios con las redes de cables de fibras ópticas, tanto las de tipo submarino como las usadas para cubrir grandes distancias continentales. Pareciera que, actualmente, la demanda de estos servicios de comunicaciones crece sin un límite a la vista.



5.10.3.2 Consorcio INTELSAT

El 20 de diciembre de 1964, por la **Resolución Nº 1721 de las Naciones Unidas**, fue fundado el **primer consorcio internacional** para las comunicaciones satelitales denominado **INTELSAT** (*International Telecommunication by Satellite*). El primer satélite que opero dicho consorcio fue el **Early Bird** (pájaro madrugador), conocido también como **Intelsat I**, que se lanzo en 1965.

El mismo proporcionaba servicios de voz y televisión (480 canales de voz) y enlazaba a EE.UU. con Europa. Los miembros del **Consorcio INTELSAT** son exclusivamente los países soberanos. Actualmente suman mas de 140. El Consorcio tenia por finalidad la explotación comercial de los satélites para el establecimiento de comunicaciones transoceánicas internacionales y en el ámbito nacional.

En el 2001 la organización pasó a ser una empresa privada denominada **INTELSAT Ltd.**, con sede en la ciudad de Luxemburgo.



5.10.3.3 INTERSPUTNIK

Lo que constituyó el bloque de países socialistas formó, en 1971, el segundo Consorcio Internacional, **INTERSPUTNIK**. Este estaba constituido inicialmente por 8 países miembros, entre ellos Cuba, que en su momento no habían adherido al primero. En el año 2008 contaba con 25 países miembros, incluyendo a Alemania Federal como sucesor de la República Democrática Alemana; de América, se había sumado Nicaragua.

Intersputnik ofrece la capacidad de un grupo de satélites de telecomunicaciones ubicados en órbita geoestacionaria entre los 140 o Oeste a 166 o Este.

El principal socio y operador de sus satélites es la **Compañía Rusa de Satélites de Comunicaciones** (*Russian Satellite Communications Company*). Además, esta empresa es distribuidora de otros operadores, como de Eutelsat, INTELSAT y otros operadores de África y Asia.



5.10.3.4 INMARSAT

El **tercer consorcio internacional** fue creado en 1979 como una organización internacional sin fines de lucro creada a instancias de la **OMI**, con el objeto de proveer comunicaciones móviles a escala mundial con fines comerciales, especialmente orientado a las comunicaciones marítimas.

INMARSAT es actualmente una organización intergubernamental integrada por 94 países que supervisa la seguridad por medio de satélites de ciertos servicios públicos, como pueden ser:

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



5.10.3.5 ARABSAT

En 1976, los 21 miembros de la Liga árabe crearon la **Organización Árabe para las Comunicaciones por Satélite – ARABSAT** (*Arab Satellite Communications Organization*) con el objeto de diseñar, ejecutar y operar el primer sistema satelital árabe.

En 1985, utilizando un portador Ariane de origen francés, lanzaron el primer satélite que se denominó Arabsat-1a.

Su despliegue al año 2011 está compuesto por cinco satélites en tres posiciones orbitales: uno a 20° Este, el Arabsat - 2B; tres a 26° Este, los BADR-4, BADR-5 y BADR-6; y otro a 30,5° Este, el Arabsat – 5A.

La flota de Arabsat transporta 400 canales de televisión y 160 emisoras de radio, que pueden ser vistas y oídas en más de 100 países de Oriente Medio, África, Europa y Asia Central.



5.10.3.6 EUTELSAT

Eutelsat surgió en 1977 como una organización intergubernamental con el objeto de desarrollar y operar satélites de comunicaciones que satisficiera las necesidades de los países europeos. Fue creada con el nombre de **Organización Europea de Telecomunicaciones por Satélite** (*European Telecommunications Satellite Organization*).

Lanzó su primer satélite en 1983 y a partir de allí, hasta fines del 2005, realizó 30 lanzamientos, abarcando un 14% de este mercado.

En el 2005, el principal accionista creó un *holding* con actividades aún más amplias que se denominó Eutelsat Communications. Dentro de las empresas que lo componen, Eutelsat es propietario del 95,2% of Eutelsat S.A.

Eutelsat posee 27 satélites en órbita y dispone de 20 posiciones geoestacionarias. Cubre desde la posición 15° Oeste hasta los 75° Este, prestando servicios a Europa, Oriente Medio, África y una gran parte de Asia y del continente americano.



5.10.3.7 ASLASAT

En 1988, con base en la ciudad de Hong Kong, fue fundada la **Organización Asiática de Satélites - ASIASAT** (*Asian Satellite Organization*) como una organización privada con el objeto de proveer servicios de telecomunicaciones satelitales para la Región Asia – Pacífico, lanzando su primer satélite en 1990.

ASIASAT, en el 2011, opera tres satélites denominados AsiaSat 3S, AsiaSat 4 y AsiaSat 5, los cuales están ubicados entre los 100,5° Este y los 122° Este, brindando una adecuada conectividad a 50 países de la región.

Actualmente, esta es una empresa privada que se denomina **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 siempre que la fuerza centrífuga que genera su rotación alrededor del planeta este igualada por la fuerza de atracción gravitacional de la Tierra más las otras influencias provocadas por su ubicación en el espacio.

Desde el punto de vista de las comunicaciones, los satélites funcionan como repetidores ubicados en el espacio que pueden recibir y enviar señales desde y hacia la Tierra. Por su tipo de órbita, el tipo de antenas y la potencia de sus equipos de transmisión, tienen definida su zona de cobertura. Una zona de la superficie de la Tierra en que las señales que envían las antenas ubicadas en el satélite llegan a las que actúan como correspondientes en la superficie de la Tierra con una intensidad tal que permiten el intercambio de información.



5.10.4.2 Satélites de órbita baja

- Para el caso de una órbita de aproximadamente 800 km, necesitan alrededor de 90 minutos para dar una vuelta completa a la Tierra. Este es el caso particular del satélite europeo ERS - 1, lanzado en mayo de 1991. Por lo cual, para una estación terrestre permanece solo unos pocos minutos disponible.
- Para brindar un servicio continuo de comunicaciones es necesario contar en el sistema con un número de satélites que, dependiendo de la altura, es generalmente del orden de cincuenta o incluso puede llegar al centenar.
- Requieren para su funcionamiento bajas potencias de transmisión, lo que implica menores consumos y, por lo tanto, estaciones terrestres de menor costo.
- La recepción de sus señales se puede efectuar por medio de antenas omnidireccionales.
- Esta particularidad, sumada a la anterior, los hace muy interesantes para las comunicaciones personales móviles.
- Los lanzamientos por satélite son de bajo costo debido a la altura de la órbita; por este motivo también es bajo el retardo o *delay* en la transmisión de las señales: del orden de 10 ms. Este último hecho favorece las comunicaciones de datos.



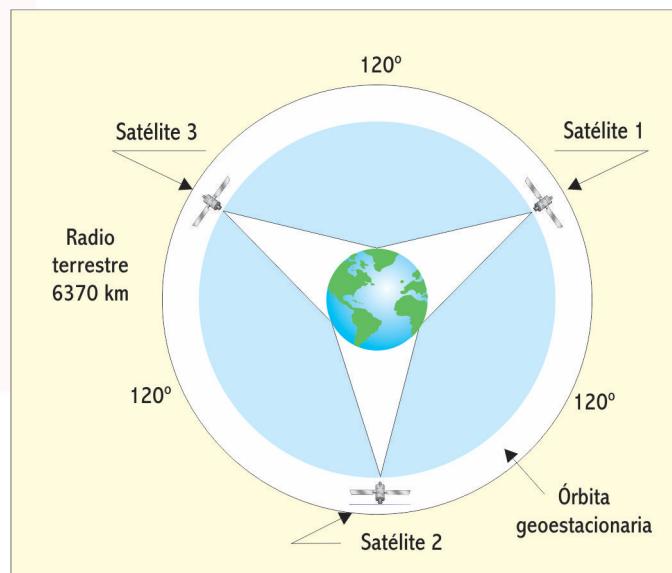
5.10.4.3 Satélites de órbita media

- Las órbitas tienen una duración de entre seis a ocho horas. Por lo cual, para una estación terrestre permanece visible entre una y dos horas.
- Para brindar un servicio continuo de comunicaciones es necesario un sistema que posea diez satélites, ubicados en dos planos a 45° respecto del Ecuador. De esta manera se puede obtener una cobertura mundial.
- Requieren para su funcionamiento potencias de transmisión mayores que las que se necesitarían si se operara con los satélites que trabajan en órbitas bajas.
- Los lanzamientos, por satélite son de costos menores que los correspondientes a 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

- Estos satélites, al tener un periodo de rotación igual al de la Tierra, permanecen, para un observador terrestre, fijos en el espacio. Giran, por lo tanto, en la misma dirección en que gira la Tierra. Luego su disponibilidad es de 24 horas.
- Para brindar un servicio continuo de comunicaciones basta con un solo satélite, siempre que se quieran unir dos puntos que puedan ser vistos por él.
- Requieren para su funcionamiento altas potencias de transmisión, lo que implica antenas costosas, del tipo parabólico, y amplificadores de bajo ruido, conocidos como LNA.





5.10.4.4 Satélites de órbita geoestacionaria

- La recepción de sus señales se puede efectuar por medio de antenas omnidireccionales.
- Esta particularidad, sumada a la anterior, los hace muy interesantes para las comunicaciones personales móviles.
- La cantidad de satélites que pueden operar en la órbita geoestacionaria está limitada por las interferencias que pueden recibir de los satélites ubicados a ambos lados.
- Los lanzamientos tienen costos muy elevados. Ellos pueden ser efectuados de tres formas diferentes.
- El retardo o *delay* en la transmisión de las señales es muy alto y menor a los 480 msec entre estaciones terrestres. En telefonía este efecto genera señales de eco indeseadas y obliga a la instalación de canceladores de eco.



5.10.4.5 Satélites de órbitas altamente elípticas

- Son satélites especialmente aptos para las cubrir las zonas polares.
- Este tipo de satélites puede ser usado en los servicios de telecomunicaciones pese a no ser de del tipo geosincrónico.
- Su periodo de rotación es de 12 horas de las cuales unas ocho horas son útiles para los servicios que presta.
- Se requieren tres satélites para cubrir un servicio de comunicaciones continuo.

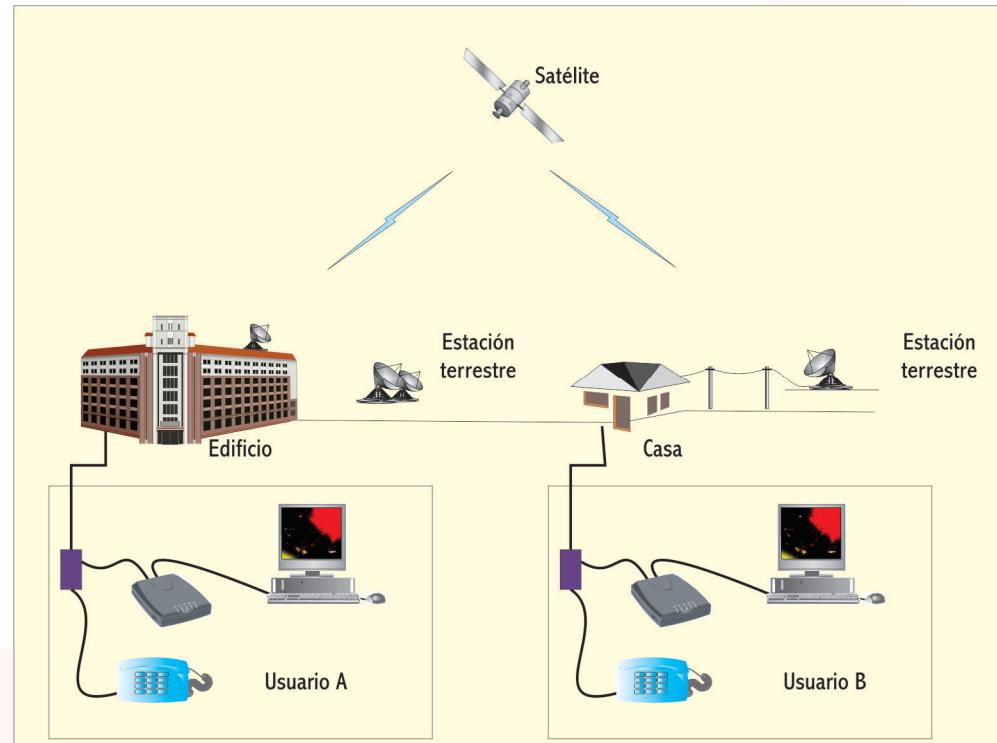


5.10.5 Componentes de un sistema de comunicaciones por satélite

5.10.5.1 Aspectos generales

Un sistema de comunicaciones satelital está compuesto por los siguientes 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

Se entiende por satélite de comunicaciones a una estación retransmisora de telecomunicaciones ubicada en el espacio por un tiempo limitado, que va normalmente entre los 8 y 18 años aproximadamente, y que recibe señales de telecomunicaciones de voz, datos y vídeo desde la tierra, las amplifica, cambia la frecuencia de la portadora, y las retransmite a otras estaciones terrenas.

Para poder realizar estas funciones el *hardware* con el que esta construido debe ser de tal calidad que pueda resistir severas condiciones ambientales, de temperatura, radiaciones electromagnéticas, meteoritos y otros aspectos mecánicos que implican serios y sofisticados requerimientos de ingeniería.



5.10.5.2 Segmento espacial o satélite

Un satélite está compuesto de los siguientes subsistemas principales:

- Estructura del satélite
- Subsistemas de comunicaciones o *payload* que se puede interpretar como la carga útil que transporta el satélite
- Subsistemas de generación y distribución de potencia
- Subsistemas de estabilización
- Subsistemas de control de temperatura



5.10.5.3 Segmento terrestre o estaciones terrestres

Las estaciones terrestres para comunicaciones forman parte del denominado **segmento terrestre** del sistema. Existe una gran variedad de estaciones terrestres. Pueden estar caracterizadas por el tamaño de la antena, la potencia de transmisión, sensibilidad de recepción, capacidad de canales que manejan, modos de acceso, etc.

La estructura en bloque de una estación terrestre, en términos generales, tiene la misma constitución interna, cualquiera sea su capacidad y potencia.

Cuentan con equipos terminales de los circuitos de datos que reciben las señales de la red pública o, si es un usuario más chico, de la red que tenga instalada.

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. En el proceso de recepción, la operación es la inversa a la descripta.

La calidad de una estación terrestre está dada, fundamentalmente, por la relación entre su **ganancia con relación al ruido total**, considerando la ganancia total en la antena menos las pérdidas del alimentador que une a esta con el transmisor/receptor.



5.10.5.3 Segmento terrestre o estaciones terrestres

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

Una vez colocado el satélite en órbita, los sistemas de seguimiento tienen la misión de mantenerlo en una posición que, respecto a su posición orbital, tenga una tolerancia del orden del $0,5^\circ$ como máximo. Distintas fuerzas externas siempre tratan de sacarlo de su posición. Estas responsabilidades son asignadas a ciertas estaciones terrestres que asumen las tareas de monitoreo, seguimiento y control de cada uno de los satélites que gobiernan.

Estas estaciones reciben los datos correspondientes al estado del satélite como son la posición, altura, alarmas por mal funcionamiento de algún circuito electrónico, nivel de potencia, etc. Estas indicaciones, junto con la posición determinada por telemetría desde la estación terrestre, permiten, mediante el uso de computadoras, el cálculo de la posición correcta y el envío hacia el satélite de los comandos necesarios para activar los motores/cohetes.

La activación de estos últimos permite corregir la posición del satélite y poner en funcionamiento los circuitos de control que actúan sobre los diferentes módulos del sistema de comunicaciones.

5.10.6 Características de los sistemas de comunicaciones satelitales

5.10.6.1 Servicios fijos, con o sin conmutación

Los servicios fijos por satélite permiten efectuar comunicaciones **punto a punto**, o **punto multipunto**, entre dos o mas estaciones terrenas, ambas con capacidad de **transmisión y recepción** sobre uno o más satélites.

En estos casos, las estaciones deben estar en capacidad para **recibir y transmitir señales**, que pueden ser **analógicas** o **digitales**, dependiendo de las características del **transponder** que tenga instalado el satélite sobre el que se trabaja.

Las estaciones terrestres pueden conectar a **dos únicos equipos terminales entre sí**, en el caso de que se tratara de usuarios finales; o bien, la estación puede ser el punto de ingreso a una **WAN** o a una **LAN**.

En estos dos casos, estas redes podrán ofrecer servicios con conmutación o con la conectividad que estén capacitadas para proporcionar.

5.10.6.2 Servicios de difusión

Los servicios de difusión por satélite permiten efectuar comunicaciones **punto multipunto** entre una estación terrena que tiene capacidad de **transmisión y recepción** y muchas estaciones que solamente tiene capacidad de **recepción**.

Las estaciones receptoras pueden brindar servicio a **un único usuario final** o pueden ser las puertas de ingreso para la distribución de la señal recibida mediante redes especiales, construidas al efecto. Un primer ejemplo es el caso de las empresas de **CATV**. Las mismas reciben distintas señales de televisión de uno o varios satélites y luego, mediante equipos especiales, las multiplexan sobre un cable y las distribuyen dentro del área de cobertura de la red que hayan construido.



5.10.6.3 Servicios móviles

Los servicios móviles por satélite permiten efectuar comunicaciones **punto a punto o punto multipunto** entre dos o mas estaciones terrenas, ambas con capacidad de **transmisión y recepción** sobre uno o mas satélites.

En estos servicios, la particularidad es que **una estación es fija**, y generalmente conectada a la red publica, y la otra es una **estación móvil**; esta ultima puede ser portable en la mano de una persona, montada en un vehículo, en un avión o en un barco,

Un ejemplo con múltiples usos es el sistema denominado **Irídiom** operado por la empresa **Iridium Communications Inc.**, con sede en la ciudad de McLean, Estado de Virginia, EE . UU.



5.10.7 Formas de acceso al satélite

5.10.7.1 Aspectos generales

Las limitaciones que presentan los satélites, tanto en lo que se refiere a la capacidad del ancho de banda disponible en los transponder como a la cantidad de satélites que pueden ser colocados en órbita geoestacionaria, ha llevado a optimizar los métodos de empleo.

Por tal razón, se han desarrollado procedimientos destinados a obtener un mejor aprovechamiento de cada satélite instalado mediante el perfeccionamiento de lo que se ha dado en llamar en forma genérica los métodos de acceso.

Estas técnicas, también denominadas de MA, pueden ser divididas según los *transponder* estén preparados para el manejo de señales analógicas o digitales. Existen varios métodos; entre otros, los siguientes.



5.10.7.2 Single Channel Per Carrier

Este método, denominado **Canal Único por Portadora**, es usado principalmente para sistemas que utilizan una sola señal de una frecuencia y ancho de banda determinado, normalmente en canales de voz, para la difusión por satélite de señales de radiodifusión o de video.

Este método presenta las ventajas de ser una tecnología muy simple, de bajo costo y la fácil implementación de sistemas que reciben señales en estaciones terrestres ubicadas en lugares geográficamente diferentes.

Además, permite el uso de variados anchos de banda que pueden ir desde un canal B de voz, de 64 Kbps, hasta ocupar el ancho de banda total del un *transponder*.



5.10.7.3 Multi Channel Per Carrier

Este método, denominado **varios canales por portadora**, es usado para sistemas de mayor caudal de datos que el anterior.

Consiste en combinar en un único lugar múltiples señales correspondientes a varios canales de frecuencia de voz en un flujo de bits, para proceder luego a su modulación en una única 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.

La portadora modulada se puede transmitir a múltiples sitios remotos. En la o las estaciones terrenas receptoras, el proceso es el inverso.

Debido a que todas las señales tienen que ser inicialmente enviadas a un solo lugar antes de ser combinadas para la transmisión, MCPC se encuentra en una gran desventaja en comparación con SCPC en términos de tiempo de transmisión. Sin embargo, este método es muy eficiente cuando el tráfico es intenso.

5.10.7.4 CompanDED Frequency Division Multiplex

Este método, denominado **multiplexación por división de frecuencia con compansión**, permite ampliar la capacidad de ancho de banda disponible hasta casi el doble.

Para ello, los canales de frecuencia de voz son previamente comprimidos en amplitud y luego modulados. Al ser recibidos en la estación receptora, primero se los debe demodular y luego expandirlos nuevamente.

En estas técnicas, para los *transponder* de un ancho de banda típico de 36 MHz, se pueden acomodar 2100 canales de frecuencia de voz, en lugar de los 1100 que podrían ser transmitidos con las técnicas normales.



5.10.7.5 Time Division Multiplexer Asynchronous

Este método es utilizado exclusivamente cuando se opera con señales digitales. Se denomina **multiplexación asincrónica por división de tiempo**. Permite que varias estaciones terrestres, utilizando la misma portadora, envíen en diferentes instantes pequeñas ráfagas de datos o *bursts*. Los mismos deben ser multiplexados por división de tiempo dentro de una trama, donde cada estación utilizará un *slot* de tiempo.

El *transponder*, una vez que recibe la trama completa, la amplifica, convierte la frecuencia para su devolución a la tierra y la retransmite a la estación terrestre receptora correspondiente. La trama está dividida en pequeños *slots* de tiempo, uno para cada una de las estaciones que transmiten; sin embargo, la que recibe lo hace con la trama completa.



5.10.7.6 Satellite Switched/Time Division Multiplexer Asynchronous

Este método es similar al anterior, pero a bordo del satélite existe un conmutador que redirecciona las señales, enviando cada estación transmisora al destinatario que corresponde. En este caso, que solamente es posible en pocos satélites, se permite comunicar entre sí varias estaciones terrestres según las ordenes de conmutación que el satélite reciba. La conmutación en el satélite es operada desde tierra, por una estación que controla el subsistema de comunicaciones.

5.10.8 Eco

Debido a que los satélites geoestacionarios están ubicados a 35.780 km de distancia de la tierra y que la velocidad de propagación de la luz es de 300.000 km/s, la señal electromagnética tiene un retraso de 0,12 segundos desde la Tierra hasta llegar al satélite. Por lo tanto, para un enlace simple de 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 por ello que es necesario usar **canceladores de eco**, con técnicas sofisticadas para evitar este tipo de inconvenientes. Las comunicaciones que tienen vías de transmisión y recepción diferentes, denominadas enlaces a cuatro hilos o **dúplex completo**, no presentan este tipo de inconvenientes.



5.11 Microondas

5.11.1 Definición y uso

Se entiende por un sistema de comunicaciones por microondas a: aquellos sistemas de telecomunicaciones que, trabajando en la banda de frecuencias ultra elevadas - UHF y aun mas altas, utilizan un haz radioeléctrico como si fuera un rayo de luz para establecer un enlace punto a punto entre dos estaciones transreceptoras. Ambas deben estar en una misma visual o, en su defecto, deben utilizar estaciones repetidoras intermedias.

La curvatura de la Tierra o la topografía del lugar limita el alcance del haz directo. De todos modos, la Tierra difracta las señales y estas pueden alcanzar distancias más allá del horizonte, es decir, fuera del alcance de la visión directa. En esos casos se dice que el enlace es del tipo transhorizonte. No obstante, empleando repetidores a distancias adecuadas se llega a obtener circuitos de varios miles de kilómetros.

El hecho de que los sistemas de microondas usen haces de frecuencia muy elevada permite que su capacidad sea elevada. De esta manera, mediante los procedimientos de multiplexar el ancho de banda de la señal se pueden transmitir, por un mismo haz, señales de velocidades muy elevadas.



5.11.2 Características generales

Los sistemas de microondas permiten establecer vínculos terrestres de telecomunicaciones, punto a punto, mediante haces longitudinales que conectan dos estaciones.

Los enlaces de muy largo alcance necesitan de varios saltos para cubrir la distancia total necesaria. 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 de comunicaciones que se realizan utilizando este medio son totalmente digitales y construidos con elementos activos de estado sólido.



5.11.2 Características generales

La instalación de sistemas de microondas requiere siempre la autorización de la **autoridad nacional** que en cada país regula el uso del espectro electromagnético.

Dado el uso intensivo que se efectúa de este tipo de medio, especialmente en las grandes ciudades, la cantidad de frecuencias disponibles es escasa.

La razón de que las antenas **se vean ópticamente** es un limitante provocado por la curvatura de la Tierra y esta directamente relacionado con la altura de las antenas. A medida que se aumenta la frecuencia de transmisión es necesario disminuir esta distancia a causa de la mayor atenuación que sufre la señal al propagarse.

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 fueron las primeras que se instalaron y tenían la finalidad de transmitir canales telefónicos y de televisión. Si bien ya no se fabrican mas, a la fecha existen aun algunas instalaciones con servicio de microondas 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

- Estaciones repetidoras pasivas: consiste en dos antenas parabólicas conectadas entre si, por su parte posterior, mediante un trozo de guía de onda. No se amplifica la señal recibida, por lo cual no son necesarias fuentes de alimentación para su operación. Por esa razón, este tipo de estación repetidora es la mas conveniente para ubicaciones geográficas de difícil acceso o expuestas a cambios rigurosos de clima. Existen también repetidoras pasivas planas, que son de mayor rendimiento y están constituidas por una lamina de aluminio de aproximadamente 1,20 m x 1,80 m.
- Estaciones repetidoras activas: están constituidas por dos antenas (receptora y transmisora) y, a diferencia de las pasivas, contienen, 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

Con el advenimiento de la transmisión de datos surgió la necesidad de adecuar las microondas a la transmisión de señales digitales. Para ello se utilizaron métodos de modulación adecuados para señales digitales, básicamente similares a los estudiados en esta obra bajo del nombre de **señales multinivel**.

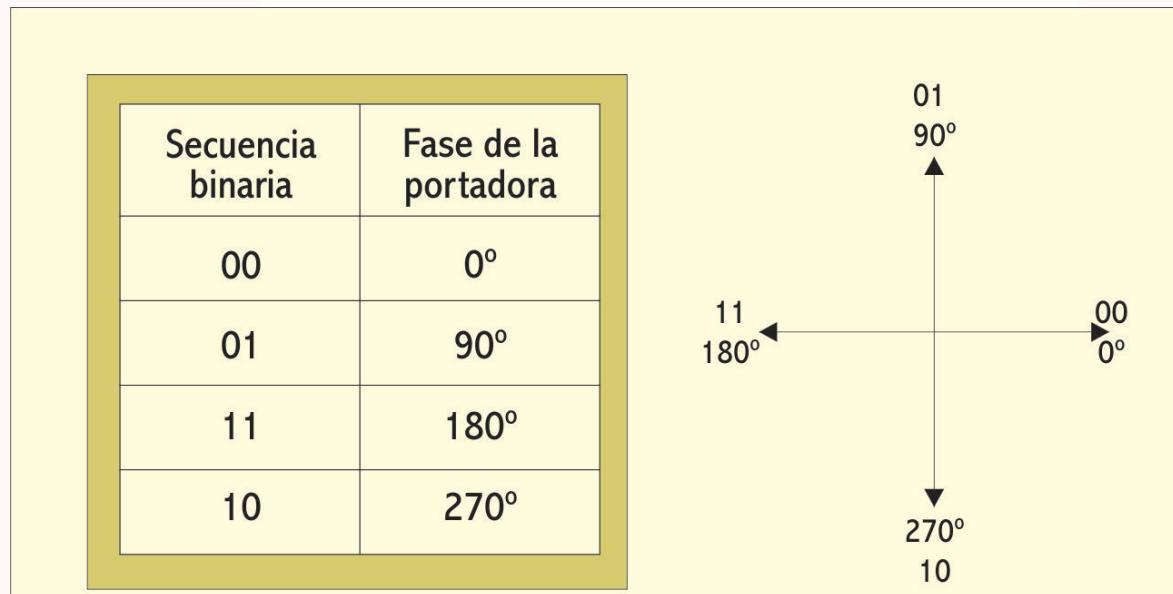
En la actualidad, la totalidad de los sistemas de microondas que se instalan son de características digitales.

5.11.4.2 Métodos de modulación para señales digitales

Los métodos de modulación para señales digitales son los siguientes: **2 PSK, 4 PSK, 8 PSK, 16 QAM y 64 QAM** y muy recientemente **128 QAM, 256 QAM y 512 QAM**.

5.11.4.3 Los métodos PSK y QAM

Los métodos PSK (*Phase Shift Keying*), denominados modulación por desplazamiento de fase, consisten en la 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 34 Mbps x2	100 Mbps 34 Mbps x3	140 Mbps 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



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

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

Las microondas digitales, como todo sistema de estas características, permiten la regeneración de los pulsos que son transmitidos por el sistema de comunicaciones.

La regeneración de la señal posibilita mayor tolerancia al ruido y a las interferencias, dado que en cada repetidora de microondas se regenera nuevamente la señal digital. Por ello, no se propagan las sucesivas adiciones de ruido y/o distorsión, como ocurre en los sistemas analógicos, en los cuales no es posible regenerar la señal sino solamente amplificarla.

5.11.5 Características de las antenas de microondas

Las antenas usadas en la transmisión de señales de microondas pueden ser clasificadas en **omnidireccionales**, en el caso en que las mismas irradién energía en todos los sentidos con igual intensidad, o **direccionales**, cuando la energía transmitida es concentrada en un delgado haz dirigido hacia la antena receptora.

Las primeras son usadas en muy pocos casos por las perdidas de potencia que implican. Se emplean generalmente cuando se trata de estaciones centrales que deben transmitir a otras ubicadas en distintas direcciones.

En la mayoría de los casos las antenas que se usan son del tipo direccional. De esta manera, se logran transmisiones con **muy baja potencia** al poder concentrar la mayor parte de la energía en un haz angosto. Este depende de las características particulares de las antenas que se instalen.



5.11.5 Características de las antenas de microondas

Las antenas direccionales parabólicas están construidas de manera que proporcionen una **ganancia** y una **directividad** muy alta. La misma se consigue mediante paráolas que concentran el haz de la señal transmitida. Mientras mayores sean sus dimensiones, más estrecho será el haz y mas intensa será la señal en la antena receptora. Sin embargo, las grandes antenas aumentan el costo del sistema, aunque proporcionan mayor seguridad de funcionamiento.

Están compuestas por dos partes principales: el **reflector** y el **alimentador** o también llamado el **elemento activo**. El alimentador es el que recibe la señal del transmisor a través de la guía de onda e irradia las ondas electromagnéticas hacia el reflector que las concentra, formando el haz. El reflector tiene la forma de un plato cuya curvatura esta dada por una curva de segundo grado que recibe el nombre de parábola; de allí su nombre de **reflector parabólico**.

Las grandes paráolas reflectoras deben instalarse en torres muy resistentes, no solo debido a su peso sino también a la mayor carga asignada por la presión del viento. En general, las mismas se calculan para vientos que pueden variar según las regiones de entre 200 y 260 km/h.



5.11.6 Equipo de reserva

En general, en todo sistema de microondas se instala un equipo de reserva para hacer que el sistema sea mas confiable. Estos sistemas se denominan **1 + 1**, dado que tienen un equipo operando y otro en reserva. En caso de fallar el equipo principal, el secundario o de reserva automáticamente lleva adelante la transmision.

Asimismo, con el equipo de reserva se facilitan las tareas de mantenimiento debido a que se pueden efectuar sin interrumpir el funcionamiento normal del sistema.



5.12 Guías de onda

5.12.1 Definición y uso

Se denomina guía de onda al medio de transmisión especialmente apto para conducir señales de longitudes de onda micrométrica, utilizada en los sistemas de comunicaciones que trabajan a frecuencias elevadas y que se emplean en distancias cortas, principalmente para efectuar la conexión entre la antena y los equipos transmisor y receptor.

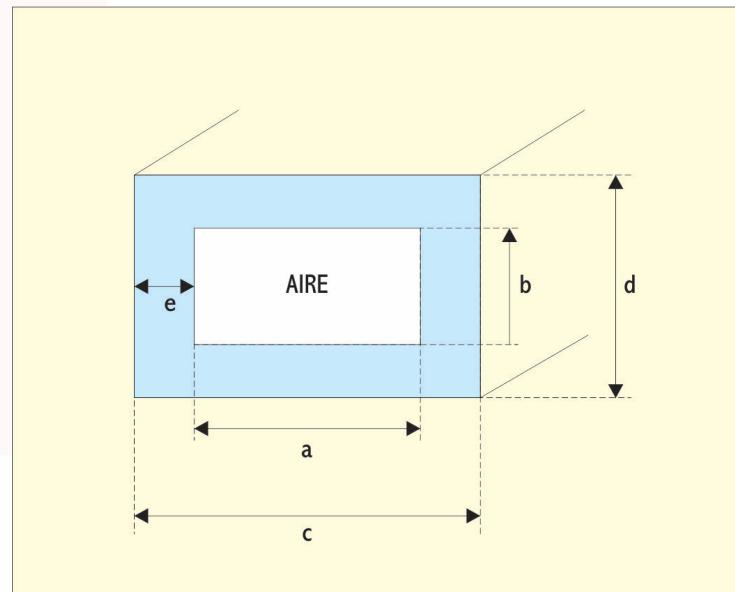
La propagación de las ondas electromagnéticas en frecuencias del **orden de varios GHz** no puede ser transmitida con pérdidas razonables por ningún tipo de cables de cobre, cualquiera sea la geometría de los mismos. Las razones que impiden su uso se deben principalmente a dos causas: por un lado, los cables **radian energía** y, por otro, esta tiende a circular solamente por la superficie de ellos en razón del denominado **efecto pelicular**.

Su uso está reservado a los diseñadores de los equipos electrónicos de transmisión y recepción de señales, que trabajan en las bandas de UHF y superiores, y son principalmente aptas para permitir la conexión de los transmisores y receptores con las antenas correspondientes.



5.12.2 Características generales

En general, las guías de onda están construidas en tubos huecos, de una longitud de 5 a 15 m de largo aproximadamente, y de secciones tales que permitan la propagación de las ondas electromagnéticas en su interior. Como sufren una atenuación en el interior de la guía, es conveniente reducir en todo lo que sea posible su longitud. Por otra parte, cabe destacar que las perdidas en las guías de onda aumentan rápidamente cuando disminuye la longitud de onda.





5.12.3 Aspectos técnicos

En las guías de onda, la transmisión de la energía no es efectuada por medio de las paredes de la guía sino a través de su dieléctrico, que normalmente es el aire adecuadamente tratado.

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

Por lo tanto, las leyes que rigen este tipo de transmisión están directamente relacionadas con las que se utilizan para describir el comportamiento de los campos eléctrico y magnético (Leyes de Maxwell y complementarias).

5.13 Láser

5.13.1 Definición y uso

Llamaremos **láser** a equipos de telecomunicaciones ópticos e inalámbricos que transmiten por medio de emisores que generan un haz de luz coherente (esta luz puede o no ser visible al ojo humano) que, convenientemente modulado, permite transmitir señales inteligentes entre dos puntos geográficos distantes.

Estos sistemas de comunicaciones inalámbricas son conocidos en la literatura técnica como **FSO** en el espacio libre u ópticos (sistemas) sin cables].

Su uso, si bien no está muy difundido, es de aplicación en casos muy puntuales como son los **enlaces punto a punto digitalizados** dentro de grandes ciudades a distancias visuales como soluciones para prestar el servicio de ultima milla o para interconectar **Redes de área Local**. Este medio de comunicación tiene un uso importante en sistemas militares en donde se pueden obtener los mayores alcances.

Su alcance está limitado por la distancia máxima de propagación del haz de luz, que puede llegar hasta valores próximos a la decena de kilómetros.



5.13.2 Características generales

El láser ha alcanzado un avance extraordinario en los últimos años, especialmente en el área de comunicaciones. Su uso en los sistemas de comunicaciones presenta una ventaja importante con respecto a las transmisiones de radio o microondas, y es **el gran ancho de banda disponible**.

Sus limitaciones mas severas están relacionadas con el comportamiento de la atmósfera por la que deben transmitirse sus emisiones. Cuando esta presenta turbulencias, se dificulta su propagación. Estas pueden ser producidas por fenómenos tales como niebla, lluvia, humedad, etc. En estos casos, pueden producirse serias limitaciones respecto a la cantidad de información a transmitir.

En el espacio, donde no existen las partículas atmosféricas que dificulten o limiten su propagación, el laser puede ser un medio de telecomunicaciones de muy alta eficacia. Actualmente, el mayor esfuerzo tecnológico se realiza buscando obtener procedimientos que permitan modular las señales de los **transmisores láser** mediante medios mecánicos o efectos electroópticos.

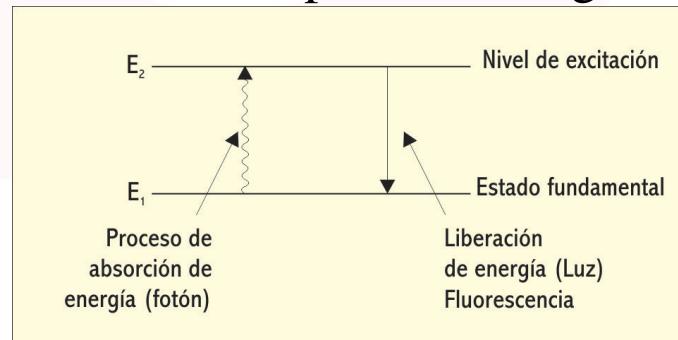


5.13.3 Principio de funcionamiento del láser

5.13.3.1 Fluorescencia

Supongamos un átomo en el estado de reposo, con una energía que denominaremos E_1 . Si recibe una cierta cantidad de energía ΔE , por ejemplo, por medio del bombardeo con un **fotón**, entonces, como resultado de un proceso de absorción de energía, cambiara su estado inicial, pasando a un nivel E_2 , denominado nivel de excitación.

El átomo en ese nivel de excitación es inestable, por lo cual al cabo de un corto tiempo regresa al estado de reposo inicial E_1 , emitiendo un **quantum** de energía que se materializa en la emisión de luz. A este proceso de emisión se lo denomina **fluorescencia** y su duración es de unos pocos milisegundos.





5.13.3.2 Emisión estimulada

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

El citado proceso consiste en la emisión de un **fotón** en forma de energía lumínica por parte del átomo, sin esperar el retorno de este al nivel $E1$ de reposo. Este es el principio fundamental de operación del **Láser o Máser**.

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

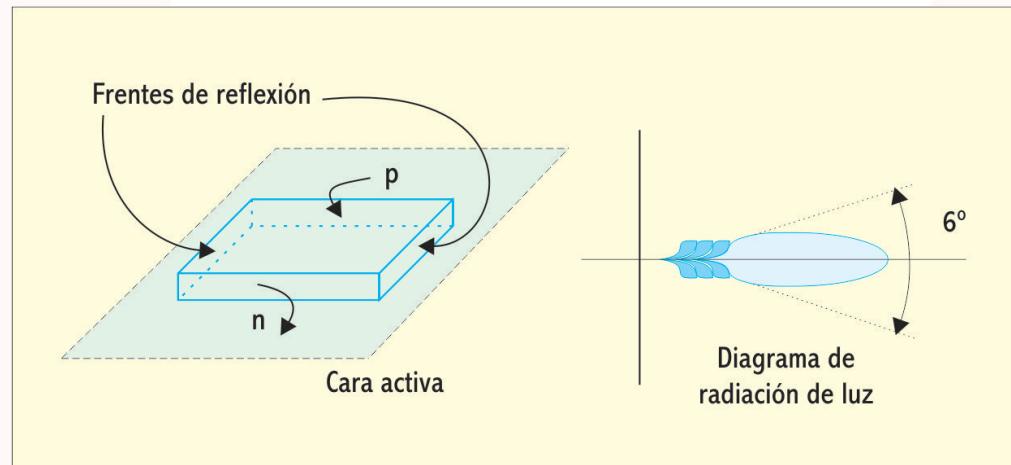
- El **láser gaseoso** utiliza mezclas de **helio** (elemento con numero atómico He - 2) y **neón** (elemento con numero atómico Ne - 10). Los mismos están contenidos en tubos de vidrio y trabajan al ser excitados por medio de descargas eléctricas en el gas.
- El **láser líquido** utiliza fluidos orgánicos estimulados por pulsaciones de luz de alta potencia.
- El **láser sólido** utiliza cristales, como es el caso del **rubí** excitado por lamparas especiales de filamentos construidos por **tungsteno** (elemento con numero atómico W - 74).
- El laser semiconductor esta construido por junturas $p - n$. La excitación se da por medio de una corriente eléctrica, que controla la cantidad de corriente en el medio activo. Este tipo de laser es fácil de modular y por lo tanto es muy útil en las aplicaciones relacionadas con los sistemas de telecomunicaciones.



5.13.5 Evolución futura del láser

Los equipos laser convencionales requieren una fuente de alta tensión para obtener los potenciales necesarios que **ionicen al gas** y permitan **lasear** al mismo.

Actualmente, se trabaja con laser constituido por semiconductores. Los mismos son sencillos, de pequeñas dimensiones y no requieren fuente de alta tensión.





5.13.6 Equipos de comunicaciones láser

5.13.6.1 Características generales

En la época actual, la demanda de intercambiar información a alta velocidad con gran ancho de banda disponible en el canal de comunicaciones es cada vez mayor. Los enlaces de comunicación por laser - FSO se presentan como una solución a estos requerimientos a los que se suma su facilidad de instalación y el uso de frecuencias no reguladas.

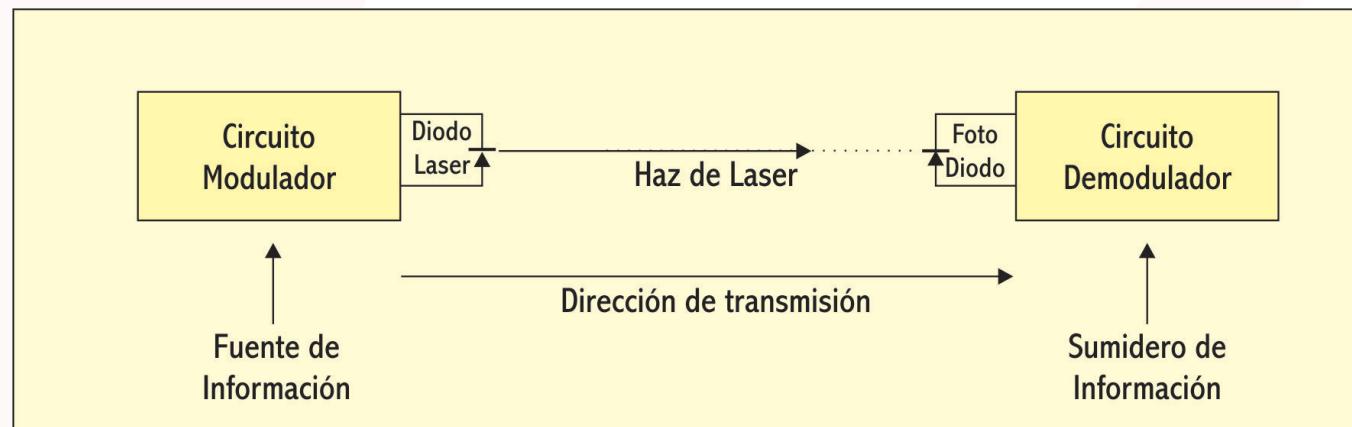
Existe una gran diferencia entre los equipos de uso comercial que se ofrecen en el mercado de las telecomunicaciones y otros desarrollos utilizados para fines militares exclusivamente. Mientras los primeros se ofrecen normalmente en alcances que van hasta los 5 km aproximadamente, los otros pueden pasar fácilmente los 10 km de distancia entre equipos terminales y operar enlazando, por ejemplo, dos buques en navegación.

Son muchas veces utilizados como soluciones transitorias mientras se desarrollan otro tipo de sistemas de comunicaciones que tengan un tiempo de instalación y puesta a punto mayor. También tienen la ventaja de que son inmunes a las interferencias electromagnéticas o radioeléctricas, aunque son afectados por la niebla, lluvia o nieve.



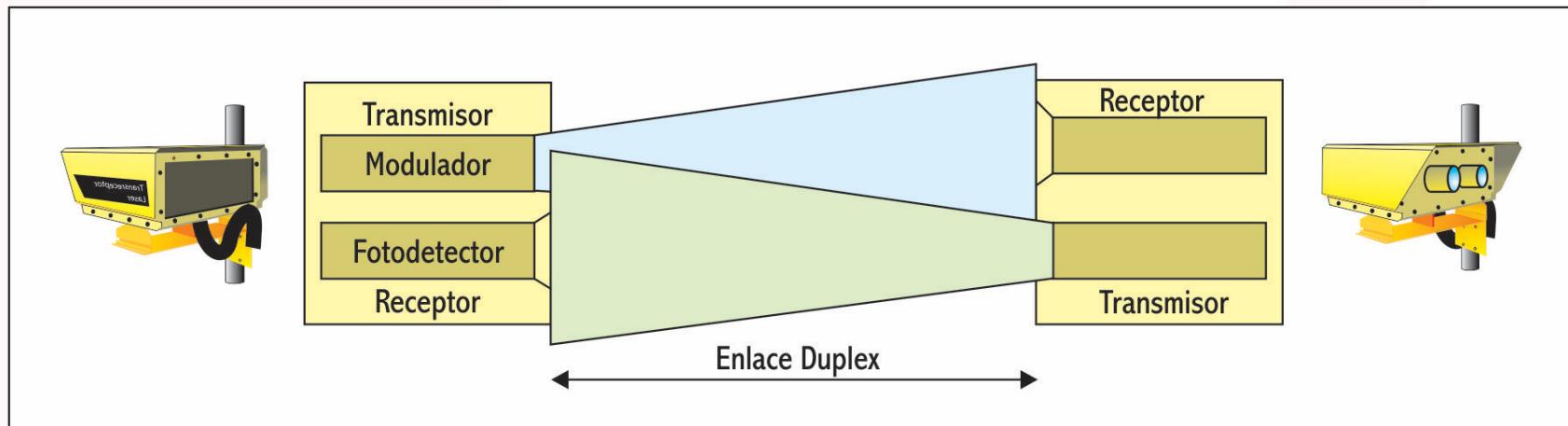
5.13.6.2 Estructura de un enlace

Un enlace entre dos puntos tiene la estructura que se puede observar en la figura. En un extremo hay un transmisor que puede utilizar longitudes de onda que pueden variar entre los 780, 850, 980, o 1550 nm ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$). Actualmente, también se pueden utilizar valores de hasta 10 micrones.





5.13.6.2 Estructura de un enlace



5.13.6.3 Características del equipamiento

En este medio de comunicaciones, la distancia entre los equipos terminales 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

La fibra óptica como medio de comunicaciones ha revolucionado el mundo de las telecomunicaciones al ofrecer un ancho de banda mucho mayor que todos los medios anteriormente conocidos, lo que ha permitido que las redes puedan mantener enlaces digitales a velocidades que ya alcanzan el orden de varios Tbps.

Este medio de comunicaciones puede ser definido como un fino hilo conductor de vidrio, o plástico, que permite transportar la luz, generalmente en la banda de los infrarrojos y por lo tanto no visible por el ojo humano; luz que, modulada convenientemente, permite transmitir señales inteligentes entre dos puntos a velocidades de muy altas, con tasa de errores muy bajas.



5.14.2 Uso

- Para construir enlaces troncales en **Redes de Área Extendida - WAN** de alta capacidad.
- Para sistemas de distribución en **Redes Urbanas** usando la tecnología que proporciona la multiplexación por medio de la **Jerarquía Digital Sincrónica**, mediante los denominados **anillos ópticos urbanos** (*Fiber in the Loop - FITL*).
- Redes de **Televisión por Cable - CATV**.
- En áreas geográficas con **alta radiación electromagnética**.
- En las instalaciones efectuadas por medio de cableado estructurado, en el cableado vertical y, en algunos casos, para unir puestos alejados de los equipos electrónicos usados.
- En los casos en que exista la probabilidad de condiciones atmosféricas desfavorables, en especial la posibilidad de que se produzcan tormentas eléctricas.
- En la instalación de cables submarinos.



5.14.3 Detalles constructivos de la fibra óptica

Las fibras ópticas están constituidas por dos capas: la central, denominada núcleo o core, y una periférica, llamada recubrimiento o clad. Cada una de estas capas está caracterizada por un índice de refracción. Este índice, en general, mide la relación entre la velocidad de la luz en el vacío respecto de la velocidad de propagación en un determinado medio considerado. El índice de refracción de la velocidad de la luz en el vacío es $n = 1$.

Por lo tanto, el núcleo tendrá un índice de refracción n_1 y el recubrimiento uno n_2 . Se demostrará, aplicando la llamada Ley de Snell, el principio de funcionamiento de las fibras ópticas. Esta ley explica las causas por las cuales la luz no se escapa del núcleo de la fibra por el que es conducida.

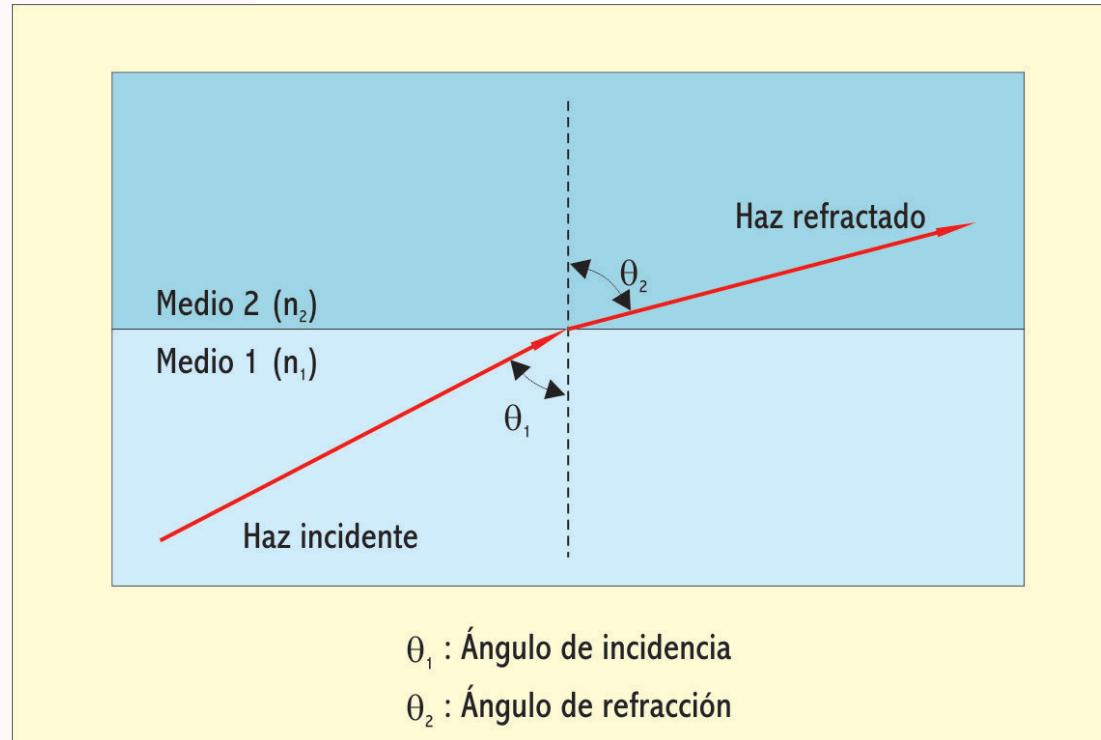
Se demostrará que el índice de refracción del núcleo debe ser mayor que el del recubrimiento y, además, que para obtener una perdida a través de la cubierta mínima, la relación entre ambos índices debe ser de alrededor del 1%.

La relación de diámetros entre el núcleo y el recubrimiento depende del tipo de fibra. En el caso particular de las denominadas fibras monomodo, el núcleo tiene aproximadamente un diámetro de $9 \mu\text{m}$, y el recubrimiento $125 \mu\text{m}$.

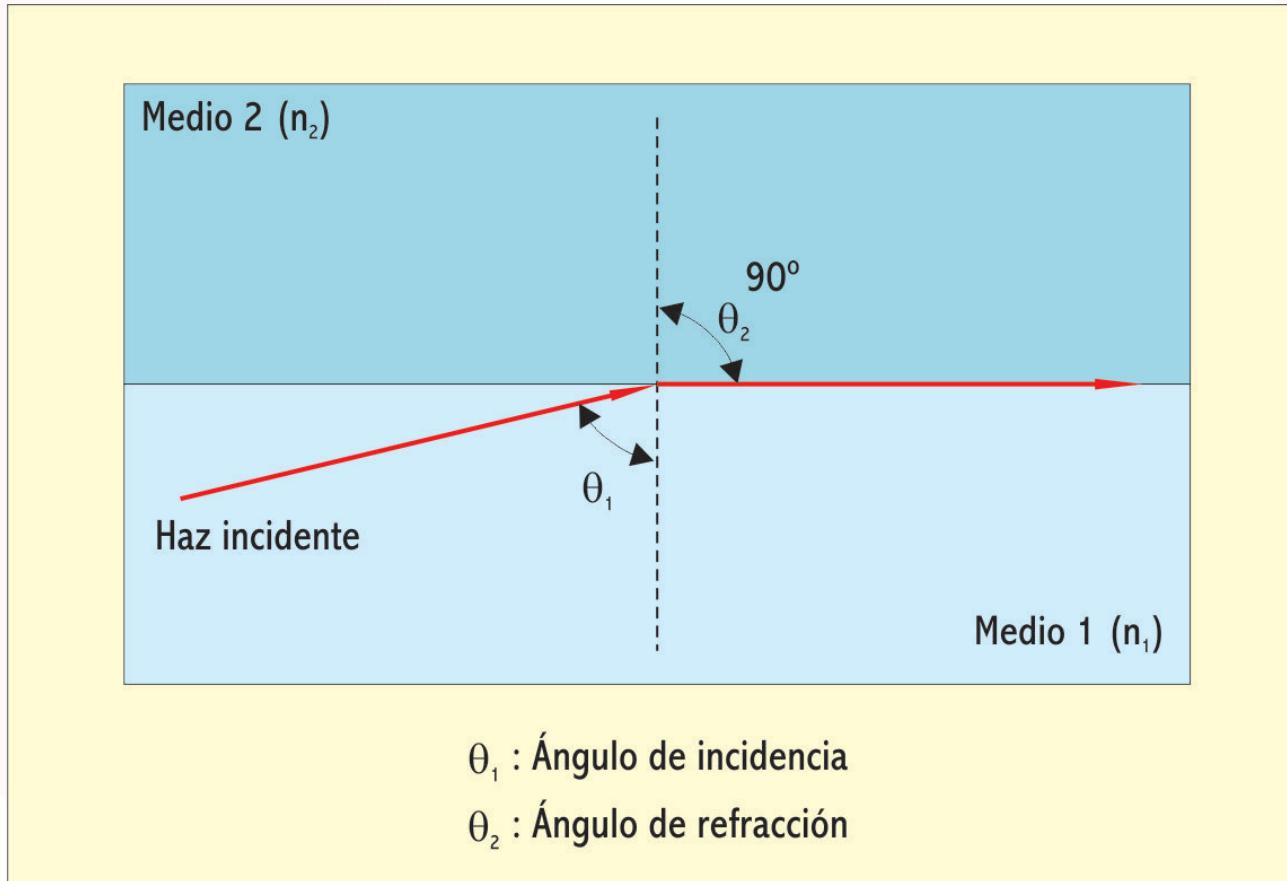
Por otro lado, en las fibras multimodo, el núcleo tiene aproximadamente un diámetro de entre 50 y $62,5 \mu\text{m}$ y el recubrimiento de $125 \mu\text{m}$ es el más utilizado.

5.14.4 Principios de funcionamiento

5.14.4.1 La propagación de la luz

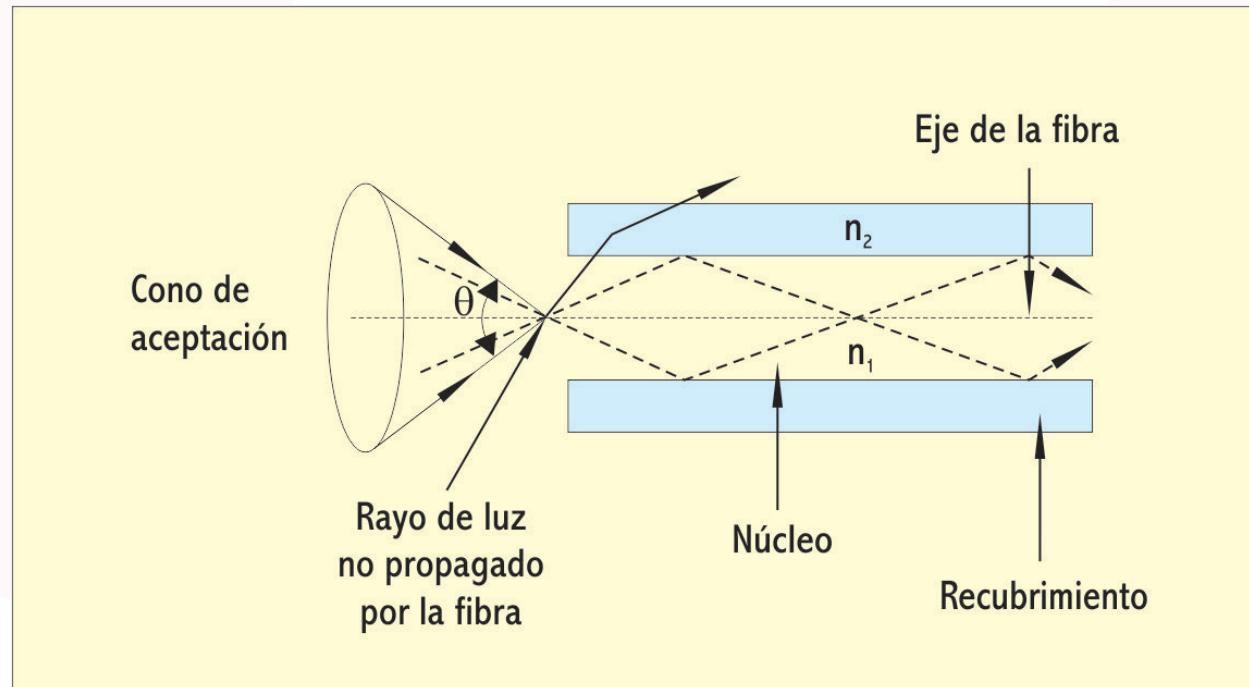


5.14.4.1 La propagación de la luz



5.14.4.2 Cono de aceptación

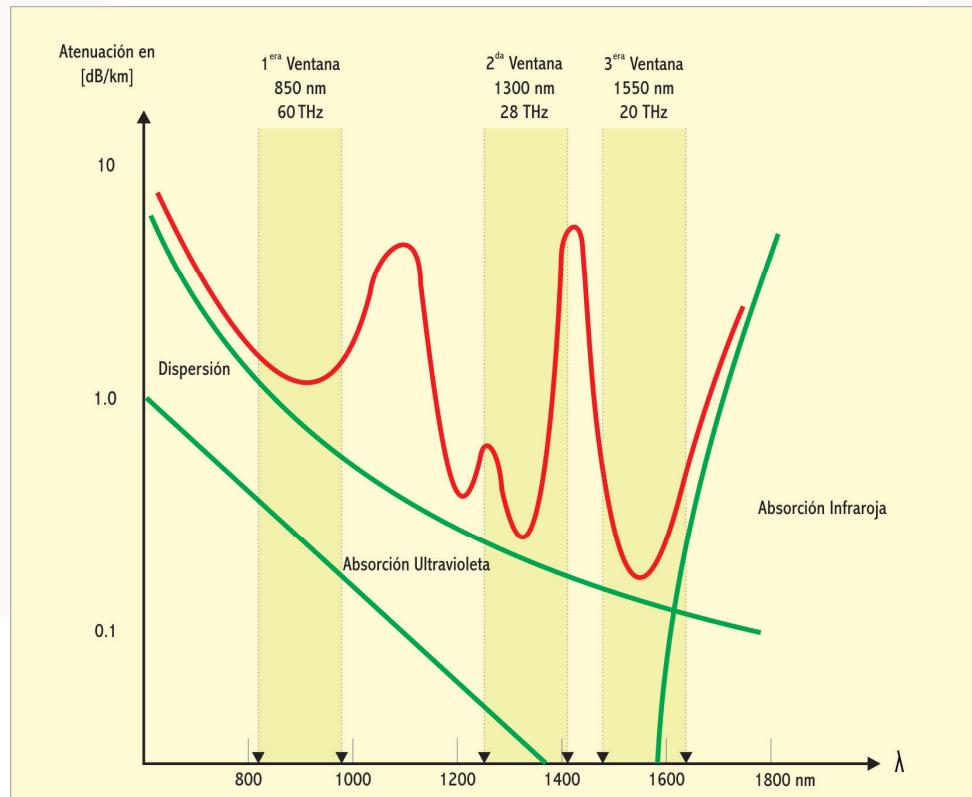
El cono de aceptación define un denominado θ ángulo de apertura. Este resulta ser función de los índices de refracción del núcleo y del revestimiento. Dicho ángulo es el formado por la dirección del núcleo de la fibra y una cualquiera de las generatrices del cono de aceptación.





5.14.4.3 Atenuación de la luz

El término atenuación se usa para medir la perdida de la potencia óptica de un haz de luz que viaja por la fibra, a similitud de la medida de las perdidas de potencia en los circuitos eléctricos. La atenuación de una fibra se mide en dB/km y es función de la longitud de onda. Existen ciertas longitudes de onda, denominadas ventanas, para las cuales la atenuación de la luz resulta mínima.





5.14.4.4 Ancho de banda de una fibra óptica

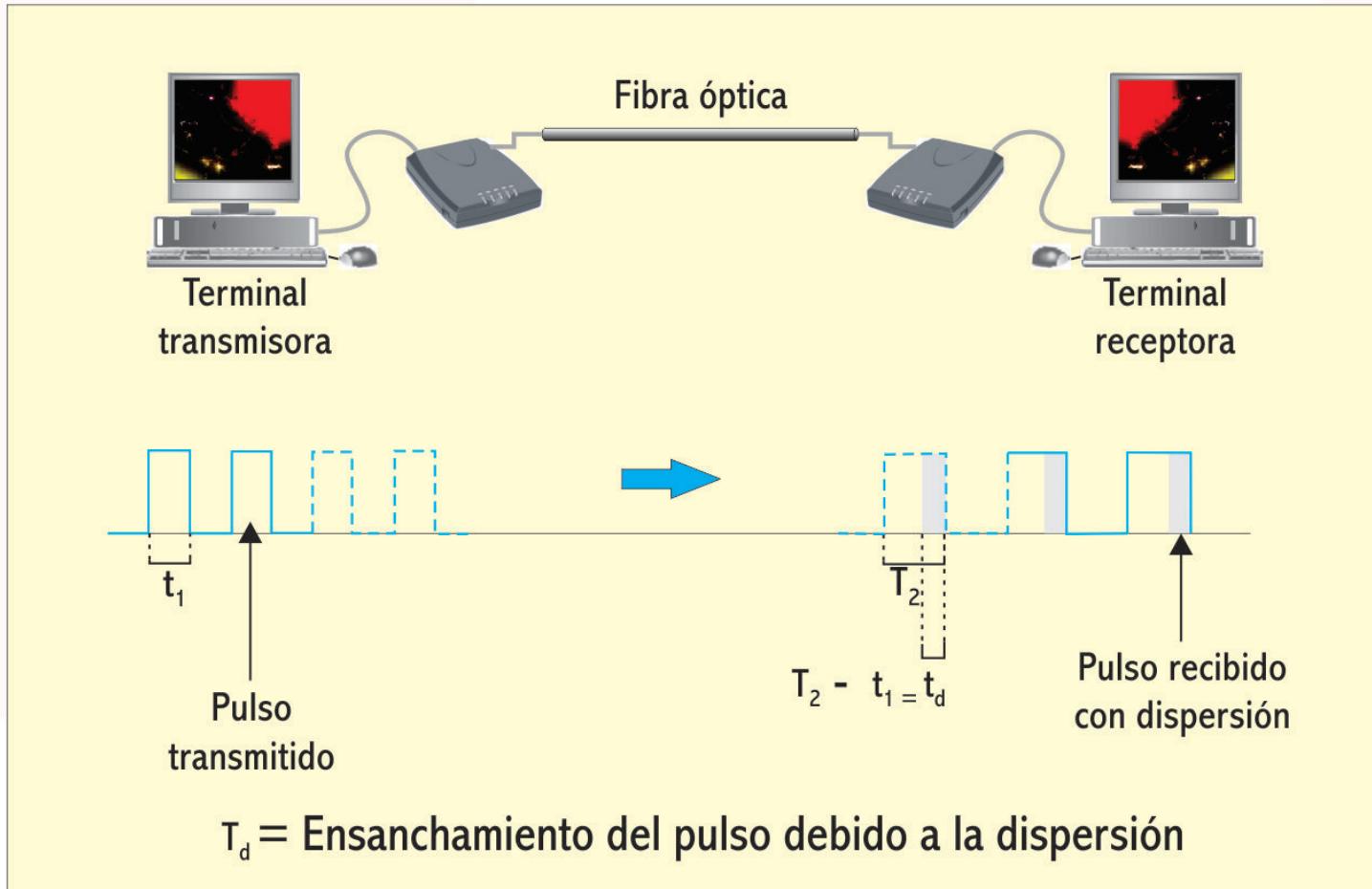
Los límites que definen el ancho de banda, en el caso de las fibras ópticas, nunca se expresan en frecuencia debido al tamaño del numero que resulta medido en Hertz. Se prefiere, casi siempre, expresarlos en longitudes de onda medidas en nanómetros.

Sin embargo, este ancho no puede ser utilizado en su totalidad, pues solamente se pueden tomar como utilizables los anchos de banda parciales correspondientes a cada una de las tres ventanas de mínima atenuación.

El ancho de banda disminuye a medida que nos alejamos de la fuente. Esto se debe a que se incrementa el efecto de un fenómeno conocido como dispersión de la luz, en particular en el caso ocasionado por la dispersión modal y cromática.

Dado que la dispersión se incrementa con la distancia, se expresa el ancho de banda en **GHz por kilómetro**, con la condición de que para un determinado valor no existan repetidores regenerativos en el medio del tramo considerado.

5.14.4.4 Ancho de banda de una fibra óptica



5.14.5 Tipos de fibra óptica

- Monomodo: las dimensiones del núcleo son comparables a la longitud de onda de la luz, por lo cual hay un solo modo de propagación y no existe dispersión.
- Multimodo: contiene varios modos de propagación y ocurre, en consecuencia, el efecto de dispersión.

A su vez, se subdividen en:

- **Índice Escalón:** tienen dispersión, reducido ancho de banda y *Step Index* de bajo costo dado que resultan tecnológicamente sencillas de producir.
- **Índice Gradual:** son más costosas pero de gran ancho de banda, *Graded Index*.



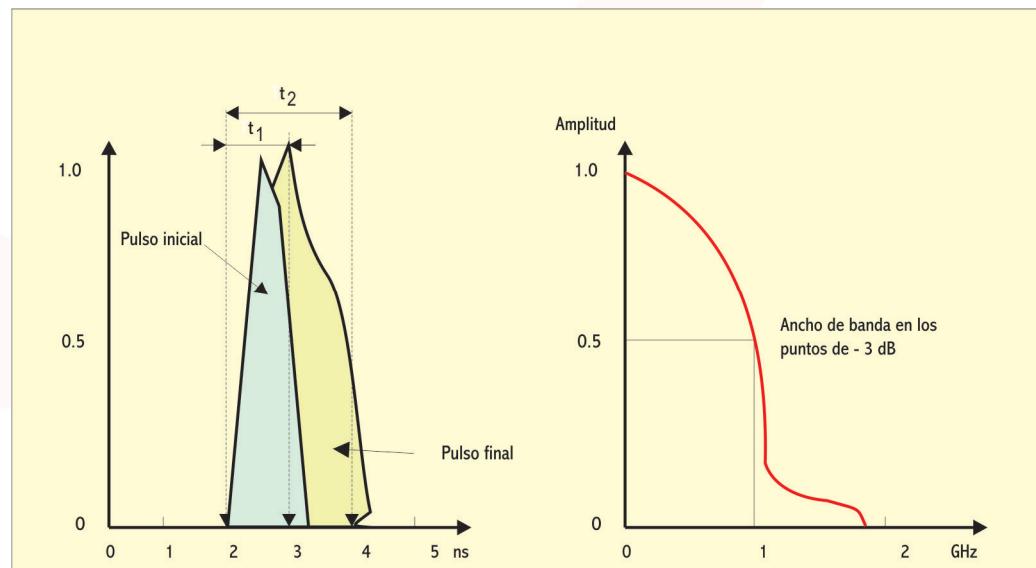
5.14.5 Tipos de fibra óptica

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

5.14.5 Tipos de fibra óptica

Se denomina dispersión del pulso de luz al proceso por el cual un pulso se ensancha a medida que se propaga por la fibra. Dicho ensanchamiento se debe a que en el extremo final de la fibra los rayos de luz llegan con tiempos de arribo diferentes, conformando en consecuencia un pulso mas ancho que el que originalmente salió del otro extremo de la fibra.

Este proceso limita la cantidad de información a transmitir y en consecuencia se dice que limita el ancho de banda de la fibra. Es por ello que existe una 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 en las fibras ópticas se pueden ver materializadas en una disminución en la **potencia de luz** en el extremo receptor. Dicha disminución de potencia origina una **reducción en el ancho de banda** del sistema. Esta reducción obliga a bajar la velocidad de transmisión usada para conectar a la fuente con el colector, tanto como sea la disminución del ancho de banda.

Sin embargo, debe destacarse que de todos los medios físicos de comunicaciones utilizados, las fibras ópticas son las que presentan las menores perdidas a iguales distancias a cubrir con el enlace. Como ejemplo de lo señalado, se puede decir que en este tipo de medio de comunicaciones se pueden obtener atenuaciones del orden de **0,2 dB/km** para fibras monomodo, lo que ha permitido que a la fecha existan enlaces que ya trabajan a velocidades de transmisión del orden de **varios Gbps**.



5.14.6.2 Pérdidas por dispersión modal

Esta pérdida es normalmente la de mayor importancia. Se presenta en las fibras multimodo a causa de la diferencia en los tiempos de propagación de los rayos de luz (modos), dado que cada uno de ellos toma diferentes caminos y por lo tanto arriban en diferentes instantes.

Esto origina que el pulso se ensanche en el extremo receptor respecto del ancho con el que fue generado en el extremo transmisor. En consecuencia, la perdida de amplitud del pulso transmitido origina un ensanchamiento en el pulso recibido, obviamente de menor amplitud.

5.14.6.3 Pérdidas por dispersión cromática

Se produce en los casos en que el emisor no genera luz monocromática, como es el caso del LED, cuyas características se analizaran oportunamente.

Tal como se indica anteriormente, el índice de refracción depende de la longitud de onda y, por lo tanto, al emitirse desde una fuente cromática diferentes longitudes de onda, viajarán a velocidades diferentes, produciendo en el receptor un ensanchamiento del pulso y una consecuente disminución de su amplitud. Cabe destacar que este es mucho menor que el producido por la dispersión modal.



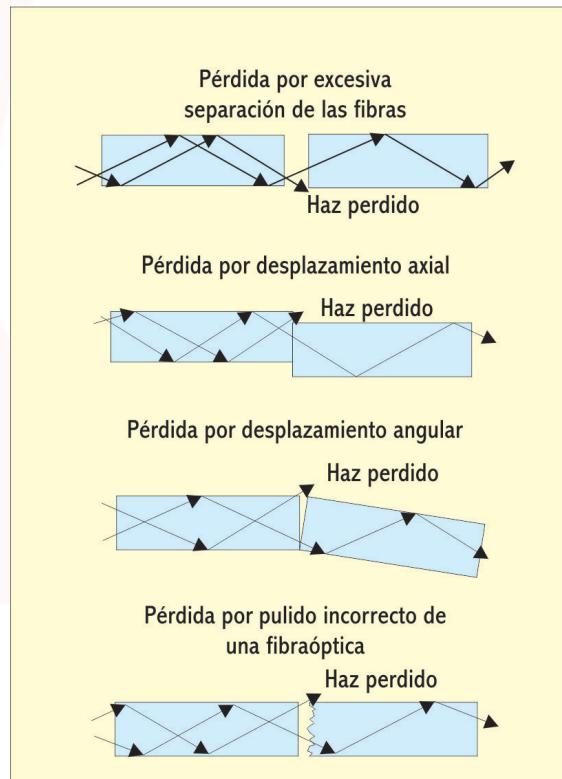
5.14.6.4 Pérdidas por absorción y radiación

Estas pérdidas son las producidas por la forma en que se construyen las fibras ópticas. En particular, las perdidas por absorción se producen por las impurezas que es necesario incorporar al **silicio** (elemento cuyo numero atómico es el 14) para obtener índices de refracción diferentes entre el núcleo y el recubrimiento. Estas impurezas absorben la luz y la transforman en calor.

A su vez, al construir las fibras se producen siempre imperfecciones tales como pequeños dobleces, discontinuidades, etc. Las mismas originan radiaciones indeseadas que disminuyen la potencia al final de toda la transmision.

5.14.6.5 Pérdidas por acoplamiento

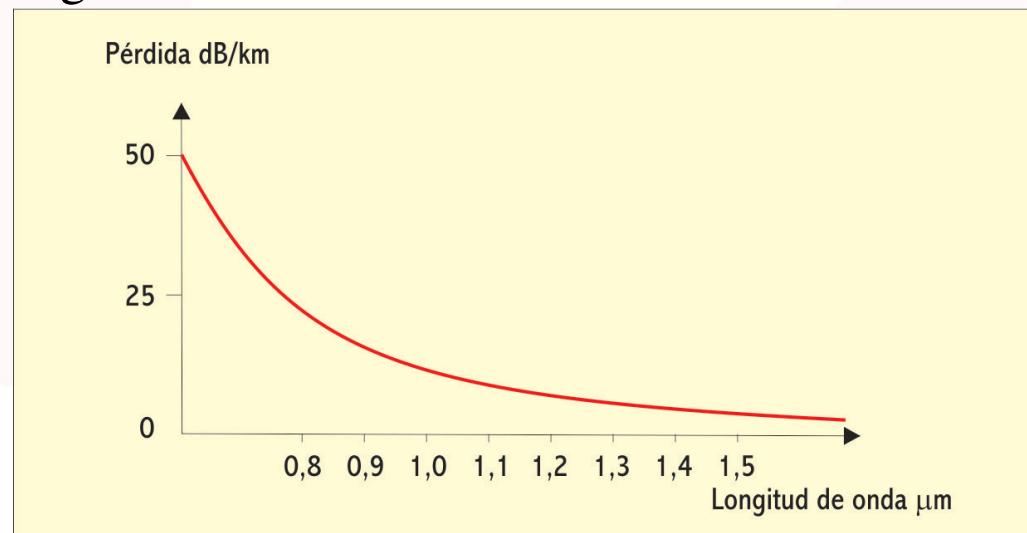
Las pérdidas por acoplamiento se producen en cualquier tipo de fibra por desacoplamientos entre las distintas partes que componen el circuito óptico: transmisor/fibra, fibra/fibra y fibra/receptor.



5.14.6.6 Pérdidas por dispersión de Rayleigh

En la construcción de las fibras ópticas, se trabaja el silicio en un estado intermedio entre **líquido** y **sólido**, comúnmente denominado **estado plástico**.

Al solidificarse el estado plástico, se producen inevitablemente **irregularidades submicroscópicas** que permanecen en ella. Estas originan, al recibir un rayo de luz, un fenómeno indeseado de **difracción**, que se denomina **pérdidas de Rayleigh** en honor de este importante investigador, que fue el primero en estudiar estos fenómenos en forma genérica.





5.14.7 Cables ópticos mono y multifibra

Para poder manipular la fibra óptica sin inconvenientes es necesario protegerla e incorporarla a una estructura que asegure la invariabilidad de sus características ópticas y mecánicas y que, en algunos casos, permita su tendido. Tendremos así un cable óptico. Cuando un cable óptico se construye con varias fibras, el mismo recibe el nombre de **cable óptico multifibra**.

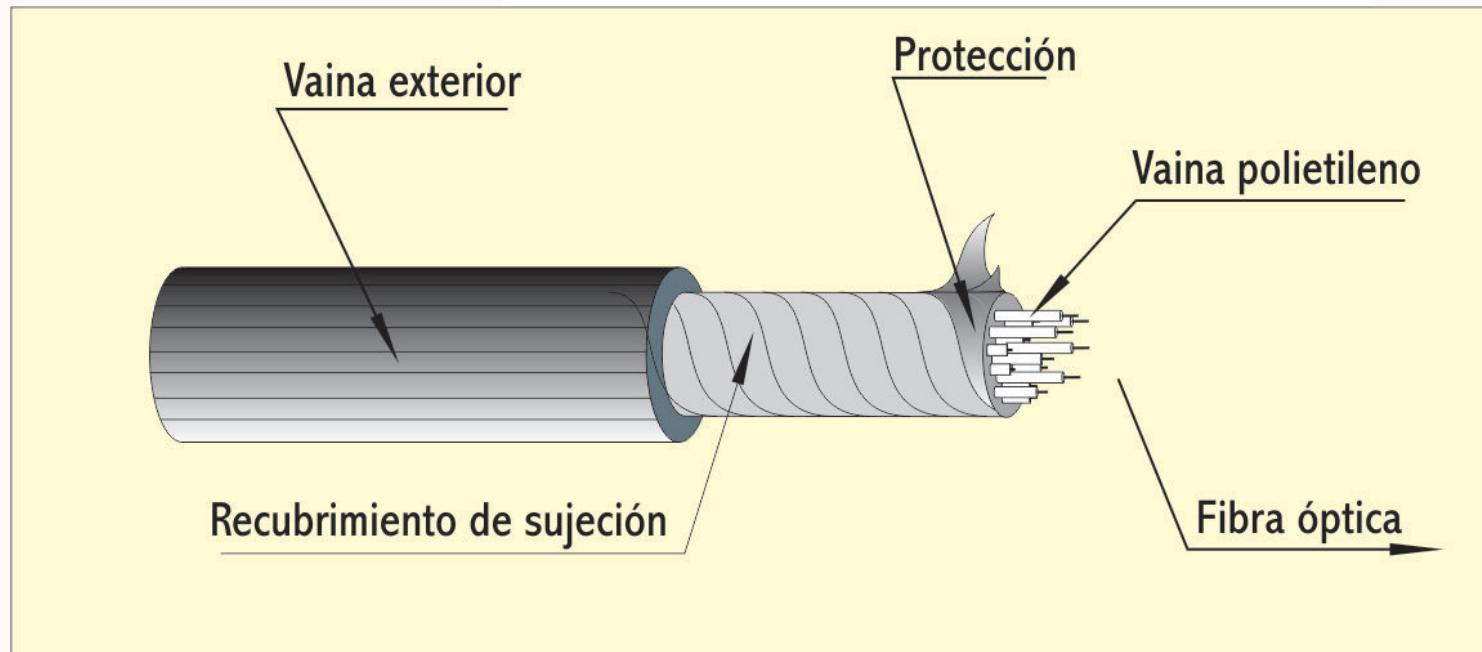
En la actualidad, todos los cables que se fabrican son multifibra. Los cables ópticos pueden presentar numerosas configuraciones en función del tipo de empleo.

La cantidad, el tipo de fibras, la complejidad de la protección con que se recubren, y otros elementos que pueden contener para dar solidez al cable, tales como alambres y/o cuerdas de acero, hilados sintéticos, fibras de vidrio, etc., o cables tensores de acero para facilitar su tendido, varían según sea la red en la que los mismos van a ser instalados.

En general, se construyen cables ópticos multifibra especialmente diseñados para su tendido en edificios por ductos y para instalaciones aéreas, subterráneas o submarinas.



5.14.7 Cables ópticos mono y multifibra





5.14.8 Sistema optoelectrónico

5.14.8.1 Definición de sistema optoelectrónico

Se denomina sistema optoelectrónico a la combinación de los diversos componentes necesarios para formar un sistema de comunicación que usan las fibras ópticas como medio de transmisión.

En este tipo de sistema, la inteligencia o información se transmite mediante pulsos de luz que viajan por la fibra óptica. Para transmitir la información mediante el uso de luz es necesario disponer de emisores de luz denominados por LED y laser que transforman una señal eléctrica en fotones, los cuales viajan por la fibra.

En el otro extremo del vínculo, para poder detectar esa luz, se usan fotodetectores denominados APD, PIN contracción inglesa de Foto Detector; y PIN/FET, contracción inglesa de Foto Detector y Transistor por Efecto de Campo, que convierten los fotones en electrones.

Debido a que hasta ahora la transmisión de la información se realizaba mediante un vínculo eléctrico, existe una gama de equipos transductores que convierten voz, video, datos, etc., en señales eléctricas.

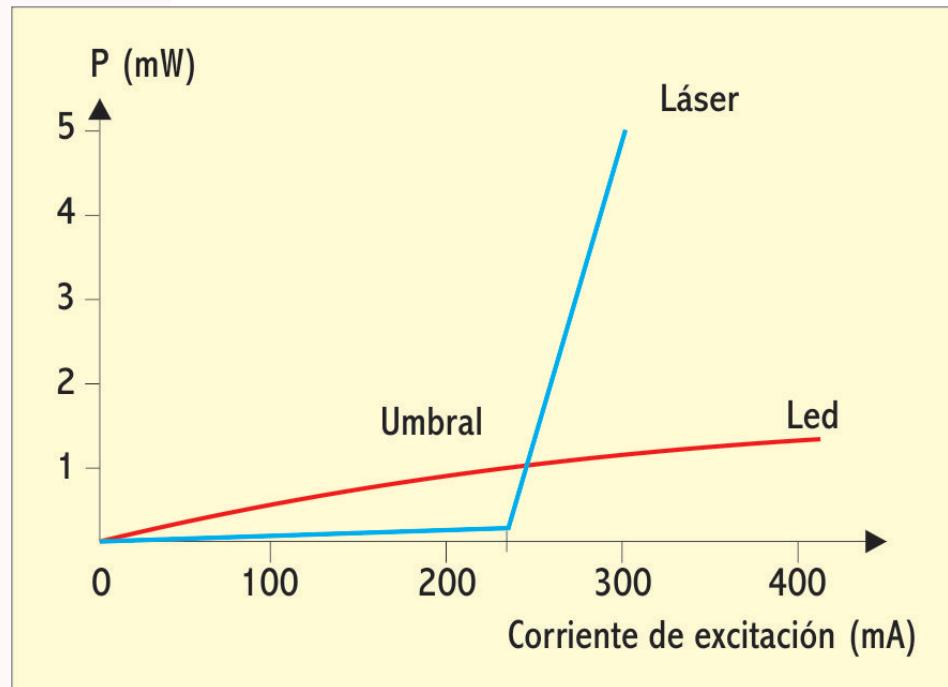
Para realizar una transmisión de señales mediante fibra óptica debemos agregar nuevamente esos equipos conversores de señales eléctricas a luz en la parte transmisora y aquellos que realizan la conversión de luz a señales eléctricas en la parte receptora.



5.14.8.2 Emisores de luz LED y LASER

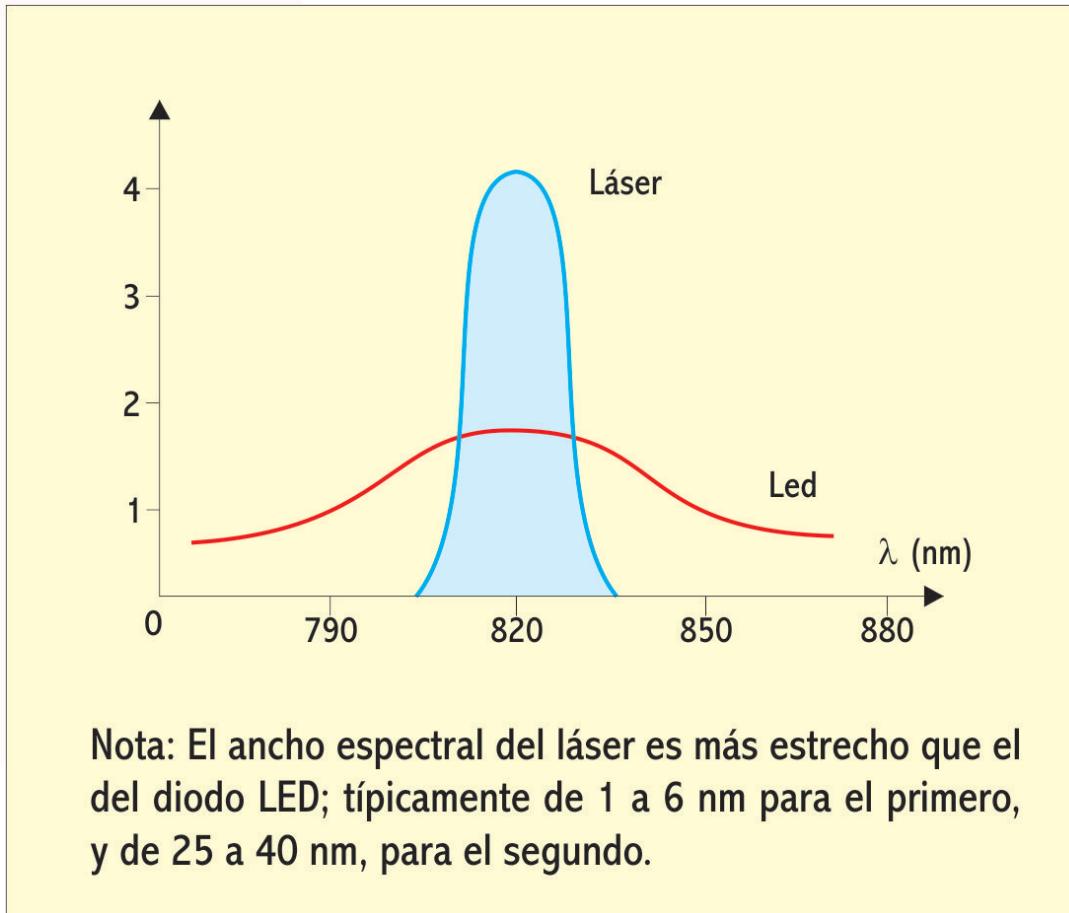
Característica técnica	LED	LASER
Tipo de luz emitida	Incoherente	Coherente
Potencia óptima emitida	Baja (Fig. 5 - 49)	Alta (Fig. 5 - 49)
Potencia frente a longitud de onda. (Ancho espectral)	Grande (Fig. 5 - 50)	Pequeño (Fig. 5 - 50)
Direccionamiento de la luz	Menor	Mayor
Tiempo de crecimiento Tiempo 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

5.14.8.2 Emisores de luz LED y LASER



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

Los detectores de luz son semiconductores de estado sólido que poseen una juntura **P - N**, la cual 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: Es el numero de electrones que son generados por efecto cuántico al incidir un cierto numero de fotones recibidos por un detector.
- Corriente de perdida: Es la corriente que circula a través de la juntura sin la presencia de luz incidente.
- Potencia de ruido equivalente - PRE: Es la mínima señal que es posible detectar.
- Ruido cuántico: Es el ruido debido al fenómeno de conversión fotón/electrón; resulta una función de la potencia óptica incidente.
- Tiempo de crecimiento *rise time*: Es el tiempo que tarda la señal para crecer desde el 10% hasta el 90% de su valor final. Es denominado, también, tiempo de respuesta.



5.14.8.6 Características del receptor

El receptor optoelectrónico esta conformado básicamente por un elemento fotodetector que puede ser de algunos de los tipos ya descriptos, es decir **PIN**, **APD** o **PIN/FET**, seguido a continuación por una o mas etapas amplificadoras.

Dado que el rango del nivel de entrada esta limitado por el fotodetector, hay una potencia mínima que representa la menor señal detectable y una potencia máxima sobre la cual se satura el receptor.

La mínima señal detectable es un dato importante para el diseño del sistema, dado que permite determinar la longitud máxima de la fibra óptica que se puede usar sin emplear repetidores. Los receptores pueden ser diseñados para trabajar con señales analógicas o digitales.



5.14.8.7 Elementos accesorios en una instalación optoelectrónica

Las instalaciones optoelectrónicas, aparte del transmisor, del receptor y la de fibra óptica, necesitarán en general de los siguientes elementos accesorios:

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



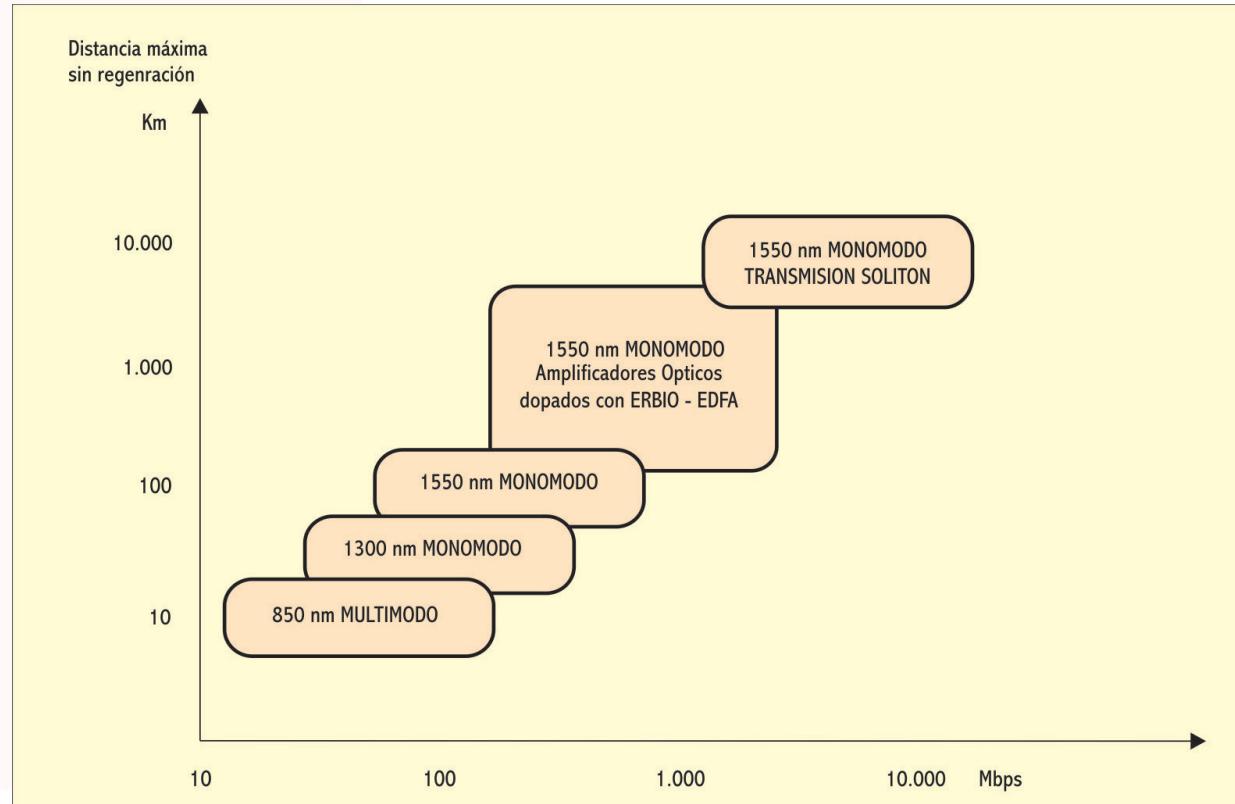
5.14.8.8 Repetidores

Dado que la señal óptica es atenuada por la fibra, se necesita la instalación de repetidores en sistemas de larga distancia.

La función del repetidor es diferente según se trate de un repetidor digital o analógico:

- Repetidor analógico: detecta, amplifica y retransmite la señal. El ruido generado por los componentes del repetidor tiende a degradar la calidad de la señal, lo que introduce en consecuencia un límite al número y ubicación de los repetidores que se pueden usar en el sistema si se quiere mantener la calidad de la transmisión.
- Repetidor digital: cuando el sistema está diseñado para la transmisión de señales digitales, los repetidores regeneran la señal digital original, sin introducir de esta manera ninguna limitación al número de repetidores (regeneradores) y en consecuencia a la longitud del vínculo.

5.14.8.8 Repetidores





5.14.8.9 Empalmes

Son interconexiones permanentes entre fibras ópticas; es importante que su núcleo este correctamente alineado con las zonas activas del emisor y del receptor.

Existen dos tipos de técnicas para el empalme:

- Empalme por fusión: consiste en unir fibras y calentarlas hasta que se obtenga el punto de fusión; las perdidas obtenidas son del orden de $0,2 \text{ dB}$.
- Empalme mecánico: consiste en unir las fibras cuyos extremos están bien cortados y limpios, permitiendo el pasaje de luz de una fibra a otra. Las pérdidas son del orden de $0,5 \text{ dB}$ por empalme, aproximadamente.



5.14.8.10 Conectores

Son interconexiones desconectables. Generalmente, las perdidas que se producen en las conexiones se deben a desplazamientos laterales de los ejes de las fibras.

Para obtener una unión correcta y de bajas perdidas, las superficies de las fibras deben ser planas y estar enfrentadas entre si en forma paralela.

Los conectores se utilizan en general para acoplar las fibras con el transmisor o con el receptor. La conexión entre fibras también es posible con el uso de los **conectores a tope**.

Mediante el acoplamiento a tope de ambas fibras, cuyos extremos deben estar perfectamente cortados y limpios, se logra disminuir la perdida introducida por el conector a aproximadamente 0,5 dB.

Otro tipo de conectores es el que utiliza lentes colimadores. Esta técnica disminuye la posibilidad de degradación dado que, en caso de rayarse la superficie de la lente, no es tan critico como que se produzca una ralladura en la superficie de la fibra.

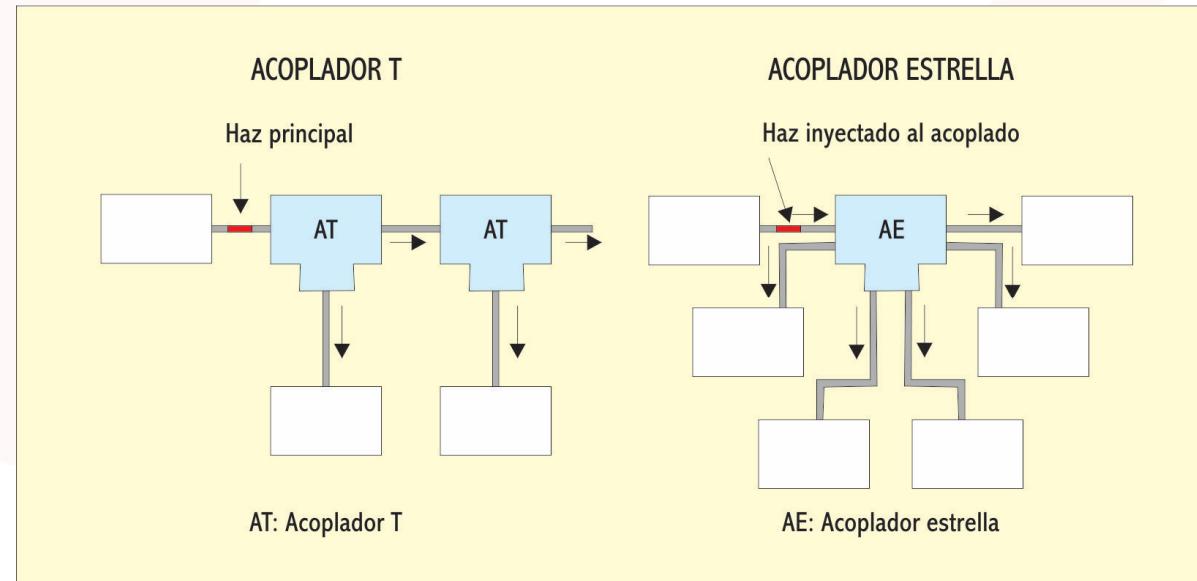
Con lentes colimadores las pérdidas obtenidas son del orden de 1 dB.

5.14.8.11 Acopladores

Son elementos que permiten distribuir la luz que circula por una fibra entre varias otras.

Existen dos tipos de acopladores, denominados:

- 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 fibras ópticas se emplean en la mayoría de los enlaces de telecomunicaciones. No obstante, las formas mas utilizadas son las siguientes:

- Fibra oscura.
- En enlaces WDM/DWDM/CWDM.

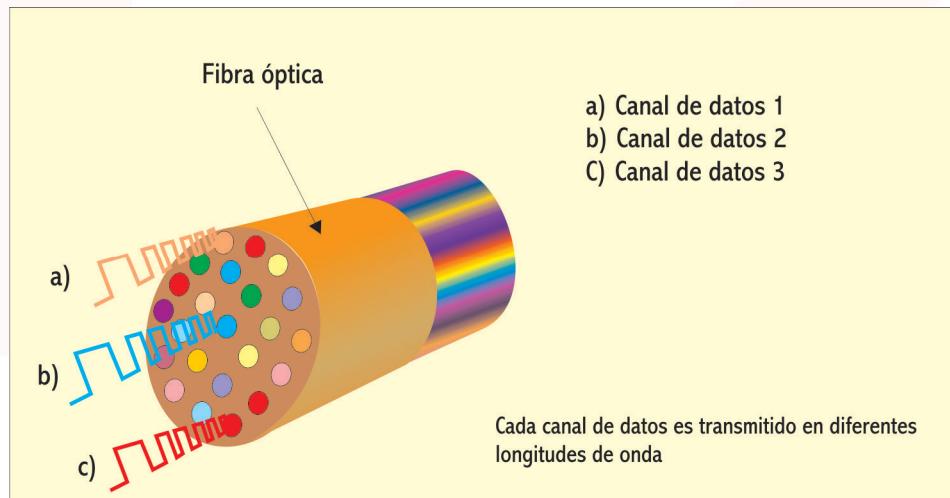
5.14.9.2 Fibra oscura

Se denomina fibra oscura a las que, siendo parte de circuitos desplegados por los operadores de servicios de telecomunicaciones, no están siendo utilizadas momentáneamente. La denominación de fibra oscura deriva del hecho de que no se están transmitiendo pulsos de luz por la misma.

5.14.9.3 Fibras con tecnología WDM, DWDM y CWDM

Actualmente, la tecnología de fibras ópticas y sus sistemas asociados ha permitido aumentar aun mas el ancho de banda disponible en los enlaces de fibra óptica.

Un método para incrementar el ancho de banda de los enlaces de fibra óptica en los sistemas de comunicaciones es el empleo de la multiplexación por longitud de onda. Esta técnica se basa en la transmisión de múltiples señales en diferentes longitudes de onda a través de una sola fibra. De esta forma, cada señal se modula en un **único color** dentro del espectro utilizado para la transmisión.





5.14.9.4 Características de estas tecnologías

Estas tecnologías son una solución ideal para enlazar rutas críticas con un alto potencial de crecimiento que tienen necesidades inmediatas y crecientes de mayor ancho de banda.

Las mismas tienen las siguientes ventajas:

- Permiten incrementar la capacidad de las fibras ópticas existentes.
- Disminuyen el numero 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

Un cable submarino de fibra óptica es un medio de comunicaciones que, tendido por el fondo de un lecho marino, permite conectar dos o mas puntos ubicados sobre la superficie terrestre con grandes anchos de banda.

El cable esta constituido principalmente por un núcleo alrededor del cual se encuentran un numero importante de fibras, generalmente de tecnología DWDM.

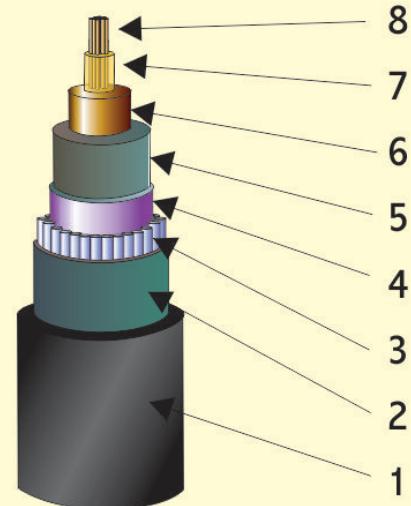
Le sigue una capa de polietileno, la cual actúa como aislante para prevenir la abrasión y la penetración del agua o hidrogeno en las fibras.

Después se tiene un tubo de cobre, el cual es utilizado para conducir la corriente eléctrica que alimenta los repetidores o para inyectar corriente de bajo voltaje para monitorear desde las bases el estado de los sistemas y localizar cables rotos.

También tiene una capa de alambre de acero, el cual forma una especie de armazón que le da mayor resistencia a las quebraduras producidas por la pesca de arrastre, la presión del agua y las mordidas de tiburones. Por ultimo, se cubre el cable con otra 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: Se usa para el cableado de poca profundidad (de 0 hasta 1500 m). Dado que a estas profundidades es donde están los principales factores de riesgo de los cables submarinos, como son la pesca de arrastre y los tiburones, se le asignan al cable altos niveles de protección.
- Cable ligero: Se usa para las grandes profundidades (0 a 7000 m). Esta menos protegido que el cable armado.

5.15.3 Elementos accesorios del cables

5.15.3.1 Repetidores

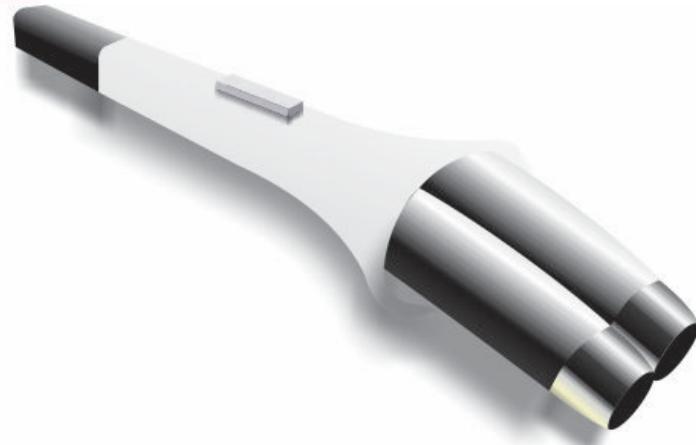
Posibilitan la amplificación de la señal óptica, la cual se atenúa a medida que se aleja de la fuente. Los repetidores son elementos activos que necesitan alimentación. Esta se provee a través del tubo de cobre del cable y el circuito se cierra usando la tierra oceánica.





5.15.3.2 Derivados de ramales

Su principal función es derivar cable de fibra óptica desde el tramo principal hacia los ramales. En la figura el cable principal esta conformado por cuatro pares de fibra óptica y a través del derivador un par de fibra es desviado hacia el destino de la información que viaja por el cable submarino.



5.15.3.3 Cajas de empalme

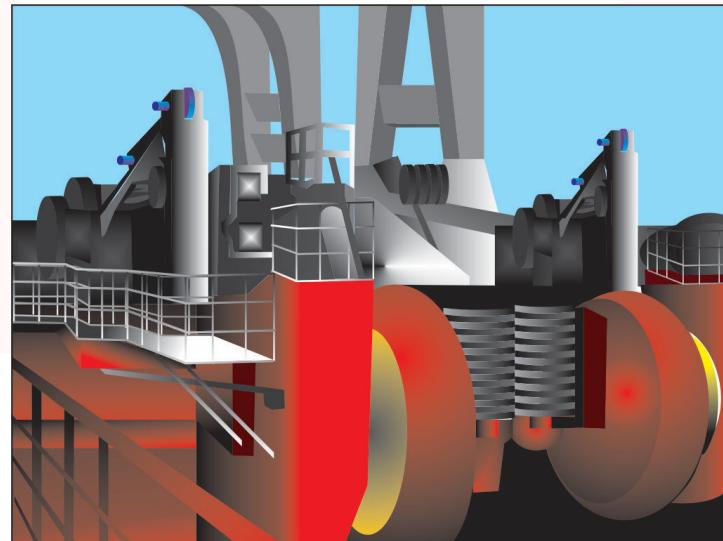
Permiten unir diferentes cables de fibra (cables con diferentes protecciones), incluyendo el conductor de corriente y la protección. La caja de empalmes hace la transición entre un tipo de cable y otro, situación que se produce en cables extensos que deben estar instalados a diferentes profundidades. Como se explico anteriormente, a medida que la profundidad es menor las exigencias relativas a la protección del cable aumentan.

5.15.4 Proceso de instalación del cable submarino

El proceso de instalación del cable submarino es muy complejo y tiene un alto costo; también es importante el mantenimiento dado que estos cables deben soportar constantes amenazas como son: las corrientes submarinas, terremotos, anclas y las redes de arrastre.

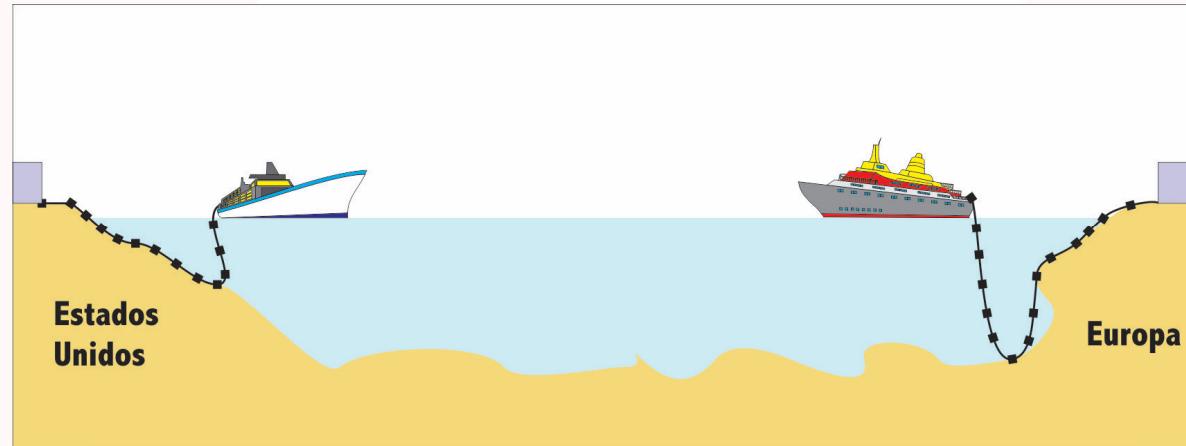
No obstante, esta inversión inicial, que es elevada, se compensa por el gran ancho de banda que brinda y los años de servicio o vida útil, la cual es muy superior a la de los satélites geoestacionarios de comunicaciones. El cable y los repetidores son elementos muy caros y el tendido lo realizan barcos especiales en una operación controlada por computadores.

Los cables son sometidos en fabrica a exámenes exhaustivos antes de ser cargados a bordo del barco para su tendido.



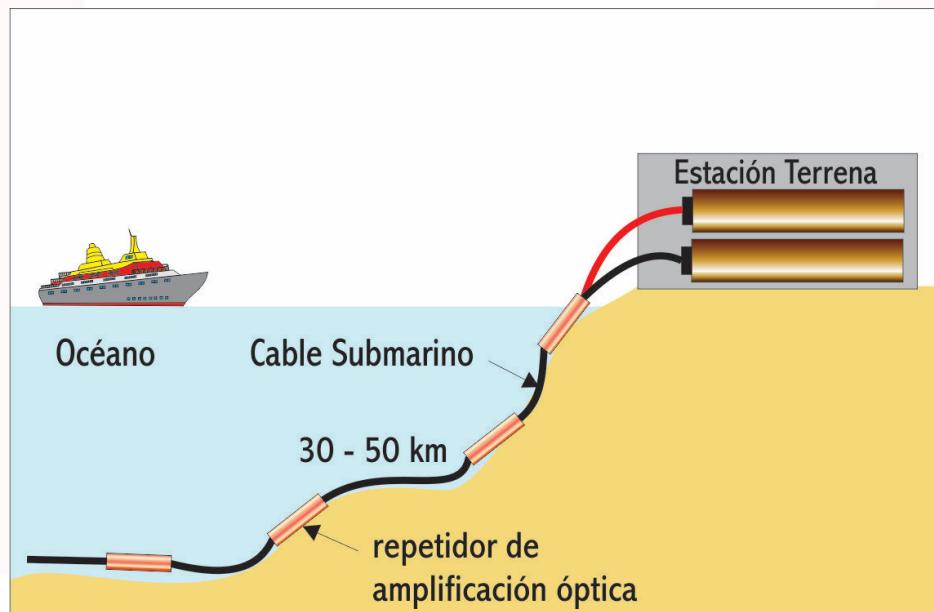
5.15.4 Proceso de instalación del cable submarino

En el barco existe una estación terminal que es la que controla las operaciones y en donde se encuentra el equipo alimentador. El cable se amarra primero en tierra en el lugar donde se va a conectar y luego se sigue la ruta que previamente fue calculada con una precisión de varios metros, mediante posicionamiento satelital y cálculos geofísicos.



5.15.4 Proceso de instalación del cable submarino

La instalación no comprende solo los cables sino, como se ha dicho, también se instalan “en serie” los empalmes, los amplificadores, los moduladores y multiplexores ópticos, cada 40 o 60 km según las características de los mismos y la atenuación de las fibras ópticas.



5.15.5 Futuro del cable submarino

Dado el potencial de las redes submarinas para cumplir con el aumento de la demanda global de capacidad de red, su futuro es brillante.

Actualmente, existen cerca de 70 sistemas de cableado submarino de fibra óptica instalados en todos los océanos. En total se estima que la longitud es mayor a los 450.000 km de acuerdo con una división internacional de cuatro regiones: a) Océano Pacífico –Asia, b) Océano Atlántico, c) Europa–Asia y d) Sudamérica. Todas estas regiones se comunican entre sí.

5.15.5 Futuro del cable submarino

