

Acerca del autor

Mario Guerra Soto es Ingeniero de Telecomunicación por la Universidad de Cantabria, Especialidad Telemática. Obtuvo el Máster Universitario en Seguridad de las Tecnologías de la Información y de las Comunicaciones por la UOC/UAB/URV. Dispone de las certificaciones EC-Council Computer Hacking Forensic Investigator v8 (CHFIV8), Cellebrite Certified Physical Analyst (CCPA) y EXIN ITIL Foundation Certificate in IT Service Management v3. Además, ha realizado numerosos cursos impartidos por organismos nacionales e internacionales relacionados con criptología, redes y ciberseguridad.

1

Medio físico

1.1

CONCEPTOS DE ELECTRICIDAD Y ELECTRÓNICA

Toda materia está constituida por átomos. El átomo (en estado de equilibrio, carga neta neutra) está formado por dos partes:

- **Núcleo:** parte central del átomo divisible a la vez en partículas subatómicas: protones (carga positiva) y neutrones (carga neutra).
- **Corteza:** parte más exterior del átomo con uno o más orbitales donde se sitúan los electrones (carga negativa).

Propiedades eléctricas de la materia:

- **Aislantes eléctricos:** Son aquellos materiales que permiten que los electrones fluyan a través de ellos con mucha dificultad. Entre los aislantes eléctricos podemos citar el plástico, el vidrio, el papel y la madera.
- **Conductores eléctricos:** Son aquellos materiales que permiten que los electrones fluyan a través de ellos con facilidad. A temperatura ambiente, estos materiales poseen gran cantidad de electrones libres que son los responsables de la conducción al aplicar una diferencia de potencial entre sus extremos. Los materiales que mejores conducen la electricidad son los metales, especialmente elementos químicos como el oro, la plata y el cobre.
- **Semiconductores eléctricos:** Son aquellos materiales que la conducción eléctrica puede ser controlada de forma precisa. Estos materiales son elementos químicos como el carbono, el silicio, el germanio y moléculas como el arseniuro de galio. El semiconductor más utilizado en la fabricación de circuitos electrónicos es el silicio, segundo elemento químico más abundante en la corteza terrestre, y que puede encontrarse en la arena (dióxido de silicio) y varias rocas.
- **Superconductores:** Son aquellos materiales que tienen la capacidad intrínseca para conducir corriente eléctrica sin resistencia ni pérdida de energía en determinadas condiciones. La resistividad eléctrica de un conductor metálico disminuye gradualmente a medida que disminuye la temperatura. En los conductores ordinarios, como el cobre y la plata, las impurezas y otros defectos hacen que exista un umbral mínimo de resistividad incluso cerca del cero absoluto (0° K, o -273° C). La resistencia de un superconductor, en cambio, desciende bruscamente a cero cuando el material se enfría por debajo de su temperatura crítica. Al no existir pérdidas en el flujo energético debidas a la resistividad del material, en el caso ideal, una corriente eléctrica que fluyera en una espiral de cable superconductor persistiría indefinidamente sin necesidad de una fuente de alimentación. Son elementos superconductores el estaño y el aluminio, diversas aleaciones metálicas y algunos semiconductores fuertemente dopados.

La **tensión eléctrica, diferencia de potencial o voltaje** es una magnitud física que cuantifica la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos. También se puede definir como el trabajo por unidad de carga ejercido por el campo eléctrico sobre una partícula cargada para moverla entre dos posiciones determinadas. Esta magnitud puede ser medida con un voltímetro. Su unidad de medida en el Sistema Internacional es el voltio (V).

La diferencia de potencial entre dos puntos cualquiera A y B es independiente del camino recorrido por la carga y depende exclusivamente del potencial eléctrico de dichos puntos A y B en el campo eléctrico, que es un campo conservativo.

Si dos puntos entre los que existe una diferencia de potencial se unen mediante un material conductor se producirá un flujo de electrones entre ambos puntos a través del material conductor. Parte de la carga que crea el punto de mayor potencial se trasladará a través del conductor al punto de menor potencial. Esta corriente cesará cuando ambos puntos igualen su potencial eléctrico. Este traslado de cargas es lo que se conoce como **corriente eléctrica**, que en el Sistema Internacional se mide en amperios (A) y el equipo de medición se conoce como amperímetro.

Se denomina **corriente continua** (DC) al flujo de cargas eléctricas que no cambia de sentido con el tiempo. La corriente eléctrica a través de un material se establece entre dos puntos de distinto potencial. Cuando hay corriente continua, los terminales de mayor y menor potencial no se intercambian entre sí. Es continua toda corriente cuyo sentido de circulación es siempre el mismo, independientemente de su valor absoluto.

Se denomina **corriente alterna** (AC) a la corriente eléctrica en la que la magnitud y dirección varían cíclicamente. La forma de onda de la corriente alterna más comúnmente utilizada es la de una onda senoidal (de periodo 50 o 60 Hz, según el país). Es la electricidad habitual en la acometida de hogares y empresas.

La razón del amplio uso de la corriente alterna, que minimiza los problemas de transmisión de potencia, viene determinada por su facilidad de transformación, cualidad de la que carece la corriente continua. La energía eléctrica transmitida viene dada por el producto de la tensión, la intensidad y el tiempo. Dado que la sección de los conductores de las líneas de transporte de energía eléctrica depende de la intensidad, se puede, mediante un transformador, modificar el voltaje hasta altos valores (alta tensión), disminuyendo en igual proporción la intensidad de corriente. Esto permite que los conductores sean de menor sección y, por tanto, de menor importe, minimizándose además las pérdidas por *efecto Joule* (transformación de parte de la energía eléctrica en calor debido a la resistencia eléctrica del material conductor), que dependen del cuadrado de la intensidad. Una vez en el punto de consumo o en sus proximidades, el voltaje puede ser nuevamente reducido mediante un transformador para permitir su uso industrial o doméstico de forma cómoda y segura.

Se denomina **resistencia eléctrica** a la magnitud (parte real) que mide la oposición de un material al paso de la corriente eléctrica. Los materiales conductores tienen baja resistencia y los aislantes tienen alta resistencia. Se representa por la letra (R) y su unidad de medida es el Ohmio (Ω).

Se denomina **reactancia** a la fase (parte imaginaria) que mide la oposición ofrecida al paso de la corriente alterna por inductores (bobinas) y condensadores, se representa por la letra (X) y su unidad de medida es el Ohmio (Ω).

Se denomina **impedancia** a la resistencia eléctrica presentada por un material al paso de la corriente alterna (AC). Se representa por la letra (Z), tiene magnitud y fase (es decir, tanto resistencia como reactancia) y la unidad de medida de su módulo es también el Ohmio (Ω). Cuando un circuito es alimentado con corriente continua (CC), su impedancia es igual a la resistencia. Matemáticamente, la impedancia se representa como la suma de sus componentes en magnitud y fase:

$$Z = R + jX$$

Se define la **potencia eléctrica** como el trabajo realizado por la energía eléctrica por unidad de tiempo. Se representa por la letra (P) y su unidad de medida es el vatio (W). Matemáticamente, la potencia eléctrica se representa como:

$$P = V \cdot I = \frac{V^2}{R} \quad I^2 \cdot R$$

1.2 RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA

La **radiación electromagnética** es un tipo de campo electromagnético variable, es decir, una combinación de campos eléctricos y magnéticos oscilantes, que se propagan a través de un medio transportando energía de un lugar a otro.

La radiación electromagnética puede manifestarse de diversas maneras como calor radiado, luz visible, rayos X o rayos gamma. A diferencia de otros tipos de onda, como el sonido, que necesitan un medio material para propagarse, la radiación electromagnética se puede propagar incluso en el vacío.

Una **onda** consiste en la propagación de una perturbación de alguna propiedad de un medio, por ejemplo, densidad, presión, campo eléctrico o campo magnético (o la combinación de ambos, campo electromagnético), a través de dicho medio (aire, agua, metal, etc.), implicando un transporte de energía sin transporte de materia.

El **periodo** de una onda es la cantidad de tiempo que tarda en completar un ciclo antes de repetirse, se representa por la letra (T) y se mide en segundos (s). Su inversa es la **frecuencia**, que se define como el número de ciclos completos por segundo, se representa por la letra (f) y se mide en Hertzios (Hz). **Longitud de onda** es la distancia que hay entre el mismo punto de dos ondulaciones consecutivas, o la distancia entre dos crestas consecutivas, se representa por la letra (λ) y se mide en metros (m).

Se denomina **amplitud de onda** a la distancia vertical existente entre una cresta (máximo de amplitud) y el punto medio de la onda. La amplitud de la onda puede ser variable con el tiempo. Se representa por la letra (A) y puede corresponder, por ejemplo, a la variación de voltaje o de intensidad de corriente eléctrica.

En electrónica y telecomunicaciones se utilizan señales periódicas para la transmisión de información. Según la variación de la amplitud de la onda electromagnética en función del tiempo, las señales se clasifican en:

- **Analógicas**, caracterizadas principalmente por la variación constante de la amplitud (infinitos valores) de la señal con el tiempo. Otro de sus parámetros característicos es la frecuencia de la señal. Es la asociada a los fenómenos de la naturaleza.
- **Digitales**, caracterizadas por el número de valores finitos que adopta la amplitud de la señal. Ejemplo: Una señal que adopta valores periódicos que oscilan entre +5V y -5V (asociable de este modo a un '1' y a un '0' lógico). No suelen estar presentes en los fenómenos naturales. La frecuencia puede ser variable.

Se denomina espectro electromagnético al rango de todas las posibles frecuencias de radiación electromagnética. Según su longitud de onda de propagación suelen clasificarse en:

- **Ondas de radio**. Con longitudes de onda que van desde los 100.000 km (3 Hz) a 0,1 mm (3 THz). Se utilizan en la transmisión de señal de estaciones radiofónicas (AM, FM, radioaficionados), la señal de televisión (terrestre y satélite), la telefonía móvil (GSM, 4G, DECT, etc.) entre el terminal y la estación base, redes inalámbricas (WiFi, *BlueTooth*, etc.). La información a transmitir se modula mediante la variación de la amplitud, frecuencia y/o fase de la señal en una banda de frecuencia determinada.

Número de banda	Símbolo	Frecuencia	Longitud de onda
4	VLF	3 a 30 kHz	10 a 100 km
5	LF	30 a 300 kHz	1 a 10 km
6	MF	300 a 3000 kHz	100 a 1000 m
7	HF	3 a 30 MHz	10 a 100 m
8	VHF	30 a 300 MHz	1 a 10 m
9	UHF	300 a 3000 MHz	10 a 100 cm
10	SHF	3 a 30 GHz	1 a 10 cm
11	EHF	30 a 300 GHz	1 a 10 mm
12	THF	300 a 3000 GHz	0,1 a 1 mm

Tabla 1.1. Clasificación de la ITU de las bandas de radiofrecuencia.

- **Radiación infrarroja.** Con longitudes de onda comprendidas entre los 300 GHz y los 400 THz (1 mm a 750 nm).
 - Infrarrojo lejano. La banda inferior corresponde con la banda 12 de la Tabla 1.1. Pese a que el vapor de agua atmosférico absorbe en gran parte la energía de la señal en esta banda de frecuencias haciéndola prácticamente opaca, existen ciertas ventanas (bandas) que permiten una transmisión parcial y son utilizadas en Astronomía.
 - Infrarrojo medio. Entre 30 y 120 THz (10 a 2,5 μm). El cuerpo humano radia fuertemente en la parte inferior de esta región.
 - Infrarrojo cercano. Entre 120 y 400 THz (2500 a 750 nm). Las frecuencias más altas en esta región son empleadas en fotografía infrarroja. Es la región habitualmente empleada para la transmisión de información empleando como medio guiado una fibra óptica.
- **Radiación visible.** Compreendida en la banda de 400 a 790 THz (380 a 760 nm). Es la parte del espectro electromagnético a la cual es más sensible el ojo humano. El arcoíris muestra la parte visible del espectro electromagnético.
- **Radiación ultravioleta (UV).** Compreendida en la banda entre 400 nm a 10 nm. Es capaz de ionizar los átomos y modificar su comportamiento físico. Las quemaduras solares se producen por los efectos de la radiación solar sobre las células epiteliales en la región media de esta banda.
- **Radiación Röntgen o rayos X.** Radiación ionizante comprendida en la banda entre 0,01 a 10 nm. Son capaces de atravesar con alguna pérdida a través de las redes de átomos de la mayoría de las sustancias, por lo que son utilizadas en Medicina para diagnóstico mediante radiografías. También tiene aplicaciones en telescopios situados fuera de la atmósfera terrestre.
- **Radiación gamma o rayos gamma.** Con longitudes de onda menores de 10 pm, longitud menor que el diámetro de un átomo. De aplicación en Astronomía para el estudio de objetos de alta energía desde telescopios situados fuera de la atmósfera terrestre. En Medicina pueden ser empleados en radioterapia y tomografía.

2

Cableado y conectores

2.1 MEDIOS GUIADOS

Los medios guiados transmiten impulsos eléctricos o lumínicos de uno a otro de sus extremos. La información a transmitir se transforma en el dispositivo emisor en señales eléctricas u ópticas y se inyecta en el medio guiado. El dispositivo receptor transformará esta señal eléctrica u óptica nuevamente en información siempre que ambos extremos (emisor y receptor) utilicen el mismo lenguaje de comunicación convenido, conocido como protocolo.

La mayor velocidad de transmisión, alcance y relación señal a ruido (SNR) de la señal transmitida son las principales ventajas de los medios guiados sobre la utilización del medio inalámbrico como canal de transmisión de la señal.

El alcance, o distancia máxima de transmisión de la señal, viene determinado por la atenuación del medio empleado. La atenuación se representa por la letra 'L' y se mide en decibelios por metro lineal (dB/m). Cuanto menor sea la atenuación, mayor será la distancia máxima a la que podrá ser empleada el medio para transmitir la señal.

2.2 CABLE COAXIAL

El **cable coaxial** (*coaxial cable*) está formado por dos elementos conductores dispuestos concéntricamente y separados entre sí mediante un material dieléctrico, el cual determina en gran medida la calidad del cable coaxial. Esta configuración se conoce como cable apantallado doble. Para entornos con grandes interferencias, existe el apantallamiento cuádruple. Este apantallamiento consiste en dos láminas aislantes, y dos capas de apantallamiento de metal trenzado. El conjunto finalmente se recubre con una capa aislante de goma, teflón o plástico.

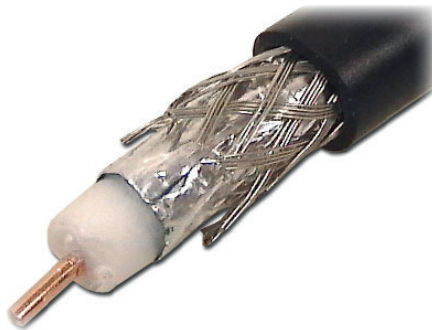


Figura 2.1. Cable coaxial con doble apantallamiento.

El conductor central, denominado núcleo, es el empleado para la transmisión de la señal y suele estar constituido por un alambre sólido o por varios hilos retorcidos de cobre. El núcleo está rodeado por el otro conductor (normalmente una malla de cable o una película metálica) denominado malla, blindaje o trenza que sirve como referencia de tierra y retorno de las corrientes.

El núcleo queda idealmente aislado (también es frecuente la utilización del término apantallado) frente a interferencias electromagnéticas (EMI), tanto las que pudieran derivarse de una señal electromagnética externa que afectarían a la relación señal a ruido de la señal conducida por el cable coaxial, como a la interferencia que podría causar la señal transmitida por el cable coaxial en otros cables próximos. Los cables coaxiales tienen una impedancia característica asociada, que debe ser balanceada con un terminador o la impedancia de entrada del emisor y del receptor.



Figura 2.2. Cable coaxial con cuádruple apantallamiento.

El cable coaxial es menos susceptible a interferencias y ruidos que el cable de par trenzado y puede ser usado a mayores distancias que éste. Puede soportar más estaciones en una línea compartida.

Uno de los mayores inconvenientes de este tipo de cable es su grosor, superior al del cable de par trenzado, que dificulta mucho su instalación, encareciendo ostensiblemente el coste por mano de obra, de ahí, que pese a sus ventajas en cuanto a velocidad de comunicación y longitud permitida, no se presente de forma habitual en las redes LAN.

Existen varios tipos de cable coaxial, siendo los principales:

- RG-59: Utilizado para cortas distancias debido a su elevada atenuación, como la distribución de señal de vídeo entre dos dispositivos próximos. Su impedancia característica es de 75 Ω .
- RG-58: De atenuación similar al cable RG-59, pero con una impedancia característica de 50 Ω . Conocido popularmente como *Thinnet*. Utilizado en redes Ethernet 10Base2.
- RG-8: De mayor grosor que el cable RG-58, lo que le permite transmitir la señal a mayores distancias, y también con una impedancia característica de 50 Ω . Conocido popularmente como *Thicknet*. No obstante, el grosor del cable complica su instalación. Utilizado en redes Ethernet 10Base5.
- RG-6: La impedancia característica de este tipo de cable coaxial es de 75 Ω . Empleado por las compañías operadoras de cable o en el último tramo de redes híbridas fibra-coaxial (HFC) para dar servicio a los clientes.

Los conectores estándar en redes implementadas utilizando como medio de transmisión el cable coaxial son:

- BNC: El habitual de las redes Ethernet 10Base2.
- Conector F: Utilizado para la distribución de la señal de televisión y en los conectores de las redes HFC.

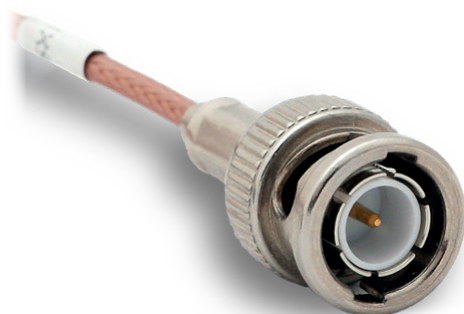


Figura 2.3. Conector BNC macho.

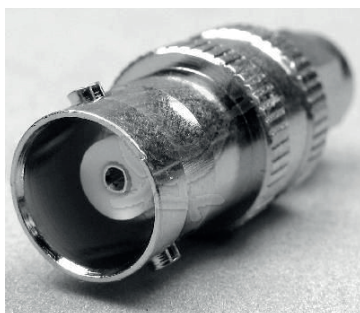


Figura 2.4. Conector BNC hembra.

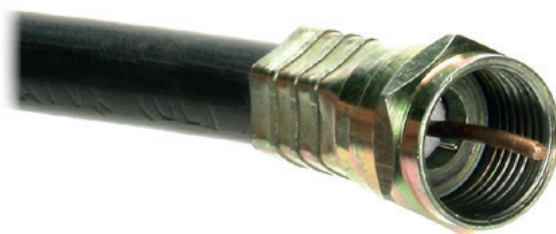


Figura 2.5. Conector F.

En la implementación de redes con cable RG-58 con topología en bus de datos, los dispositivos se conectan entre sí formando una fila y empleando conectores en T o en Y (denominados BNC T). Uno de los conectores se utiliza para conectar el dispositivo, y los otros dos para la conexión del cableado de la red. En los extremos del bus de datos hay que colocar un terminador, que no es más que una resistencia de $50\ \Omega$ que evita que la señal se repita al llegar al final del cable y produzca colisiones con otras señales.

2.3 CABLE DE PAR TRENZADO

El **cable de par trenzado** (*twisted-pair cable*) consiste en múltiples cables aislados de manera individual trenzados en parejas para reducir la emisión y recepción de interferencias electromagnéticas.

La tasa de trenzado, definida en trenzas por metro, es parte de la especificación para un determinado tipo de cable. Debido a que la proximidad de pares trenzados con la misma tasa de trenzado anularía parcialmente la mejora frente a EMI, en cables con un número reducido de pares trenzados, sus tasas de trenzas por metro deben ser diferentes.

Existen diferentes tipos de cables de pares trenzados, destacando ScTP (*Screened Twisted Pair*, o par trenzado apantallado), STP (*Shielded Twisted Pair*, o par trenzado protegido), FTP (*Foiled Twisted Pair*, o par trenzado envuelto) y UTP (*Unshielded Twisted Pair*, par trenzado no protegido). Precisamente el cable UTP es el más utilizado, siendo empleado en redes Ethernet 10BaseT, 100BaseTX, 1000BaseTX.

Para poder utilizar señales de mayor frecuencia, en el cable STP se rodea cada par trenzado con una protección metálica similar a la del conductor externo en un cable coaxial. No obstante, esto supone un incremento de su coste por metro lineal.

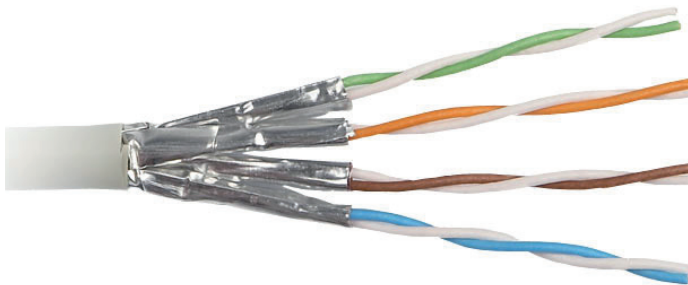


Figura 2.6. Cable STP.

En el cable UTP se adopta como solución frente a EMI el incrementar el número de trenzas por centímetro en cada par de cables. Al no tener que añadir material adicional para el apantallado el coste por metro es menor que otros cables de par trenzado y ha favorecido su popularidad, siendo el más utilizado en redes Ethernet.

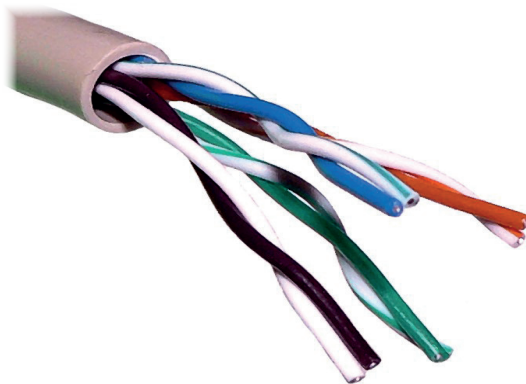


Figura 2.7. Cable UTP.

Existen en la industria diferentes categorías de cable UTP con diferente capacidad para la transmisión de datos:

- Categoría 3 (Cat 3): Utilizado en redes Ethernet 10Base-T y 10 Base-T4 con velocidades de transmisión de datos típicas de 10 Mbps.
- Categoría 4 (Cat 4): Empleado en redes Token Ring con velocidades de transmisión de hasta 16 Mbps.
- Categoría 5 (Cat 5): Utilizado en redes Ethernet 100BaseTX, a velocidades hasta 100 Mbps. En enlaces ATM se utiliza hasta tasas de transferencia de 155 Mbps. La mayoría de los cables Cat 5 están fabricados mediante cuatro pares de 24 hilos. Cada par está trenzado con diferentes trenzas por metro, aunque en media tienen una trenza cada 5 cm.
- Categoría 5e (Cat 5e): Versión mejorada del cableado Cat 5 al reducir la diafonía (*crosstalk*) del cable y utilizado en redes 1000Base-T, a tasas de transferencia de hasta 1 Gbps.
- Categoría 6 (Cat 6): Este tipo de cable tiene un aislante más grueso que el Cat 5e, lo que le confiere una diafonía menor. En ocasiones se implementa con un cableado más grueso que el Cat 5e, empleándose en esos casos cuatro pares de 22 o 23 hilos. Utilizado en redes 1000Base-T.
- Categoría 6a (Cat 6a): Utilizado en redes 10GBase-T, con tasas de transferencia de hasta 10 Gbps.

Con este tipo de cable se utilizan conectores RJ-45 para unirse a los distintos elementos de hardware que componen la red. Actualmente, de los ocho cables sólo cuatro se emplean para transmitir datos y son los que se conectan a los pines 1, 2, 3 y 6 con las siguientes funciones:

Conector	Función
1	Transmisión +
2	Transmisión –
3	Recepción +
4	No utilizado
5	No utilizado
6	Recepción -
7	No utilizado
8	No utilizado

Figura 2.8. Pineado de cableado UTP.

Actualmente, la mayoría de los cables UTP utilizados en las redes Ethernet son los denominados cables directos, cables rectos (*straight-through cables*) o cables 568A a 568A, lo que significa que los conectores RJ-45 en cada extremo del cable tienen el mismo *pineado*. Estos cables se utilizan para conectar:

- Dispositivo a *switch* o a *hub*;
- Router a *switch* o a *hub*.

Switch/hub	Dispositivo
1	1
2	2
3	6
6	6

Tabla 2.1 Pineado Ethernet cable directo.

No obstante, existen casos en los que dos dispositivos no pueden conectarse con un cable directo. En estos casos se utilizan cables cruzados (*crossover cables*), también denominados cables 568A a 568B, en los cuales los pares de transmisión y recepción se encuentran intercambiados en ambos extremos del cable. Se utilizan cables cruzados para conectar los siguientes dispositivos:

- Switch con switch;
- Hub con hub;
- Dispositivo con dispositivo;
- Hub con switch;
- Router a dispositivo.

Switch/hub	Switch/hub
1	3
2	6
3	1
6	2

Tabla 2.2. Pineado Ethernet cable cruzado.



Figura 2.9. Conector RJ-45.

No obstante, algunos *switches* tienen una característica denominada MDIX (*Medium Dependent Interface Crossover*), la cual permite que un puerto del *switch* configure adecuadamente su pineado como transmisión o recepción. De este modo, los *switches* se pueden interconectar con un cable recto sin necesidad de utilizar un cable cruzado.



Figura 2.10. Conector DB-9.

Otro conector muy utilizado con cable de par trenzado es el RJ-11, de gran difusión en redes telefónicas, y que utiliza 6 pines, aunque en la mayoría de las implementaciones domésticas solo utiliza 2 pines.

El conector DB-9, también denominado RS-232, es un conector de 9 pines utilizado para comunicaciones en serie asíncronas. Este tipo de conectores suelen ser necesarios para poder configurar electrónica de red (enrutadores y conmutadores) en entornos corporativos.

2.4 CABLE DE FIBRA ÓPTICA

La **fibra óptica** (*optic fiber*) es un medio de transmisión consistente en un hilo muy fino de material transparente, vidrio o materiales plásticos, por el que se transmite luz (campo electromagnético en frecuencias en el orden de los THz) pulsada que codifica los datos a transmitir. Ejemplos de fuentes de luz empleadas en la transmisión de información en telecomunicaciones son los diodos láser y los diodos LED. En recepción se emplean fotodetectores.

La fibra óptica es de extendida utilización en infraestructura de telecomunicaciones, ya que permite una elevada velocidad de transmisión de datos (superiores a 1 Gbps) con una atenuación muy baja, lo que permite conectar equipos separados varios kilómetros de distancia. Es por eso que la fibra óptica se emplea tanto en redes locales de alto rendimiento como en telecomunicaciones transoceánicas.

El medio de transmisión consiste básicamente en dos cilindros coaxiales de vidrios transparentes y de diámetros muy pequeños (hay tipos de fibra óptica de aproximadamente el diámetro de un cabello humano). El cilindro interior se denomina núcleo y el exterior se denomina envoltura, siendo el índice de refracción del núcleo algo mayor que el de la envoltura. El conjunto está envuelto por una capa protectora. El componente básico del cilindro interior es el dióxido de silicio, muy común en la naturaleza (arena de playa), por lo que la materia prima es barata, no así su proceso de fabricación (técnicamente complejo) e instalación.

En la superficie de separación entre el núcleo y la envoltura se produce un fenómeno de reflexión total de la luz, debido a la diferencia en el índice de refracción entre ambos materiales. El haz de luz transmitido queda idealmente confinado en la fibra óptica, propagándose por su interior con un ángulo de reflexión por encima del ángulo límite de reflexión total determinado por la ley de Snell. La atenuación de la luz en la fibra óptica se debe a pérdidas en el confinamiento, a curvaturas de la fibra óptica y a impurezas existentes en la fibra. No obstante, la luz transmitida por la fibra óptica es inmune a interferencias electromagnéticas de señales externas en el rango de frecuencias de las señales de radiofrecuencia (desde 0 Hz hasta GHz).

El camino que sigue la luz a través de la fibra óptica se denomina **modo de propagación**. Si el diámetro de la fibra es lo suficientemente elevado, la luz codificada en pulsos puede inyectarse en la fibra formando un ángulo elevado de modo que se produzcan gran cantidad de rebotes de los pulsos emitidos a lo largo de la fibra, lo que puede ocasionar una llegada desordenada de los bits (representación lógica de los pulsos de luz) al fotodetector, puesto que los pulsos que reboten más veces tendrán que recorrer una distancia mayor confinados en la fibra que aquellos que lo hagan con menos rebotes. En estos casos, se dice que la luz sigue múltiples modos de propagación. Si la luz se inyecta de manera perpendicular a la fibra, en el caso ideal, no se producirán rebotes y entonces la luz sigue un único modo de propagación.

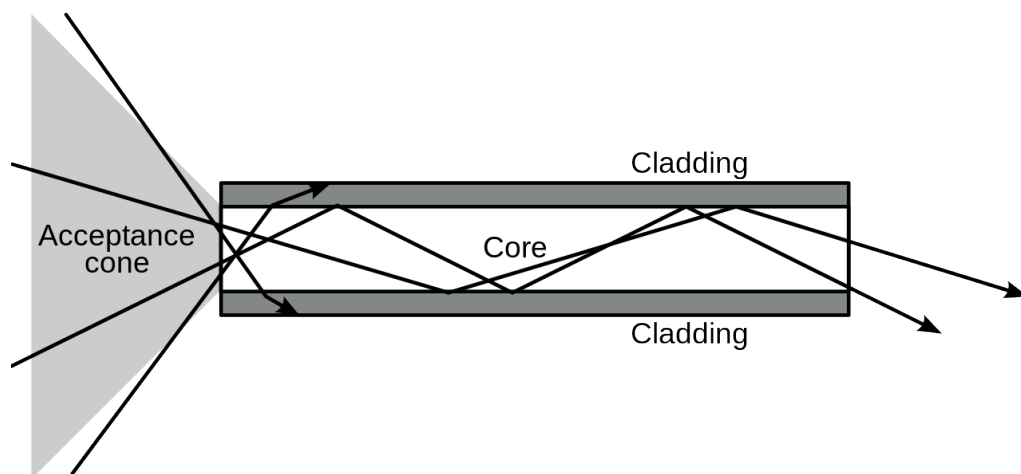


Figura 2.11. Propagación multimodo de la luz en fibra óptica.

Los cables de fibra óptica suelen clasificarse en dos categorías según su diámetro:

- **Fibra monomodo** (SMF, *Single Mode Fiber*): De diámetro reducido para que solo exista un modo de propagación de la luz. La longitud de onda de la fuente de luz se encuentra comprendida en el rango de 1310 a 1550 nm (tercera ventana de transmisión).
- **Fibra multimodo** (MMF, *Multi-Mode Fiber*): De mayor diámetro que la fibra monomodo. Inyección de la luz. La longitud de onda de la fuente de luz se encuentra en el rango de 850 a 1300 nm (primera y segunda ventana de transmisión). Permite menores distancias de propagación que la fibra monomodo. No obstante, su coste lineal es menor.

Existen diferentes conectores para la fibra óptica:

- ST (*Stright Tip*) o bayoneta: conector habitual de la fibra multimodo.
- SC (*Square Connector*) o estándar.
- LC (*Little Connector*).
- MTRJ (*Media Termination Recommended Jack*): une dos fibras (transmisión y recepción) en un único conector. Utilizado en conexiones dúplex multimodo.

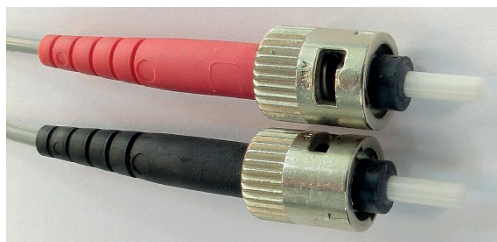


Figura 2.12. Conector ST.



Figura 2.13. Conector SC.



Figura 2.14. Conector LC.



Figura 2.15. Conector MTRJ.

2.5 CONVERSORES DE MEDIOS

Existen escenarios donde puede resultar necesario realizar una conversión de un tipo de medio físico a otro. Esta conversión se realiza empleando un dispositivo denominado conversor de medios, el cual dispone de las interfaces de los medios a convertir y de la electrónica necesaria para realizar la conversión. Existen distintos tipos de conversores de medios, clasificados según las interfaces empleadas.

2.5.1 FIBRA MONOMODO A ETHERNET

Estos dispositivos aceptan un conector de fibra monomodo y un conector Ethernet y convierten la señal entre ambas interfaces.



Figura 2.16. Conversor Fibra monomodo a Ethernet.

2.5.2 FIBRA MULTIMODO A ETHERNET

Estos dispositivos aceptan un conector de fibra multimodo y un conector Ethernet y convierten la señal entre ambas interfaces.



Figura 2.17. Conversor Fibra multimodo a Ethernet.

2.5.3 FIBRA ÓPTICA A COAXIAL

Estos dispositivos aceptan un conector de fibra y un conector coaxial y convierten la señal digital entre ambas interfaces.



Figura 2.18. Conversor Fibra Coaxial.

2.5.4 ETHERNET A COAXIAL

Estos dispositivos aceptan un conector Ethernet y un conector coaxial y convierten la señal entre ambas interfaces.



Figura 2.19. Conversor de Ethernet a coaxial.

2.5.5 FIBRA ÓPTICA MONOMODO A FIBRA ÓPTICA MULTIMODO

Estos dispositivos aceptan un conector de fibra óptica monomodo y un conector de fibra óptica multimodo y convierten la señal entre ambas interfaces.



Figura 2.20. Conversor de fibra monomodo a fibra multimodo.

2.6 BPL

El estándar IEEE 1901 de febrero de 2011 establece las características de conectividad a banda ancha empleando la red eléctrica (BPL, *Broadband over Power Line*). BPL también puede ser referenciado como PLC (*Power Line Communication*) o PDSL (*Power Line Digital Subscriber Line*). Se espera que esta tecnología tenga una rápida expansión en un futuro cercano con la aparición de los *smart meters* e IoT (*Internet of Things*), puesto que permite a las operadoras eléctricas recoger información del consumo eléctrico de los electrodomésticos y dispositivos electrónicos conectados a una toma de corriente.

BPL permitirá conectar un dispositivo a una toma de corriente eléctrica y suministrar un ancho de banda superior a 500 Mbps a distancias de 1.500 metros.

Uno de los principales inconvenientes de esta tecnología es el ruido blanco que se genera en el cableado de la red eléctrica. Además, dado que el cableado de la red eléctrica no está apantallado y la frecuencia de transmisión de la información coincide con la de la transmisión inalámbrica de onda corta, se producirá interferencia con estas comunicaciones.

2.7 DISTRIBUCIÓN DE CABLE

Tras decidir el tipo cableado y conectores a emplear en la red, el medio físico debería ser instalado como parte de un sistema jerarquizado de distribución de cable.

En general, en un entorno corporativo donde se utilice topología de red en estrella, el cableado procedente de los puestos de usuario converge en puntos comunes de las instalaciones denominados *wiring closets*, que según la entidad de la organización pueden consistir físicamente desde un bastidor o *rack* de comunicaciones a un CPD (Centro de Proceso de Datos). En estos *racks* se instalan, entre otros, los *patch panels*, puentes/*switches* y *routers*.

Un panel de conexiones (*patch panel*) sirve como organizador de las conexiones de la red, permitiendo interconectar rápidamente cables procedentes del usuario final con los dispositivos de conexión de red. En un entorno corporativo físico de cierto tamaño (por ejemplo, dividido en varias plantas) existirán múltiples *patch-panels*.

Los dos tipos más utilizados de bloques de interconexión son:

- Bloque 66 (*66 block*): Utilizado tradicionalmente en entornos corporativos para interconectar cableado telefónico. Posteriormente fue utilizado en LAN de 10 Mbps con cableado UTP Cat 3, pero sus características eléctricas se ven especialmente afectadas por la diafonía (*crosstalk*), lo que impide su uso en redes 100 Mbps o superiores.
- Bloque 110 (*110 block*): Dado que sus características eléctricas son mejores que las de Bloque 66, es utilizado en redes LAN de 100 Mbps con cable UTP Cat 5 o superiores.

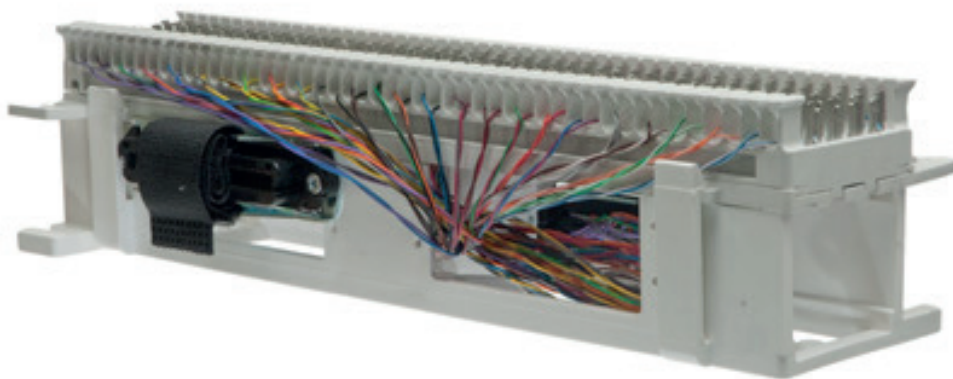


Figura 2.21. Interconexión Bloque 110.

Se denomina IDF (*Intermediate Distribution Frame*) el punto donde converge el cableado de red de los puestos de usuario final próximos. El punto donde convergen los distintos IDF de un entorno corporativo local se denomina MDF (*Main distribution Frame*). El MDF es además el punto terminal de la conexión WAN, es decir, el punto al que llega el cableado del proveedor de servicios.

2.8 NORMATIVA DE SEGURIDAD FÍSICA Y ELÉCTRICA DE DISPOSITIVOS DE RED

Las Normas son un conjunto de recomendaciones realizadas para evitar diferentes problemas en la instalación de los dispositivos, pero también protegen la inversión realizada en hardware por el cliente.

Los componentes, el diseño y la instalación de cableado estructurado debe realizarse acorde a una normativa o estándar que dé cobertura a cualquier tipo de red local de datos, voz y otros sistemas de comunicaciones, sin necesidad de recurrir a soluciones propietarias de un único proveedor (Ej. Cisco, Paloalto Networks, etc.).

TIA/EIA-568 es un conjunto de estándares de la TIA (*Telecommunications Industry Association*), una filial de la EIA (*Electronic Industries Alliance*), relativos al cableado de edificios comerciales para productos y servicios de telecomunicaciones. La revisión C es la vigente desde 2014, reemplazando la revisión B de 2001, y esta a su vez a la A de 1991, ambas obsoletas.

El estándar ISO/IEC 11801 establece estándares similares para redes de cable, tanto de cobre como de fibra óptica.

El grueso del estándar define tipos de cableado, distancias de transmisión, conectores, arquitecturas de sistemas de cableado, estándares de terminación de cableado y características de rendimiento, requisitos de instalación de cableado y métodos de verificación del cableado instalado.

- TIA/EIA-568-C.1: definición de requisitos generales.
- TIA/EIA-568-C.2: definición de componentes de los sistemas de cable balanceado de par trenzado.
- TIA-568-C.3: definición de componentes de los sistemas de fibra óptica.
- TIA-568-C.4: definición de los componentes de sistemas de cable coaxial.

La intención de estos estándares es facilitar prácticas recomendadas para el diseño e instalación de cableado que soporte una gran variedad de servicios presentes y futuros. Los desarrolladores esperan que los estándares permitan al menos una vida útil de diez años a los sistemas de cableado comercial.

Otros estándares relacionados son el TIA-569-C-1 de febrero de 2013 de espacios y canalizaciones para telecomunicaciones, ANSI/TIA-570-C de agosto de 2012 que define el cableado residencial, ANSI/TIA-606-B de junio de 2012 de estándares de administración, TIA-607-B-2 de agosto de 2013 de tomas de tierra y aterramientos, y TIA-758-B de abril de 2012 de cableado de exteriores.

El Código de Seguridad Vital, conocido como NFPA 101 (*National Fire Protection Association 101*), es un estándar de amplia adopción en EE.UU.

La parte principal del estándar hace referencia a las características de construcción, protección y habitabilidad necesarias para minimizar el riesgo para la vida de los efectos del fuego, incluidos el humo, el calor y los gases tóxicos producidos durante un incendio.

La norma NFPA 75 de 2013 está dedicada al establecimiento de requisitos para la protección de locales con equipos informáticos contra incendios (detección y supresión). La aplicación de la norma se basa en consideraciones de riesgo ante un incendio, incluyendo aspectos de cese de negocio en Banca, Finanzas o Sanidad. Incluye una sección dedicada a la utilización de HVAC (*Heat Ventilation and Air Conditioning*) en locales con equipos informáticos.

La norma NFPA 76 de 2012 está dedicada a la protección contra incendios en instalaciones de telecomunicaciones. Establece los requisitos para la protección de locales que brindan al público servicios telefónicos, inalámbricos, de datos, Internet y vídeo. Además, establece las medidas para la seguridad humana para sus ocupantes, la protección del equipamiento del local y la continuidad del servicio prestado en las instalaciones.