

Comunicaciones

Clase 7

Medios alámbricos

1

CABLES DE COBRE

Son el medio de comunicaciones más usado en sus distintas variantes:

- Líneas abiertas de cobre desnudo.
- Cables de par trenzados.
- Cables multipares.
- Cables coaxiales.
- Cables submarinos de cobre.

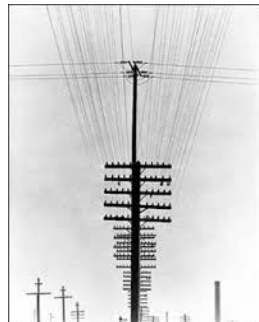
2

LINEAS ABIERTAS DE COBRE DESNUDO

Cada circuito son dos alambres con aisladores cerámicos montados en travesaños horizontales sobre postes de palmera.

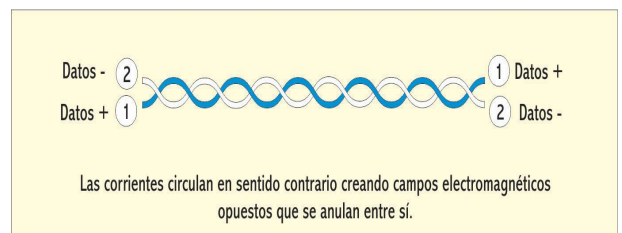
Se usaron para telegrafía y para telefonía, pero se abandonaron por:

- Alto costo de mantenimiento.
- Ancho de banda limitado.
- Sufren vandalismo
- Capta ruido externo
- Presenta diafonía.



CABLES DE PAR TRENZADO

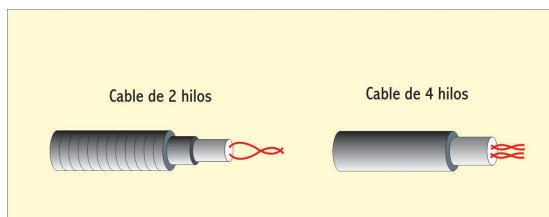
- Cada circuito son dos alambres con una vaina aislante que se trenzan entre sí.
- Las interferencias externas se cancelan entre los dos hilos.



4

CABLES MULTIPARES

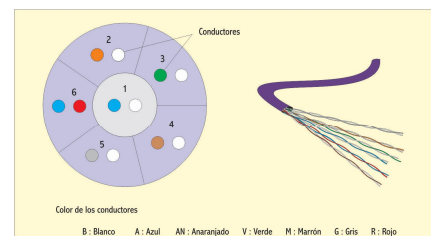
Varios pares se reúnen en conjuntos para formar un cable con elementos que soportan la tracción y una cubierta que los protege del medio.



Se usan para telefonía y para transmisión de datos.

5

La aislación sigue un código de colores para identificar cada par.



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

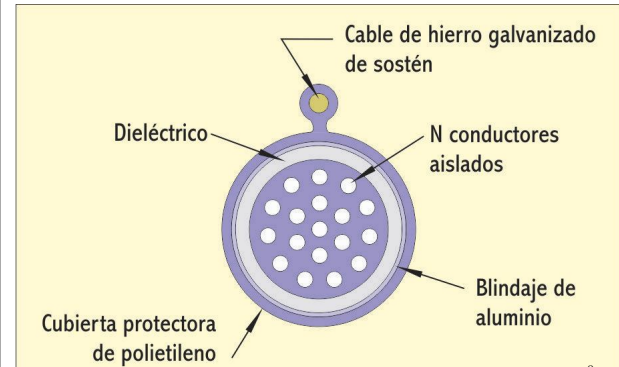
6

CABLES TELEFONICOS

Son cables multipares que responden bien en la banda vocal.

- Los alambres tienen entre 0,3 y 1 mm
- Hay cables normalizados de 6, 10, 18, 20, 30, 50, 80, 100, 150, 200, 300, 400, 600, 900, 1200, 1500, 1800 ó 2200 pares.
- Hasta 300 pares pueden usarse en tendidos aéreos suspendidos en postes, con cubiertas que soportan la radiación UV.
- Los cables subterráneos tienen cubiertas que lo protegen del agua y pueden tener mallas metálicas para protección mecánica.

7



8

CARACTERISTICAS ELECTRICAS

La impedancia y la atenuación de un par depende de las dimensiones y material de los conductores y del dieléctrico que los separa.

La resistencia eléctrica de los conductores se mide en corriente continua 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

9

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

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

Aplicando 500 V de corriente continua debe ser mayor que 15 MΩ x km.

10

CABLES COAXIALES

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

Todavía se usan para:

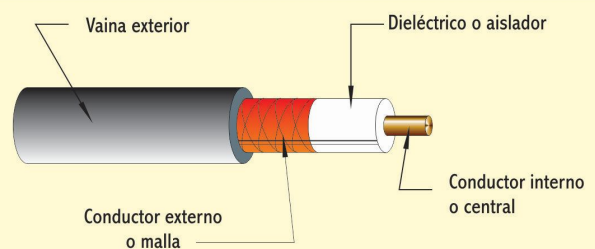
- Conectar un transmisor con su antena
- Distribuir de señales de televisión por cable (CATV)

Antes se usaron:

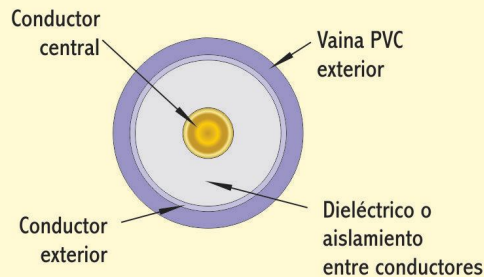
- En las redes de datos internas desde los 80 y hasta los 90, pero fueron reemplazados por cables de pares trenzados.
- En las redes interurbanas entre los 60 y los 90, pero fueron reemplazados por cables de fibra óptica.

11

Componentes



12



13

CODIFICACION DE CABLES COAXILES

Norma **MIL C -17 E** de las Fuerzas Armadas de EE.UU:

Para cada tipo de cable hay una sigla:

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

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

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

14

Los fabricantes publican estas características en el folleto de cada cable y sirven para seleccionar el más adecuado para cada aplicación.

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 20° C $\alpha = [dB/100m]$						
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	

15

CARACTERISTICAS ELECTRICAS DE CABLES COAXILES

La **capacidad** y la **inductancia** por unidad de longitud se pueden calcular por medio de las siguientes expresiones, donde: - D es el diámetro de la malla

- d es el diámetro del conductor central

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

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

16

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

Se puede calcular en base a:

- la relación entre los diámetros de los conductores
- la constante dieléctrica del material aislante.

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

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

17

CABLES COAXILES CON SEÑALES DIGITALES

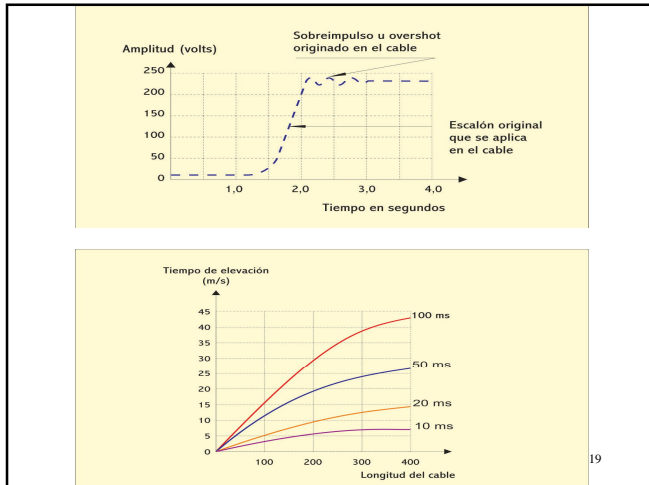
Cuando se transmiten pulsos a través de los cables coaxiales se producen distorsiones en la transmisión.

Tiempo de crecimiento de un pulso es el intervalo para que crezca desde un 10% hasta 90% del valor máximo.

Si el cable fuese ideal:

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

18



VELOCIDAD DE PROPAGACIONES DE LAS SEÑALES

Está determinada por la constante dieléctrica del material aislante que separa al conductor central del conductor exterior. La velocidad se expresa como un porcentaje de la velocidad de propagación de la luz en el espacio libre.

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

CABLES DE PAR TRENZADO PARA DATOS

Se usan cables de cuatro pares con una vaina plástica exterior.

Hay cables de tres tipos:

UTP (unshielded twisted pair): no tiene blindaje.

FTP (foiled twisted pair): hay una hoja de aluminio que envuelve a los cuatro pares debajo de la vaina para protegerlos de la interferencia externa.

STP (shielded twisted pair): cada par tiene un blindaje para protegerlo de la interferencia de los otros pares.

NORMALIZACION DE CABLES DE DATOS

Las especificaciones están normalizadas por la TIA y por la ISO. Normas TIA los dividen por categoría y las ISO por clases.

Categorías según TIA:

Con un solo par de cables de cobre trenzados:

- **Categoría 1:** telefonía analógica, no apto para datos.

Con cuatro pares de cables de cobre trenzados:

- **Categoría 2:** telefonía analógica y digital hasta 4 Mbps.

- **Categoría 3:** telefonía analógica, redes LAN Token Ring (4 Mbps) o Ethernet (10 Mbps).

- **Categoría 4:** telefonía analógica, digital, redes LAN Token Ring (16 Mbps) o Ethernet (10 Mbps).

- **Categoría 5:** redes LAN Fast Ethernet (100 Mbps).
- **Categoría 5e:** permite algunas aplicaciones a 1 Gbps.
- **Categoría 6:** especialmente diseñada para 1 Gbps

Para aplicaciones especiales hay otras categorías: 6A, 7, 7A. Cada categoría tiene características especiales:

Parámetros	Categoría - Clases				
	5e / D	6 / E	6A / E _k	7 / F	7A / F _k
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

CABLEADO ESTRUCTURADO

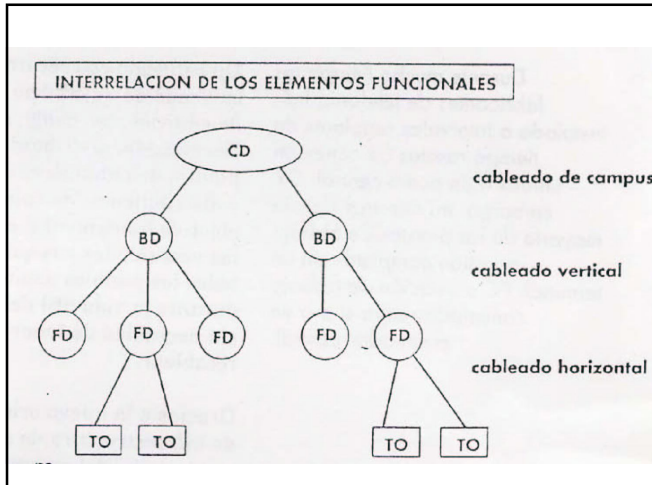
Las instalaciones en los edificios de oficinas deben ofrecer en cada puesto de trabajo conexión con:

- la **Red de Área Local**
- la **Red Telefónica**
- la **Red de Energía Eléctrica**

Antes había redes separadas para voz, video y datos, pero la tecnología converge a un solo tipo de red para todos los servicios.

Las redes de datos están normalizadas por la EIA/TIA 568.

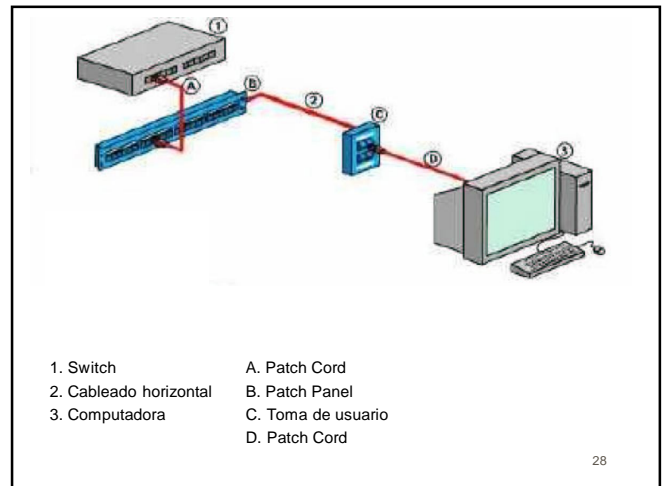
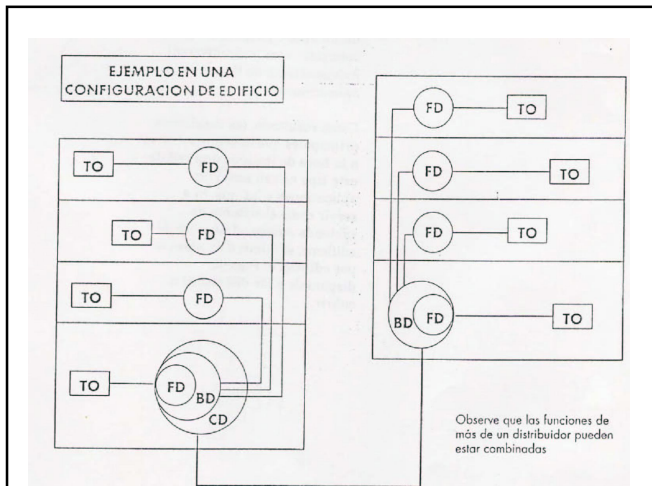
Las redes de distribución eléctrica están normalizadas por la Asociación Electrotécnica Argentina.



Estructura

- Cableado de campus: cableado de todos los distribuidores de edificios al distribuidor de campus.
- Cableado vertical: cableado de los distribuidores del piso al distribuidor del edificio.
- Cableado horizontal: cableado desde el distribuidor de piso a los puestos de usuario.
- Cableado de usuario: cableado del puesto de usuario a los equipos

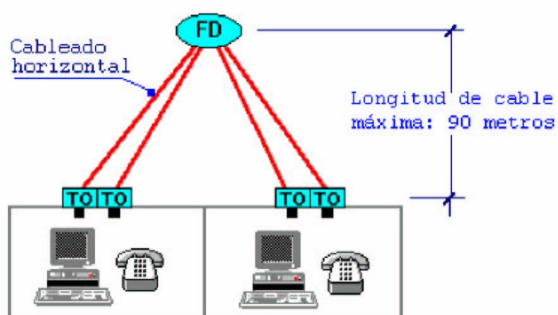
26



28

Cableado horizontal

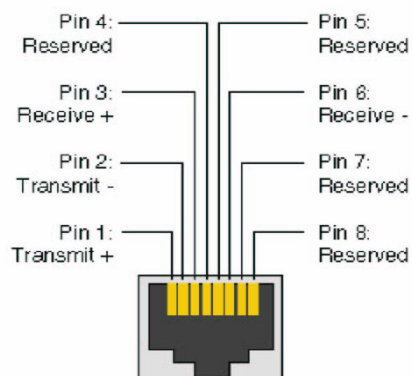
Desde el armario de red a la toma de usuario



- No se permiten puentes, derivaciones y empalmes a lo largo de todo el trayecto del cableado.
- Se debe considerar su proximidad con el cableado eléctrico que genera altos niveles de interferencia electromagnética (motores, elevadores, transformadores, etc.) y cuyas limitaciones se encuentran en el estándar ANSI/EIA/TIA 569.
- La máxima longitud permitida independientemente del tipo de medio de Tx utilizado es 100m
= 90 m + 3 m usuario + 7 m patch panel.

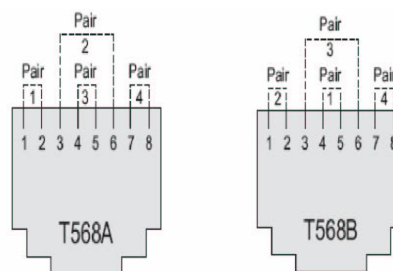
30

El conector normalizado es el RJ45

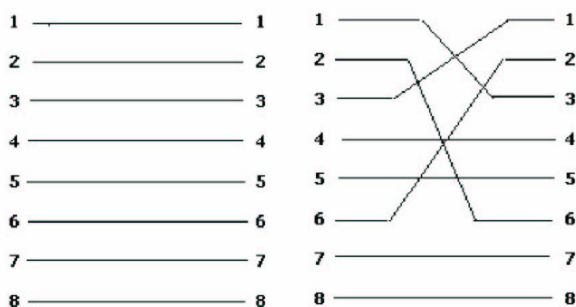


31

Hay dos formas de cablear los pines



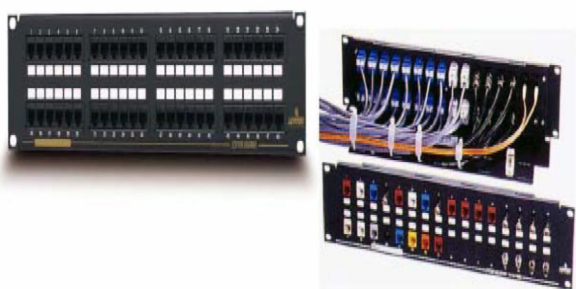
Cable (patch cord) derecho y cruzado



- Un cable directo se usa para conectar:
 - Router con un Switch.
 - Router con un Hub.
 - Hub con un Switch.
 - Hub con una PC.
 - Switch con una PC.
- Un cable cruzado se usa para conectar:
 - Router con un Router
 - Hub con un Hub.
 - Switch con un Switch.
 - PC con una PC.
 - Router con una PC.

34

Patch Panel



35

Cableado vertical

- Interconexión entre los armarios de red, sala de equipos y entrada de servicios.
- Cables:
 - Par trenzado
 - Fibra óptica multimodo
- Distancia máximas:
 - Par trenzado: 800 metros.
 - Fibra MM 62.5/125µm: 2000 metros.

36

SALAS DE EQUIPOS

- Espacio donde residen los equipos comunes de un edificio (central telefónica, central de video, servidores, etc.)
- Solo se admiten equipos directamente relacionados con los sistemas de telecomunicaciones.
- En su diseño se debe prever tanto para equipos actuales como para equipos a implementar en el futuro.
- Si un edificio es compartido por varias empresas, la sala de equipos puede ser compartida.

37

DATA CENTER

- Concepto moderno que incluye especificaciones para:
 - la sala de servidores
 - la sala de comunicaciones
 - la sala de energía
 - instalaciones del edificio
- La norma TIA 942 regula la armonía entre las instalaciones y el desempeño esperado en términos de confiabilidad, con varios niveles (Tier) de diseño.

38

MEDICIONES DE CABLEADO ESTRUCTURADO

- La certificación de las instalaciones se hace con un equipo adecuado para cada categoría.
- Hasta la categoría 5 nos interesan:
 - Mapa de cableado: verifica concordancia entre pines y pares en ambos extremos
 - Resistencia/Impedancia
 - Longitud/retardo
 - Atenuación (en dB)
 - NEXT (diafonía entre pares)

39

Factores de la atenuación

- Características eléctricas del cable
- Materiales y construcción.
- Perdidas de inserción debido a terminaciones y imperfecciones
- Reflejos por cambios en la impedancia
- Frecuencia de trabajo
- Temperatura
- Longitud del enlace
- Humedad
- Envejecimiento

40

NEXT

- Near end cross talk: es la diafonía o interferencia entre pares, medida en el mismo extremo
- El peor caso que puede ocurrir es que el par de transmisión en el conector que transmite interfiera la señal en el par de recepción, donde la sensibilidad de la recepción es más alta.
- Se calcula como $10 \log (Pot \text{ par tx} / Pot \text{ par rx})$
- La diafonía depende de:
 - Calidad de la mano de obra
 - Desarmado de las trenzas
 - La frecuencia (o la velocidad)
- La dificultad de la diafonía es el poder determinar el punto exacto donde ocurre

41

MEDICIONES AVANZADAS

- Para categorías mayores se usa transmisión en paralelo por más de un par
- Se miden adicionalmente
 - FEXT (Far end cross talk) o diafonía entre dos transmisiones en el extremo receptor
 - Pérdidas de retorno: medida de desadaptación respecto de la impedancia nominal de la línea
- En 10 Gbps se habla de Alien crosstalk (AXT) que ocurre entre pares de diferentes cables.

42

CABLES SUBMARINOS DE COBRE

Fueron cables multipares o coaxiales con cubiertas especiales para tendidos bajo la superficie del mar que vincularon continentes.

- 1850: cable entre Inglaterra y el continente europeo.
- 1866: cable entre Europa y América.

Son obsoletos y fueron reemplazados por cables submarinos de fibra óptica.

43

FIBRAS OPTICAS

Revolucionaron las telecomunicaciones por su mayor capacidad, que llega a varios Tbps.

Este medio es un fino hilo conductor de vidrio que transporta luz en la banda de los infrarrojos (no visible).

Se usa ampliamente en cables de hasta cientos de fibras ópticas en tendidos:

- aéreos (postes o líneas de alta tensión)
- subterráneos (rutas entre ciudades)
- submarinos (entre continentes)

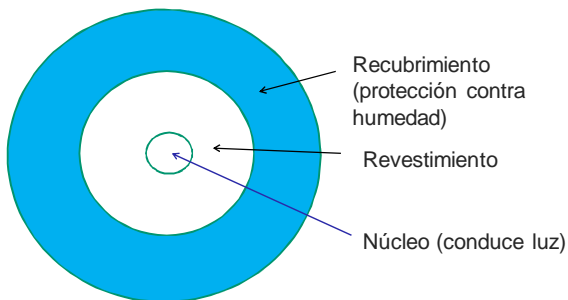
Las nuevas aplicaciones son:

- fibra hasta el hogar (distribución de TV e Internet)
- fibra hasta el puesto de trabajo (reemplaza pares de cobre en el cableado estructurado)

44

DETALLE CONSTRUCTIVO

Son dos capas de Silicio: núcleo (core) y revestimiento (clad) con distinto índice de refracción.



45

MEDIDAS TÍPICAS

- Recubrimiento: 245 μm
- Revestimiento: 125 μm
- Núcleo en fibras monomodo: 9 μm
- Núcleo en fibras multimodo: 50 ó 62,5 μm
- Longitud de fabricación: 50 km

46

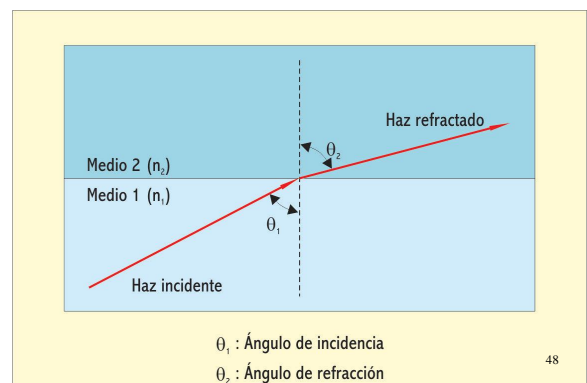
PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

- El núcleo y el revestimiento tienen distintas densidades
- La luz ingresa al núcleo y rebota en la unión entre núcleo y revestimiento por el fenómeno de reflexión total



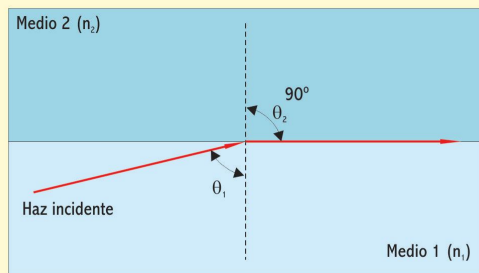
47

Ley de Snell: $n_1 \cdot \sin \theta_1 = n_2 \cdot \sin \theta_2$



48

Refracción total:



θ_1 : Ángulo de incidencia
 θ_2 : Ángulo de refracción

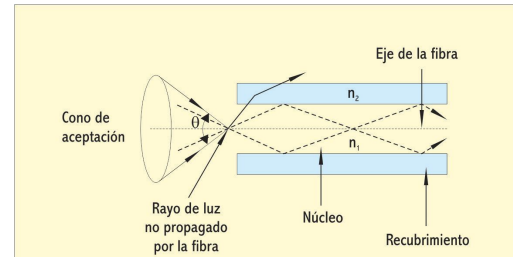
49

Cono de aceptación

Contiene a las direcciones de los haces de luz para los cuales hay reflexión total.

Es función de los índices de refracción.

Apertura de la fibra es el ángulo formado por la dirección del núcleo de la fibra y una de las generatrices del cono.



50

TIPOS DE FIBRA

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

A su vez, se subdividen en:

- **Índice escalón:** bajo costo, poco ancho de banda
- **Índice gradual:** más costosas, gran ancho de banda.

51

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

52

PARAMETROS DE TRASMISION DE LA FIBRA

Hay cuatro parámetros que definen su uso:

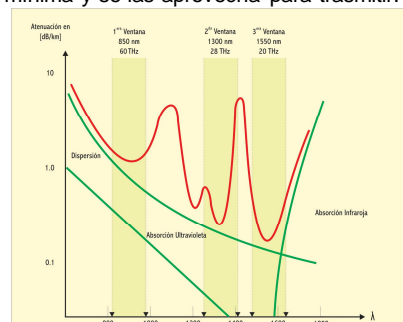
- Atenuación
- Dispersión cromática
- Dispersión por modos de propagación.
- Ancho de banda

53

Atenuación

Es la pérdida de la potencia óptica del haz de luz que viaja por la fibra, se mide en dB/km y es función de la longitud de onda.

En ciertas longitudes de onda (ventanas) la atenuación de la luz resulta mínima y se las aprovecha para transmitir.



54

Pérdidas en las fibras ópticas

Las pérdidas disminuyen la potencia de luz, con atenuaciones del orden de:

0,2 dB/km para fibras monomodo

0,4 dB/km para fibras multimodo

Las pérdidas por absorción están causadas por las impurezas agregadas al silicio para obtener índices de refracción diferentes entre el núcleo y el recubrimiento.

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

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

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

55

Pérdidas por dispersión modal

Es importante en las fibras multimodo por la diferencia en los tiempos de propagación de los rayos de luz (modos), que toman diferentes caminos.

El pulso se ensancha y hay menor amplitud.

Aparece por las deformaciones del cable al montarlo.

Pérdidas por dispersión cromática

Se produce si el emisor no genera luz monocromática, ya que el índice de refracción depende de la longitud de onda.

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

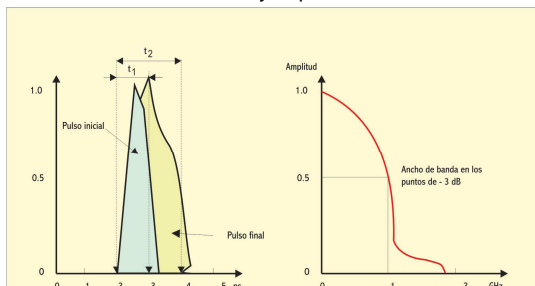
Hay ensanchamiento del pulso y disminución de su amplitud, pero menor que la dispersión modal.

56

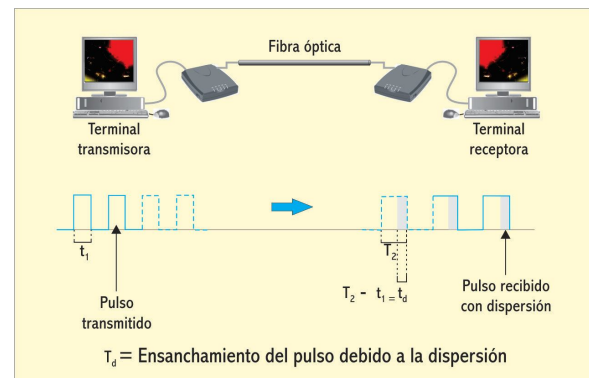
Dispersión del pulso de luz es el ensanchamiento a medida que se propaga por la fibra, ya que los rayos de luz llegan con tiempos de arribo diferentes.

Este proceso limita el ancho de banda de la fibra.

Hay relación entre ancho de banda, la capacidad de transmisión de información y el perfil del índice de refracción.



57



58

Ancho de banda

Los límites de espectro de las fibras no se expresan en frecuencia (Hz) sino en longitudes de onda (nanómetros).

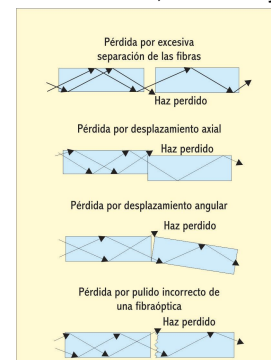
El ancho de banda útil en cada ventana disminuye a medida que nos alejamos de la fuente, debido a fenómenos de dispersión de la luz (modal y cromática).

El ancho de banda se expresa en [GHz . km]

59

Pérdidas por acoplamiento

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



60

COMPONENTES OPTOELECTRONICOS

Son los transmisores y detectores que convierten señales eléctricas en ópticas.

Hay longitudes de onda normalizadas:

- ventana 1: 850 nm
- ventana 2: 1300 nm
- ventana 3: 1550 nm

Hay dos tipos de emisores de luz: LED y laser.

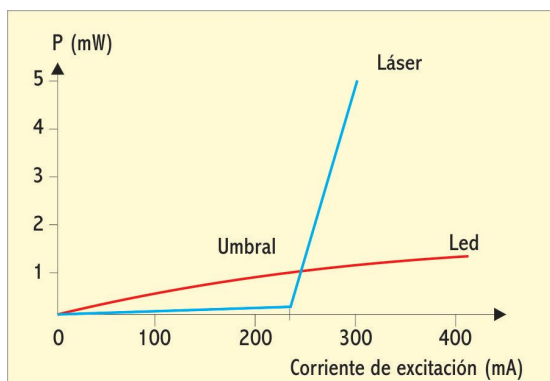
Hay varios tipos de detectores de luz: APD, PIN, PIN/FET

61

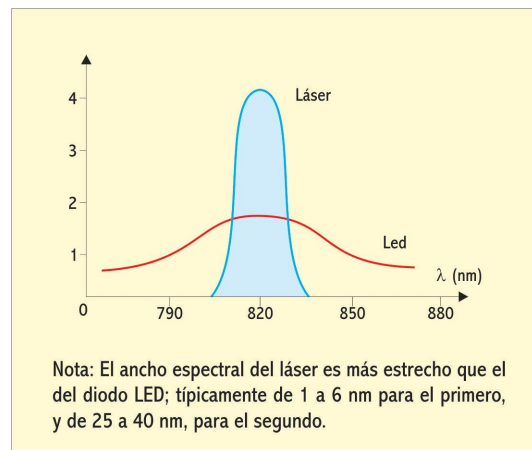
Emisores de luz

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

62



63



Nota: El ancho espectral del láser es más estrecho que el del diodo LED; típicamente de 1 a 6 nm para el primero, y de 25 a 40 nm, para el segundo.

64

Receptores de luz

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

Los detectores mas 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.

65

Características técnicas de los fotodetectores

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

66

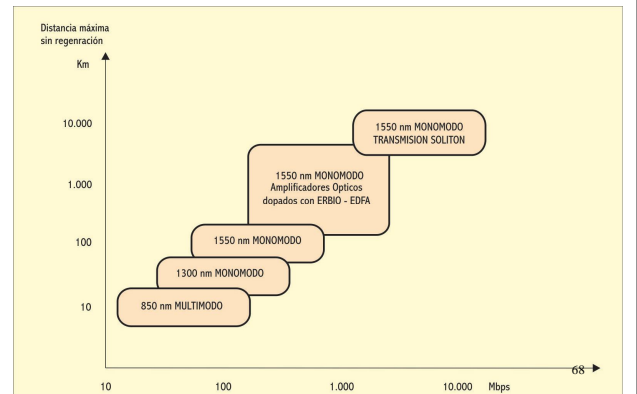
Elementos accesorios de una instalación óptica

Aparte del transmisor, del receptor y la fibra óptica se necesitan los siguientes elementos accesorios:

- Conectores.
- Patch cords
- Distribuidores
- Empalmes.
- Acopladores.
- Repetidores.

67

Alcance óptico



Empalmes

Son conexiones permanentes entre fibras ópticas. Los núcleos deben estar alineados con el emisor y el receptor.

Dos tipos de técnicas para el empalme:

- **Por fusión:** une y calienta las fibras hasta que se fusionan.
Pérdidas de 0,1 dB.
- **Mecánico:** une fibras con extremos cortados y limpios pasando luz de una fibra a otra.
Pérdidas de 0,5 dB.

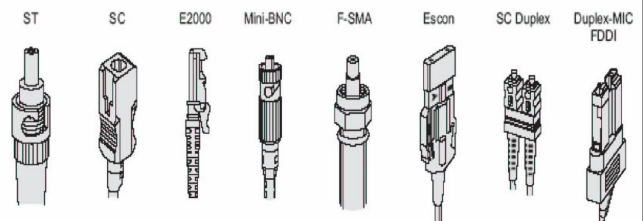
69

Conectores

Permiten uniones desconectables.

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

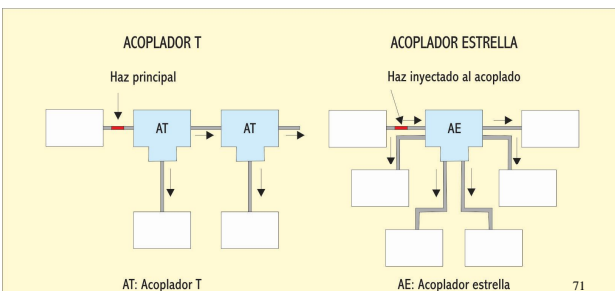
Conectores a tope: con extremos cortados y limpios la pérdida es 0,5 dB.



Acopladores

Distribuyen la luz que circula por una fibra entre otras.

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



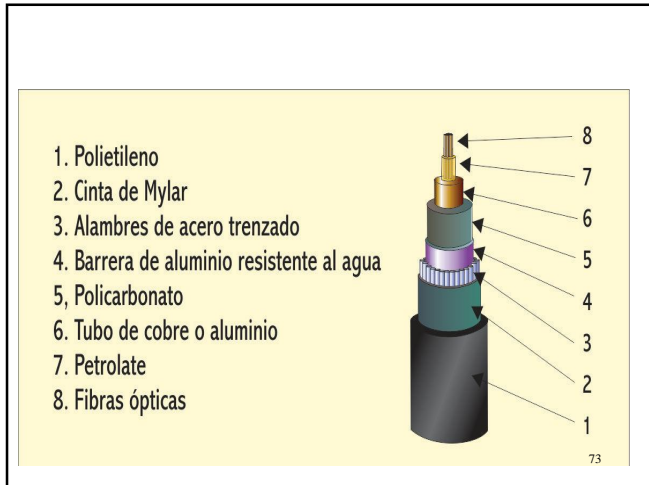
71

CABLES SUBMARINOS DE FIBRA OPTICA

Construcción

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

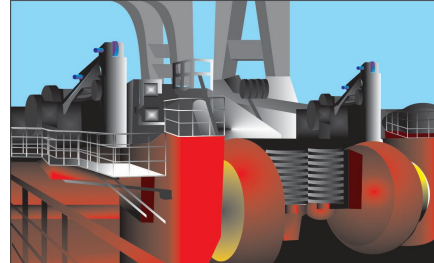
72



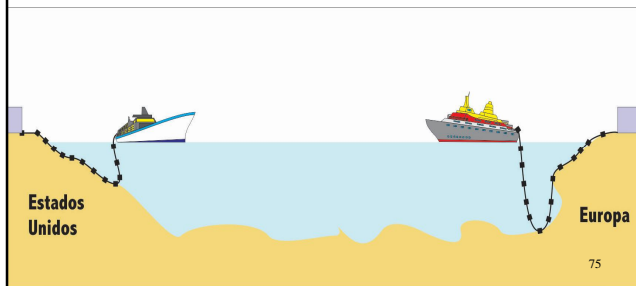
Proceso de instalación

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

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



El barco tiene una estación terminal que controla las operaciones y tiene el equipo alimentador.
El cable se amarra tierra en el lugar donde se va a conectar y luego se sigue la ruta calculada por posicionamiento satelital.



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

