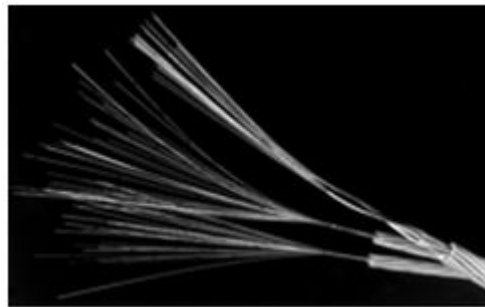


3. FIBRA ÓPTICA

La fibra óptica consiste en un hilo largo, delgado y flexible de vidrio o de otro material transparente (plástico), capaz de conducir en su interior una señal óptica, generalmente producida por una fuente láser.

Comparando con otros medios guiados como el cable coaxial o el par trenzado, la fibra óptica tiene un peso más ligero, menor atenuación y mayor anchura de banda y no presenta disipación térmica. Como contrapartida, las instalaciones de fibra óptica son caras y deben realizarse de forma cuidadosa para evitar su rotura. También la conexión de dos fibras es más compleja y delicada que la de los cables metálicos.

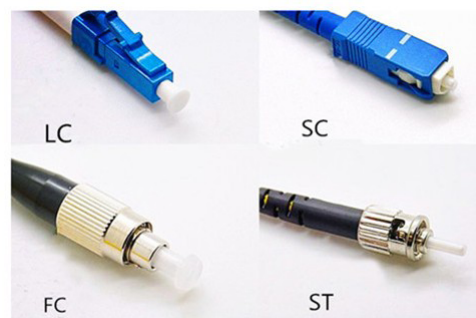
Figura 9. Fibra óptica



Características físicas de la fibra óptica

- Las fibras pueden estar compuestas de sílice de alto grado, vidrios compuestos o compuestos moleculares de orden elevado. Un ejemplo serían las fibras POF de plástico transparente, más baratas y flexibles que las de vidrio o sílice, pero con menor alcance y ancho de banda.
- Diámetro pequeño, peso ligero y pequeño radio de curvatura.
- Conectores: el conexionado de fibra es complicado, debiendo utilizarse conectores sofisticados y caros. Existe una gran oferta de conectores en el mercado, como por ejemplo: ST, SC, LC, FC, MTRJ, GBIC (Gigabit Interface Converter), Mini-GBIC (también denominado SFP, Small Form Pluggable), etc. Además hay que tener en cuenta el tipo de pulido de las fibras para el correcto alineamiento de los núcleos de las fibras conectadas. Los conectores SC son denominados de abonado (Subscriber Conector) y se emplean normalmente en redes GPON, para conectar el ONT en el hogar (fibra óptica para los usuarios domésticos). El conector LC Lucent es doble y suele emplearse en las instalaciones de comunicaciones profesionales, como los CPDs.

Figura 10. Ejemplo de conectores de fibra óptica



Comportamiento en transmisión

- Vista en sección la fibra, se aprecia un núcleo circular de vidrio rodeado por una cubierta de otro tipo de vidrio y todo el conjunto envuelto en un revestimiento opaco. El índice de refracción del núcleo (n_1) es ligeramente superior al de la cubierta (n_2). Debido a esto, los rayos de luz del núcleo que inciden en la interfaz entre los dos materiales, en un ángulo rasante, vuelven a reflejarse al núcleo. Por consiguiente, las señales ópticas se propagan dentro del núcleo por sucesivas reflexiones totales internas hasta el extremo opuesto de la fibra. El índice de refracción de un medio es igual a la velocidad de la luz en el vacío (300.000 km/s) dividido entre la velocidad de la luz en ese medio.
- Ventanas de funcionamiento. La estandarización de comunicaciones ópticas define unas ventanas o valores de longitud de onda (λ) en torno a los que funcionan las fibras ópticas. Estas ventanas de funcionamiento se encuentran en la zona infrarroja del espectro y establecen los valores que optimizan las transmisiones ópticas. Por ejemplo: la segunda ventana es la que presenta una menor dispersión y la tercera es la que menor atenuación tiene. Una fibra debe ser iluminada por una fuente que emita en unos valores de longitud de onda coherentes con las ventanas de funcionamiento especificadas por el fabricante de la fibra óptica:
 - 1.^a ventana: 850 nm (nm=nanómetros, 10^{-9} m).
 - 2.^a ventana: 1.310 nm.
 - 3.^a ventana: 1.550 nm, compuesta de 3 bandas:
 - Banda S: 1.510-1.535 nm.
 - Banda C: 1.535-1.570 nm.
 - Banda L: 1.570-1.610 nm.
 - 4.^a ventana: 1.625 nm.
- Las fibras ópticas tienen una gran capacidad de transmisión de información dado su gran ancho de banda. Los valores típicos de velocidad se sitúan en torno a varios Gbps (1, 10, 200 Gbps), alcanzándose incluso el rango de Tbps.
- Baja atenuación o pérdidas. Los repetidores utilizados para amplificar señales están muy separados entre sí (típicamente cada 50 km). Estos amplificadores son ópticos, entre los que se encuentran los populares EDFA (amplificador de fibra dopado de erbio) que trabajan en longitudes de onda en torno a la 3.^a ventana (1.550 nm).

- Ausencia de diafonía, inmunidad frente a interferencias electromagnéticas, ya que la fibra transporta señales ópticas, a frecuencias mucho más elevadas que las señales radioeléctricas tradicionales.
- En los sistemas de transmisión óptica, las señales se transmiten por la fibra en forma de señales ópticas (O). Las señales en el equipo terminal se tratan como señales eléctricas (E). Por tanto, es necesario efectuar conversiones optoelectrónicas E/O y O/E en los terminales emisor y receptor, respectivamente. El conversor E/O convierte una señal eléctrica en una óptica mediante una fuente luminosa –diodo led o láser– que emite luz de intensidad proporcional a la señal eléctrica aplicada. El conversor O/E trabaja a la inversa, por ejemplo, mediante un fotodetector que genera una señal eléctrica proporcional a la luz incidente.
- Las señales ópticas pueden ser pulsos digitales en banda base (sin modular) o pulsos modulados (por ejemplo, se puede modular en amplitud apagando, encendiendo la luz, variando su intensidad, etc.).
- En comunicaciones ópticas se utilizan las técnicas WDM (Wavelength Division Multiplexing, múltiplex por división en longitud de onda); algunas de sus variantes son:
 - DWDM (D = Denso), que permite una mayor concentración de longitudes de onda en las fibras, hasta 40 longitudes de onda por canal. Técnica utilizada en redes de operadores.
 - CWDM (C = *Coarse*, 'disperso'), que permite multiplexar hasta 18 λ 's. Es una técnica menos potente que DWDM, pero también más barata. CWDM es adecuada para su uso en interfaces del tipo 1000-BaseSX en redes de área local o bien en redes metropolitanas con un alcance entre 50-80 km.
- Hay tres modos básicos de explotación de circuitos (aplicable a otros sistemas también y no solo a la fibra óptica):
 - a) Simplex (unidireccional): la transmisión se realiza solamente en un sentido, sin posibilidad de hacerlo en el opuesto. Las instalaciones en modo simplex requieren duplicar el número de fibras para establecer un canal bidireccional entre dos extremos.
 - b) Semidúplex (*half-duplex*): la transmisión se lleva a cabo alternativamente en uno u otro sentido, exigiendo un cierto tiempo para cada inversión que reduce la eficiencia del sistema.
 - c) Dúplex integral (*full-duplex* o bidireccional): consistente en la transmisión simultánea e independiente en ambos sentidos, ya sea enviando datos en los dos, o bien datos en uno y control de los mismos en el otro. Este modo de explotación reporta una gran eficiencia de la línea.
- Se consideran factores de pérdidas de potencia en fibras ópticas los siguientes:
 - Absorción de luz: ocurre cuando las impurezas en la fibra absorben la señal luminosa y esta se convierte en energía calorífica.
 - Dispersión de Rayleigh: causada por la no uniformidad del material del núcleo (o imperfección de la estructura de la fibra).
 - Radiación: se presenta cuando la fibra tiene dobleces. Esto puede ocurrir en la instalación y variación en la trayectoria, cuando se presenta discontinuidad en el medio.
 - Difracción: es el fenómeno en el que una onda de cualquier tipo se extiende después de pasar junto al borde de un objeto sólido o atravesar una rendija estrecha, en lugar de seguir avanzando en línea recta. Se modela matemáticamente mediante dos aproximaciones: Fraunhofer y Fresnel.

3.1. TIPOS DE FIBRA ÓPTICA

A) Atendiendo al modo de propagación, se puede hablar de fibras:

- Monomodo (SM, Single Mode): si el diámetro del núcleo y la diferencia del índice de refracción entre el núcleo y la cubierta son suficientemente pequeños, solo puede propagarse un modo (rayo) en el núcleo.

En fibra monomodo, un ejemplo de dimensiones típicas es 9/125 (diámetro núcleo/diámetro cubierta, expresados en micras). Para iluminar estas fibras se utilizan fuentes precisas como diodos láser, por ejemplo el tipo VCSEL (Vertical Cavity Surface-Emitting Laser o láser de emisión superficial en cavidad vertical). Las fibras monomodo suelen utilizarse con señales ópticas en 2.^a, 3.^a y 4.^a ventanas.

- Multimodo (MM, MultiMode): en estas fibras la señal luminosa introducida se propaga mediante varios modos (rayos) y queda repartida la potencia total de origen entre estos. Los modos son las distintas soluciones a las ecuaciones de Maxwell que modelizan la propagación de señales ópticas. Cada modo agrupa fotones con un mismo nivel energético, que se propagan con un determinado ángulo de incidencia en las paredes del núcleo. Por esta razón, los modos tienen diferentes velocidades de propagación (los habrá más rápidos o más lentos) y recorren diferentes distancias, llegando a la salida de la fibra desfasados. Este fenómeno se denomina «dispersión modal». La dispersión que introduce una fibra se refleja en el ensanchamiento o distorsión de los pulsos transmitidos. Este efecto puede llegar a ser especialmente preocupante en las fibras MM.

La dispersión modal ocasiona una reducción del ancho de banda y, consiguientemente, una limitación en la velocidad a transmitir. Si el radio del núcleo y/o los índices de refracción se reducen, llega un momento en el que solo se propaga el modo fundamental (las ecuaciones de Maxwell tienen una única solución), que transporta toda la información o energía, denominándose entonces «fibra monomodo». En las fibras monomodo desaparece la dispersión modal.

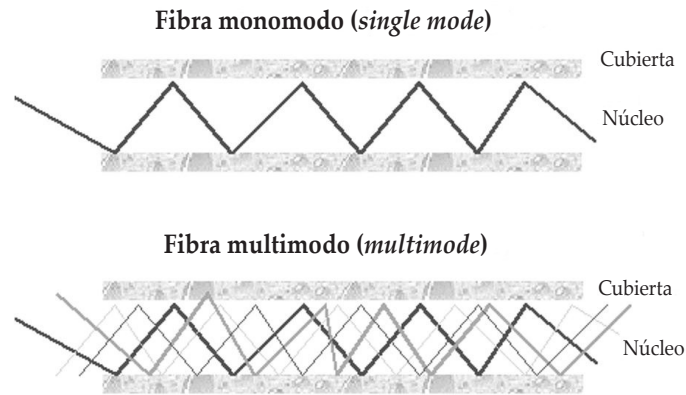
Las dimensiones típicas (diámetro núcleo/diámetro cubierta) de la fibra multimodo son 50/125 micras o 62,5/125 micras. Como puede observarse, el núcleo es de mayor diámetro que en fibras monomodo. Las fibras multimodo se utilizan generalmente en 2.^a ventana, aunque también pueden trabajar en 3.^a ventana. La primera ventana en este momento se utiliza bastante menos.

Las fibras monomodo tienen mayor ancho de banda y capacidad que las multimodo. Sin embargo, su instalación y conexión resultan más complicados, además de implicar un mayor coste, debido a las fuentes láser y la optoelectrónica utilizadas.

Figura 11. Dispersión o ensanchamiento de los pulsos digitales de entrada



Figura 12. Dispersión o ensanchamiento de los pulsos digitales de entrada



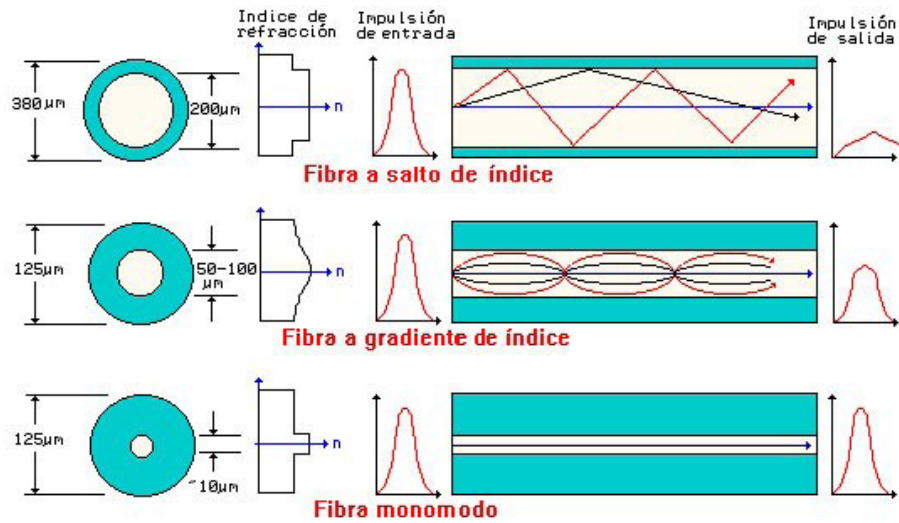
De forma general, puede decirse que los alcances máximos (sin repetidor) para los distintos tipos de fibra óptica son:

Tipo de fibra	Alcance en banda base (sin modular)	Alcance con modulación
Monomodo	20 km	50 km
Multimodo	2 km	20 km

B) Según el perfil del índice de refracción, las fibras pueden ser:

- Índice escalonado o de salto de índice: el índice de refracción es constante dentro del núcleo y disminuye bruscamente en la interfaz con la cubierta. En las fibras multimodo de índice escalonado, pueden darse valores no deseables de dispersión modal o ensanchamiento de los pulsos digitales y, como consecuencia, interferencias entre símbolos y una reducción de la fiabilidad y calidad del sistema. Para contrarrestar la dispersión, las fibras multimodo pueden ser de índice gradual. En las fibras monomodo el núcleo tiene un radio muy pequeño y se ha mantenido el índice escalonado.
- Índice gradual: el índice de refracción cambia gradualmente con la componente radial del núcleo. Este perfil se utiliza con fibras multimodo.

Figura 13. Fibra MM con índice escalonado/Fibra MM con índice gradual y fibra monomodo



3.2. NORMALIZACIÓN

Existen distintos tipos normalizados o categorías de fibra óptica según ISO/IEC 11801 tanto del tipo monomodo (OS = Optical Single-mode) como del multimodo (OM = Optical Multi-mode). Estos son:

- OS1: fibra óptica monomodo. Dimensiones: 9/125 μm . Se utiliza en segunda y tercera ventana. Atenuación máxima de 1 dB/km.
- OS2: fibra óptica monomodo. Dimensiones: 9/125 μm . Se utiliza en segunda y tercera ventana. Atenuación máxima de 0,4 dB/km. Fue definido en ISO/IEC 24702 y adoptado por ISO/IEC 11801.
- OM1: fibra óptica multimodo. Dimensiones: 62,5/125 μm . Ancho de banda de 200 MHz y atenuación de 3,5 dB en primera ventana. Alcance: 330 metros a 1 Gbps. Utiliza emisores led.
- OM2: fibra óptica multimodo. Dimensiones: 50/125 μm . Ancho de banda de 500 MHz y atenuación de 3,5 dB en primera ventana. Alcance: 550 metros a 1 Gbps. Utiliza emisores led.
- OM3: fibra óptica multimodo optimizada para láser. Ancho de banda de 1.500 MHz y atenuación de 3,5 dB en primera ventana. Dimensiones: 50/125 μm . Alcance: 300 metros a 10 Gbps. Utiliza emisores VCSEL (Vertical Cavity Surface-Emitting Laser).
- OM4: fibra óptica multimodo optimizada para láser. Dimensiones: 50/125 μm . Alcance: 550 metros a 10 Gbps y 125 metros a 40-100 Gbps. Utiliza emisores VCSEL. Mejora OM3 y es ampliamente utilizada en *data centers*.
- OM4+: mejora OM4, con la posibilidad de transmitir señales a 40-100 Gbps hasta un alcance de 300 metros.
- OM5: fibra óptica multimodo de banda ancha (WBMMF), definida en ANSI/TIA-492AAAE. Se creó para admitir la multiplexación por división de longitud de onda corta (SWDM), que es una de las numerosas tecnologías que se están desarrollando para transmitir 40 Gbps, 100 Gbps y velocidades superiores. Amplía el alcance de OM4, aunque no significativamente, por lo que no justifica el incremento de precio frente a aquella.

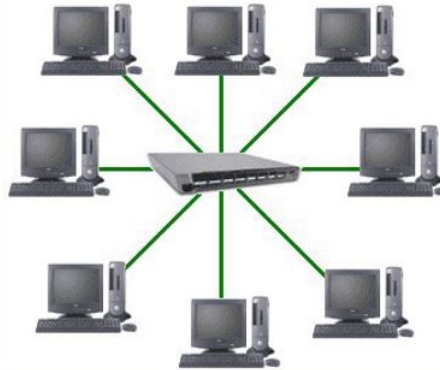
4. TIPOLOGÍA DE REDES DE CABLE

4.1. TOPOLOGÍA DE UNA RED

Se entiende por topología física de una red a la distribución geográfica de los elementos que la componen. Es decir, sería la «foto» o aspecto físico de la red. Las principales topologías de una red de cable son:

- Topología en estrella. En esta topología existe un nodo central al que se conectan el resto de los elementos de la red. Esta estructura tiene como inconveniente que el fallo del nodo central hace que falle toda la red; sin embargo, su principal ventaja es la inmediatez en la localización de averías.

Topología en estrella



- Topología en bus. Todas las estaciones están conectadas a un bus (cable o línea). El inconveniente de esta topología es la difícil localización de las averías, ya que estas pueden haberse producido en cualquier tramo del bus. Además, si se rompiera el bus en uno de esos tramos, toda la red fallaría debido a que la señal no encuentra el terminador de línea. Esta topología es vulnerable a la atenuación, ya que pierde señal a través de la distancia del cable.

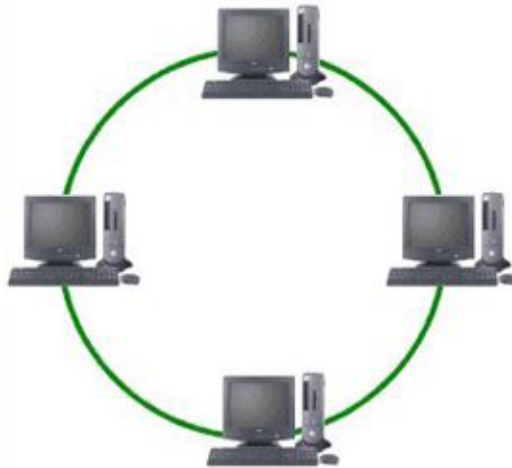
Topología de bus



- Topología en anillo. Todas las estaciones están conectadas una a continuación de otra formando un anillo. El principal inconveniente de esta topología es que, en caso de rotura de un tramo del anillo, perdemos la posibilidad de llegar a algunas estaciones (el anillo solo

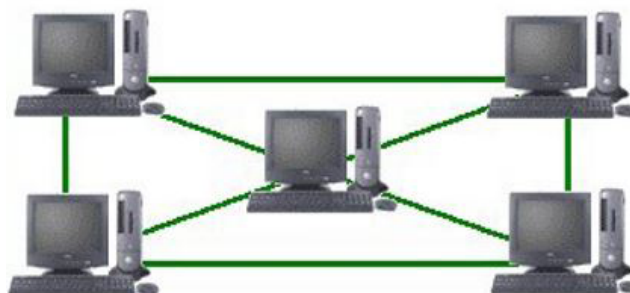
transmite la información en un sentido). Para solventar esto, se suelen utilizar anillos dobles, proponiendo el segundo anillo como *backup* en caso de fallo o de uso simultáneo con rotación inversa respecto al primero.

Topología en anillo



- Topología en malla (*mesh*). También se la conoce como grafo, red o completa. Cada estación se conecta a todas las demás, siendo el modelo de conexión «todos con todos». El inconveniente de esa topología es su baja escalabilidad y el gran número de enlaces a implementar: para N estaciones, el número de enlaces es de $N*(N - 1)/2$. Sin embargo, la ventaja de esta topología es su seguridad frente a roturas de enlaces de la red, al existir múltiples caminos físicos redundantes entre dos estaciones.
-

Topología en malla completa

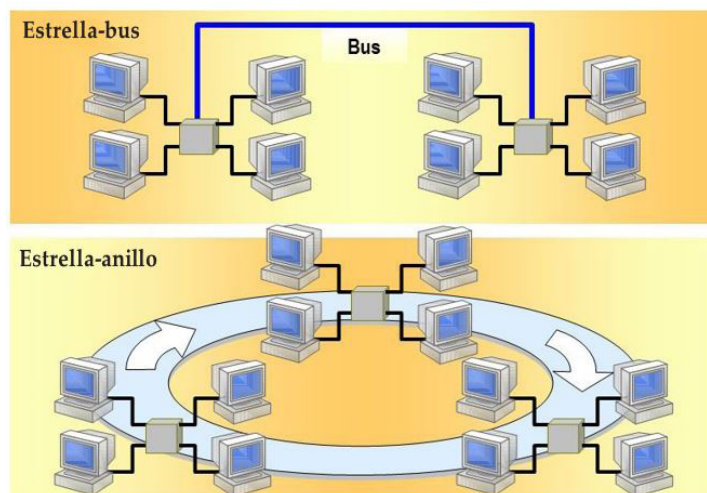


- Topología en árbol o jerárquica. Existe un nodo raíz al que se conectan otros, y así sucesivamente.

Topología en árbol



- Topología híbrida o mixta. Es una combinación de cualesquiera de las anteriores: estrella-anillo, bus-estrella, etc.



4.2. SISTEMAS DE CABLEADO

Un sistema de cableado puede soportar de manera integrada o individual los siguientes sistemas y otros no enumerados:

- Sistemas de voz: centralitas (PABX, Private Automatic Branch Exchange), distribuidores de llamadas (ACD, Automatic Call Distributor), teléfonos analógicos y digitales, etc.
- Sistemas telemáticos: redes locales, conmutadores de datos, controladores de terminales, líneas de comunicación con el exterior, etc.
- Sistemas de control: alimentación remota de terminales, calefacción, ventilación, aire acondicionado, alumbrado, etc. Protección de incendios e inundaciones, sistema eléctrico, ascensores. Alarmas de intrusión, control de acceso, vigilancia, etc.

En caso de necesitarse un sistema de cableado para cada uno de los servicios, al sistema de cableado se le denomina «específico»; si por el contrario, un mismo sistema soporta dos o más servicios, entonces se habla de «cableado genérico».

El sistema de cableado con que se dota a un edificio es un componente fundamental de la infraestructura en las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) con que cuenta una organización. Si bien la vida útil de los equipos y los programas (*hardware* y *software*) no supera los 5 años, la de los cableados está censada entre los 20 y 25 años. Esta última aproximación es general, ya que la vida útil variará en función de la aplicación del cable (telefonía, datos, etc.). Por ejemplo, los proveedores de cableado de par trenzado establecen un periodo de caducidad del cable de 10 años a partir de su fabricación. No obstante, parece evidente la necesidad de dotar a la organización de una infraestructura capaz de adaptarse lo mejor posible a los cambios tecnológicos que se sucederán durante su ciclo de vida.

Por todo ello, los requisitos que se exigen a un sistema de cableado son:

- Una capacidad de crecimiento, mediante el establecimiento de una modularidad dentro del propio cableado que le permita añadir nuevos componentes.
- Debe ser capaz de absorber las nuevas tecnologías de forma que los componentes a añadir al sistema de cableado sean los mínimos posibles.
- Debe contar con un alto grado de flexibilidad: tanto por permitir el empleo de tomas universales como por proporcionar una movilidad del personal dentro del entorno de trabajo, sin necesidad de grandes cambios.
- Debe ser un sistema fiable con mínimas interrupciones en el servicio y con un costo y tiempo de reparación razonable.
- Debe permitir una fácil identificación y gestión de los circuitos de información.

Sistemas de cableado estructurado

La aparición de los sistemas de cableado estructurado (SCE) o sistemas de cableado genéricos se basa en la necesidad estratégica para una organización de considerar a largo plazo sus necesidades y requerimientos de comunicaciones. Por cableado estructurado se entiende un sistema de distribución integral de comunicaciones (voz, datos, vídeo, etc.) basado en la normalización de los cables, conectores y adaptadores de todas las comunicaciones a las que da soporte.

Hoy en día es posible instalar un sistema universal que sea totalmente transparente a los usuarios, una «red universal independiente de las aplicaciones». Como resultado, las cuestiones principales que deben resolverse a la hora de instalar una red de este estilo no son tanto las aplicaciones a las que van a servir como el sistema de cableado mismo, el número de edificios, el número de plantas por edificio, el espacio disponible y las distancias a cubrir. Los tres subsistemas de un cableado estructurado son:

- El subsistema de campus. Se denomina así al subsistema de cableado que permite interconectar edificios en el entorno local de un campus universitario, parque tecnológico, etc. La interconexión con el cableado de cada edificio se realiza en el armario de distribución del edificio (generalmente, situado en la planta baja o sótano del mismo).
- El subsistema troncal (o vertical). Se trata del subsistema de cableado que interconecta las plantas del edificio convirtiéndose en la espina dorsal, a partir de la cual se distribuyen las conexiones de cada planta. Este subsistema interconecta los cuadros de distribución de cada planta (generalmente, situados en un cuarto o un armario de conexiones) con el armario principal de distribución del edificio.

- El subsistema horizontal. Se trata del sistema de cableado que, partiendo de los cuadros de distribución de planta, llega a las rosetas (puntos de conexión) situadas en la pared o el mismo suelo y en las que el usuario conecta su terminal (de voz o datos).

Así pues, la topología básica es una estrella (o estrella modificada), independientemente de la topología lógica de la red de datos que se pretenda instalar (anillo, bus, punto a punto, etc.), dado que todas las demás topologías son adaptables a esta. Se pretende que con simples cambios en los armarios o cuadros de distribución, puedan realizarse reasignaciones de puestos aprovechando las ventajas de mantenimiento que supone un cableado en estrella.

A continuación se realiza una descripción más detallada de los distintos elementos que componen los subsistemas anteriores, partiendo del elemento más próximo al usuario, la roseta o punto de conexión:

- Punto de conexión: el punto de conexión para el usuario son las rosetas, en las que se encuentran alojados conectores hembra tipo RJ11 (de 6 o 4 contactos). Esta clase de conector tiende a desaparecer debido a la sustitución en el ámbito de las organizaciones de la telefonía tradicional por la basada en VoIP, RJ45 (de 8 contactos para cables UTP) o RJ49 (para cables STP).
- Cableado horizontal: el segmento de cable que interconecta las rosetas con el cuadro de distribución de planta constituye el cableado horizontal, el cual debe ser apto para la transmisión de diferentes tipos de tráfico (voz, datos, vídeo, etc.). Esto se consigue mediante el empleo de cables normalizados del tipo UTP (par trenzado sin apantallar) o STP (par trenzado apantallado).

Según la norma ANSI/TIA/EIA/568-C, el cableado horizontal entre el cuadro de distribución (en armario de planta) y la roseta debe emplear una topología en estrella con una longitud máxima de 90 metros. Este mismo tipo de cableado será el empleado para la interconexión del equipo a la roseta; para ello se dispondrá de latiguillos terminados en conectores macho RJ45 en ambos extremos y de una longitud típica de 3 metros.

- Cuadro de distribución de planta: un elemento fundamental en este esquema de conexión es el cuadro o armario de distribución de planta, al que llegan los cables que componen el tendido horizontal de cables descrito anteriormente. Dicho armario deberá, por tanto, soportar los módulos de repartición desde los que se reconfigura la parte de red que compone el tendido horizontal de calles (los cambios de puestos de trabajo se llevan a cabo a nivel de módulos de repartición en el cuadro de distribución), así como soportar los distintos componentes activos empleados en nuestra red.

La norma EIA/TIA 569 establece como mínimo un armario por planta (cada 1.000 m²). Estos armarios pueden contar con los siguientes elementos:

- Bastidores de repartición. Están formados por una estructura autoportante metálica, que cuenta con uno o dos raffles, sobre los que se efectúa el montaje de distintos tipos de módulos por presión. Estos raffles pueden tener dos tipos de perfiles: el estándar HPLU o en U. Para la distribución y agrupación de los cables deberá contar con canaletas de PVC de gran sección y anillos pasacables.
- Módulos de repartición. Son los elementos empleados para realizar la conexión de los cables procedentes de los puestos de trabajo, las conexiones de los locales de repartición y las conexiones de los equipos activos. Estos módulos se insertan en los raffles de los bastidores de repartición, siendo aconsejable formar conjuntos separados de módulos (en función de sus destinos o el equipo al que pertenezcan) con el fin de facilitar su identificación y utilización.

- Bastidor para montaje de equipos activos. Estos bastidores permitirán montar diversos equipos de transmisión de datos, como pueden ser *switches* o conmutadores de redes Ethernet, *routers*, etc., que se encuentran adaptados al formato de 19" (pulgadas).
- Cableado vertical. El cableado vertical o troncal es considerado la columna vertebral del sistema de distribución. En los edificios con varias plantas este cableado realiza la interconexión entre ellas y con los centros principales de distribución.
- Para ello, este subsistema puede ser tan solo una extensión física de los cables que llegan a los cuadros de distribución de planta hasta el armario principal del edificio (si las distancias lo permiten) o puede constituir otra red en sí misma mediante la cual se interconectan los equipos activos situados en los armarios de distribución de planta.

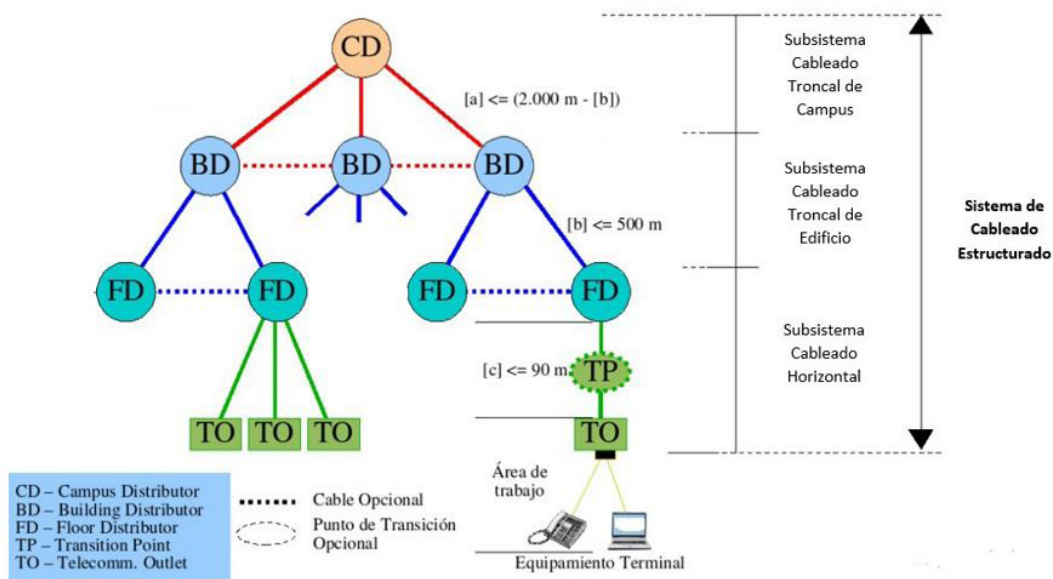
En el primer caso, se emplearían cables de pares (100 pares típicamente) que dan continuidad física a los cables del tendido horizontal. En el segundo caso, se trata de otra red que dispondrá del cableado más adecuado (típicamente, se utiliza fibra óptica multimodo) en función de la tecnología empleada y las restricciones medioambientales que deba soportar (interferencias, etc.).

- El cableado de campus siempre constituye una red por sí mismo. Para ello, dispone de equipos específicos de transmisión instalados en todos los edificios que interconecta, y es a estos equipos a los que se deberá conectar la red local del edificio. Actualmente sería una red de fibra óptica.

En este tipo de redes las restricciones principales vienen dadas por las distancias a cubrir (los edificios a conectar se encuentran distribuidos sobre un área amplia) y las velocidades y tecnologías a soportar.

La siguiente figura muestra los elementos funcionales básicos de un sistema de cableado estructurado, según establece la norma EN 50173:

Figura 14. Elementos funcionales de un SCE y distancias máximas



NOTA: A la roseta de usuario (TO, Telecommunication Outlet) también se le denomina en castellano TU (Toma de Usuario). El punto de transición (TP, Transition Point) es un elemento opcional que no incrementa la longitud del tramo horizontal. La distancia entre el equipo terminal y el FD (Distribuidor de Planta) no debe superar los 100 metros. ■

Normalización

En el entorno de sistemas de cableado estructurado, las normas vigentes más importantes son las siguientes:

- Norma americana: ANSI/TIA/EIA 568-C.
- Norma internacional: ISO 11801:2017 (3.ª edición).
- Norma europea (transposición de la norma ISO): EN 50173-1; siendo la española: UNE-EN 50173-1.

Las normas anteriores tienen como objetivo la estandarización de los elementos de un sistema de cableado genérico de telecomunicaciones en edificios comerciales para el soporte de un entorno multi-proveedor y multiservicio.

La norma ANSI/TIA/EIA 568-C estudia cada componente de un sistema de cableado de manera aislada, independiente del resto. Esta edición es una revisión de la norma ANSI/TIA/EIA 568-B que consolida los documentos centrales de las recomendaciones originales y todas las adendas, pero cambia la organización, generando una recomendación genérica a todo tipo de edificios. Está compuesta por varias partes:

- TIA/EIA 568-C.0 tiene como objetivo permitir la planificación y la instalación de un sistema de cableado estructurado para todo tipo de instalaciones. Esta norma especifica un sistema que soporta cableados de telecomunicaciones genéricos en un entorno multiproducto y multiproveedor. Varios de los conceptos originalmente indicados en la recomendación ANSI/TIA/EIA 568-B.1 (que era específica para edificios comerciales) fueron generalizados e incluidos en la 568-C.0.
- TIA/EIA 568-C.1 provee información acerca de la planificación, instalación y verificación de cableados estructurados para edificios comerciales. Los aspectos de la anterior recomendación ANSI/TIA/EIA 568-B.1 que aplican únicamente a este tipo de edificios fueron detallados y actualizados en esta nueva recomendación.
- TIA/EIA 568-C.2 detalla los requerimientos específicos de los cables de pares trenzados balanceados, a nivel de sus componentes y de sus parámetros de transmisión.
- TIA/EIA 568-C.3 especifica los componentes de cable de fibra óptica, incluyendo aspectos mecánicos, ópticos y requisitos de compatibilidad.

Por su parte, la norma ISO/IEC 11801:2017 realiza un enfoque más global, centrado en los conceptos de enlace y canal. Incluye seis partes:

ISO/IEC Standard	Título	Descripción
ISO/IEC 11801-1	Part 1: General requirements	Generic cabling requirements for twisted-pair and optical fiber cables.
ISO/IEC 11801-2	Part 2: Office premises	Cabling for commercial (enterprise) buildings.
ISO/IEC 11801-3	Part 3: Industrial premises	Cabling for industrial buildings, with applications including automation, process control, and monitoring.
ISO/IEC 11801-4	Part 4: Homes	Cabling for residential buildings, including 1.2 GHz links for CATV/SATV applications.
ISO/IEC 11801-5	Part 5: Data centers	Cabling for high-performance networks used by data centers.
ISO/IEC 11801-6	Part 6: Distributed building services	Cabling for distributed wireless networks for building automation and IoT (Internet of Things) devices.

Documentación técnica

La documentación que debe suministrar la compañía instaladora de una red de cableado estructurado es tan importante como la calidad de los cables a instalar a la hora de obtener un beneficio de la inversión realizada. La documentación deberá cubrir todos los aspectos que componen el sistema de cableado estructurado, desde el recorrido de los cables hasta la configuración de los repartidores y armarios de distribución. La información básica que deberá estar disponible es del siguiente tipo:

1. Los cables deben estar etiquetados en ambos extremos mediante etiquetas plásticas o en la propia cubierta y empleando siempre tinta indeleble. El etiquetado de los cables debe realizarse de modo que sea adecuado a la estructura del cableado y sea comprensible por sí mismo, evitando el empleo de una simple ordenación numérica que luego hay que consultar en tablas. Un ejemplo es la siguiente numeración: R2/MRI/AD5-003, que puede identificar un cable que discurre desde la Roseta 2 –vía Módulo Repartidor– hasta el Armario de Distribución 5, siendo el cable número 3 de los que siguen el mismo recorrido.
2. Documentación escrita. La documentación escrita que deberá ser entregada a la recepción del proyecto deberá ser la siguiente:
 - Planos del edificio sobre los que se encuentren reflejados los tendidos del cableado correspondiente tanto a la propia red local como a las líneas de distribución de energía del edificio.
 - Tablas de interconexión que identifiquen las conexiones realizadas en cada uno de los armarios de distribución y módulos de reparación. Estas tablas emplearán la misma nomenclatura que en casos anteriores y deberán permitir conocer la disponibilidad de cables y puntos de conexión libres/ocupados en cada momento.
 - Catálogo de material y equipos instalados en cada armario de los cables y el correspondiente *hardware* para interconectarlos entre sí.

Compatibilidad electromagnética (EMC)

EMC se define como la capacidad de un sistema para trabajar satisfactoriamente en un entorno sin interactuar con este, es decir, la capacidad de un circuito, equipo o sistema para operar satisfactoriamente sin aportar niveles de radiación electromagnética inaceptables en su entorno o ser afectado por este.

La normativa en vigor (desde abril de 2016) es la Directiva Europea 2014/30/CE, de obligado cumplimiento dentro de su ámbito de aplicación.

Infraestructura Común de Telecomunicaciones (ICT)

La primera normativa sobre ICT es de 1998 y exigía que los edificios objeto de aplicación contasen obligatoriamente con una infraestructura interior de telecomunicaciones para servicios de comunicaciones, telefonía, banda ancha y televisión. La normativa incluía el despliegue de conductos y cableado. En 2011 la normativa se actualizó incluyendo fibra óptica y cable coaxial para servicios de nueva generación (Real Decreto 346/2011 y Orden ITC 1.644/2011).

Debe existir un proyecto técnico de ICT en:

- Edificios de nueva construcción (a partir de 1998).
- Edificios singulares o centros comerciales.
- Edificios de oficinas.
- Los que vayan a ser alquilados por un periodo superior a 1 año.
- Edificios antiguos que esté previsto ampliar.

Una ICT se divide en tres tipos de redes:

- De distribución: la red que distribuye los servicios entre las plantas del edificio.
- De dispersión: aquella que distribuye los servicios dentro de cada planta hasta el domicilio del usuario.
- De usuario: interna de cada vivienda.

Existen dos elementos importantes dentro de una ICT:

- RITS (Recinto de Instalación de Telecomunicaciones Superior). Se encuentra en la parte superior del edificio. En él se instala el aparato de captación de la señal de televisión. Nunca servicios de telefonía.
- RITI (Recinto de Instalación de Telecomunicaciones Inferior). Es el local o habitáculo donde se instalarán los registros principales correspondientes a los distintos operadores de los servicios de telefonía disponible al público y de telecomunicaciones de banda ancha, así como los posibles elementos necesarios para el suministro de estos servicios. Asimismo, de este recinto arranca la canalización principal de la ICT de la edificación.

En edificios unifamiliares o con hasta 10 viviendas/locales y 4 plantas está permitido poner un recinto único o RITU.

5. MEDIOS NO GUIADOS (RADIO)

Los enlaces radioeléctricos basados en la propagación de las ondas electromagnéticas en el espacio libre son ampliamente utilizados en redes de telecomunicación como medios de transmisión a gran distancia, compitiendo con los medios guiados.

Bandas de frecuencia de radio

El conjunto de frecuencias a transmitir de manera inalámbrica es muy variado y conforma el espectro radioeléctrico. Este espectro se divide en bandas y cada una de esas bandas se asocia a servicios específicos (telefonía móvil, radiodifusión analógica de TV y radio, radares para vigilancia de tráfico aéreo, etc.) para asegurar la protección de los mismos frente a interferencias. En España la división del espectro en bandas se realiza mediante ley. El Estado publica en el BOE el CNAF (Cuadro Nacional de Asignación de Frecuencias). Además, hay determinados servicios que, por sus características de cobertura, requieren la coordinación en términos de frecuencias, potencia de emisión, etc., de los organismos internacionales competentes en la materia.

Banda de frecuencias	Designación	Servicio Típico
3-30 kHz	VLF (Very Low Frequency)	Navegación.
30-300 kHz	LF (Low Frequency)	Ayuda a la navegación.
300-3.000 kHz	MF (Medium Frequency)	Difusión de AM, radio marítima, comunicación guardacostas.
3-30 MHz	HF (High Frequency)	Telégrafo, <i>facsimile</i> (fax); difusión internacional de onda corta; radio <i>amateur</i> ; banda de los ciudadanos; comunicación barco-costa y barco-aeronave.
30-300 MHz	VHF (Very High Frequency)	Televisión, difusión FM, control de tráfico aéreo, policía, radio móvil taxis, ayuda a la navegación.
300-3000 MHz	UHF (Ultra High Frequency)	Televisión, comunicación satélite, radiosonda, radar de supervivencia, ayuda a la navegación. Servicios digitales y analógicos móviles.
3-30 GHz	SHF (Super High Frequency)	Radar a bordo de aviones, enlaces microondas, portadora común para comunicaciones móviles terrestres, comunicaciones satélite. DBS: Direct Broadcasting Services.
30-300 GHz	EHF (Extremely High Frequency)	Radar, experimental.

En la banda de frecuencias de microondas (GHz) se ha definido una subdivisión ampliamente utilizada:

Banda	Frecuencias (GHz)
L	1-2
S	2-4
C	4-8
X	8-12,4
Ku	12,4-18
K	18-26,5
Ka	26,5-40
mm	40-300

A frecuencias superiores las ondas electromagnéticas se corresponden con:

- Infrarrojos: 800 GHz a 400 THz.
- Espectro visible: 400 THz a 750 THz.
- Ultravioleta: 750 THz a 10.000 THz.
- Rayos X: por encima de 10.000 THz.

NOTAS:

- 1 kHz = 10^3 Hz; 1 MHz = 10^6 Hz; 1 GHz = 10^9 Hz; 1 THz = 10^{12} Hz.
- En la banda del espectro visible se ha desarrollado la tecnología de transmisión Li-Fi (Light Fidelity).
- NFC (Near Field Communication) opera en la frecuencia de 13.56 MHz, banda que no necesita de ninguna licencia administrativa para transmitir y que permite la operación a una distancia inferior a 10 centímetros con velocidades de transmisión de 106, 212, 424 y 848 kbps.
- El servicio de eurobaliza (sistema de control ferroviario europeo) para ferrocarriles en España utiliza la frecuencia de 27,095 MHz (según CNAF). ■

5.1. SISTEMAS DE TRANSMISIÓN POR SATÉLITE

Los satélites son elementos repetidores que permiten establecer con gran rapidez un canal de comunicaciones bidireccional basado en radioenlaces con gran alcance. Existe una regulación muy exhaustiva en torno a esta materia (potencia de emisión, calidad, banda de frecuencias, etc.), lo que exige la coordinación de los organismos internacionales competentes en la materia.

En los radioenlaces vía satélite artificial, los satélites reciben la señal de una estación terrestre, la amplifican, cambian la banda de frecuencias y la transmiten a otra estación terrestre. Los satélites artificiales son utilizados como repetidores. Las frecuencias utilizadas se sitúan entre 4 y 11 GHz.

Las redes de satélites trabajan en la banda de frecuencia de microondas (GHz), en torno a los 4-11 GHz. También se utiliza ampliamente la banda Ku (de 12,4-18 GHz), siendo la televisión uno de sus principales usos.

En los sistemas de satélites se utilizan antenas parabólicas. Tipos de antenas utilizadas típicamente son: Casagrain, Gregorian y Offset.

Los sistemas de satélites están formados por varios satélites que giran alrededor de la Tierra en una misma órbita. El número de satélites varía dependiendo del área de la zona de servicio o cobertura que se quiera conseguir. Por ejemplo, un sistema geoestacionario (GEO) necesita 3 satélites para poder tener cobertura global (mundial). El ancho de banda disponible para cada sistema es alquilado a terceros por las empresas que se dedican a explotar este tipo de redes de comunicaciones.

Un sistema de comunicaciones basado en satélites está compuesto de estaciones terrestres y satélites:

- Estaciones terrestres. Se encuentran sobre la superficie de la Tierra, pudiendo ser fijas o móviles. Una estación terrestre incluye antenas, cuyo diagrama de radiación (representación espacial de la zona de captación de señales radioeléctricas) se orienta hacia las antenas del satélite. Estas antenas tienen asignada una frecuencia para emisión (canal ascendente o *uplink*) y otra para recepción (canal descendente o *downlink*). Normalmente, la frecuencia del *uplink* es mayor que la del *downlink*.

- Satélites. Un satélite generalmente pone en comunicación dos estaciones terrestres; entre otros elementos, se compone de antenas orientadas hacia la zona de cobertura, donde se encuentran las estaciones terrestres y paneles solares para captar la energía solar cuando esto sea posible. Es un sistema transpondedor (o *transponder*) que trata las señales recibidas. Esto es, las amplifica, regenera, traslada en frecuencia y «repite» hacia la estación terrestre correspondiente.

La latencia de un sistema de satélites es el tiempo que tarda la información en llegar de la estación terrestre origen a la de destino. Incluye tiempo de subida al satélite, tiempo de proceso en satélite y tiempo de bajada del satélite. Cuanto más alta sea la órbita, mayor será la latencia.

El *handover* es el traspaso de información entre satélites de un mismo sistema. Se utiliza para que la comunicación no se corte, en el caso de que la estación terrestre cambie de satélite prestador de servicio dentro de un mismo sistema satelital.

Tipos de sistemas basados en satélites

Encontramos varios tipos de sistemas:

- HEO (High Earth Orbit o Highly Elliptical Orbit, órbitas muy elípticas). Estos satélites no siguen una órbita circular, sino que su órbita es elíptica. Esto supone que alcanzan distancias mucho mayores en el punto más alejado de su órbita. A menudo se utilizan para cartografiar la superficie de la Tierra, ya que pueden detectar un gran ángulo de superficie terrestre.
- GEO (Geoestacionarios, Geostationary Earth Orbit). Los satélites tienen la misma velocidad de giro que la Tierra, siendo su periodo orbital de 23 horas, 56 minutos y 4,09 segundos. Se encuentran a 35.780 km de altura.
- MEO (Medium Earth Orbit). Su velocidad de giro es mayor que la de la Tierra. Su órbita se encuentra a una altura aproximada de 10.000 km.
- LEO (Low Earth Orbit). Su velocidad de giro es mayor que la de la Tierra. Su órbita se encuentra a una altura entre 250 y 1.500 km.

La altitud aproximada de la órbita de los satélites del sistema GPS (Sistema de Posicionamiento Global) es de 20.200 km y emplean órbitas elípticas HEO.

Ejemplos de sistemas satelitales: Galileo, Hispasat, Iridium (red de satélites diseñada por Motorola para permitir la telefonía vía satélite) y Starlink.

Sistemas VSAT y MSAT

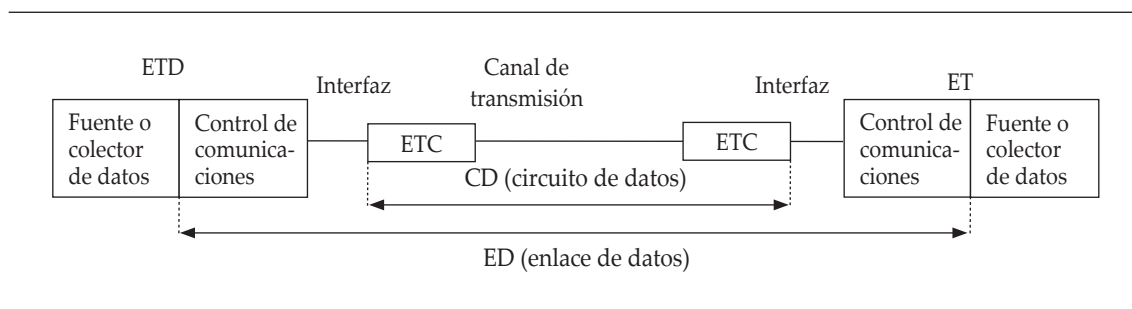
Estos sistemas utilizan multiplexación de usuarios en estaciones terrestres con pequeñas antenas y acceso múltiple de estas al satélite, con el fin de enviar toda la información a un punto central de control. Este tipo de sistemas se utilizan para aplicaciones de telemedida y telecontrol. Si las estaciones terrestres son fijas, estos sistemas se denominan VSAT (Very Small Aperture Terminal) y, si son móviles, MSAT (Mobile Small Aperture Terminal). Un ejemplo de aplicación de VSAT son las redes dispersas de oleoductos.

6. EQUIPOS TERMINALES. CONCEPTOS BÁSICOS

6.1. NOMENCLATURA DE LOS COMPONENTES FÍSICOS

En las redes, los elementos que constituyen un sistema de transmisión de datos entre dos extremos (Fuente o Colector/Receptor) son:

Figura 15



- ETD: Equipo Terminal de Datos.
Contiene: Emisor/Colector + Controlador de Comunicaciones. Por tanto, un ETD cumple dos funciones básicas: ser fuente o destino final de los datos y controlar la comunicación. Este concepto engloba tanto los terminales no inteligentes como los ordenadores personales o el más complejo ordenador.
- ETC: Equipo de Terminación del Circuito de Datos. Su misión consiste en transformar las señales portadoras de la información transmitida utilizadas por los ETD en otras que, conteniendo aquella misma información más alguna adicional de uso exclusivo entre ambos ETC, sean susceptibles de ser enviadas hasta el ETD distante, mediante los medios de telecomunicación clásicos.
- Línea: conjunto de medios de transmisión que unen los dos ETC, cuya constitución dependerá de la distancia, velocidad, etc., y que deben cumplir unas determinadas especificaciones:
 - ED: Enlace de Datos. Unión entre la fuente y el colector de datos, formado por los controladores de comunicaciones. ETC y línea.
 - CD: Circuito de Datos. Conjunto formado por los ETC y la línea, cuya misión será entregar en la interfase con el ETD colector o destino las señales bajo la misma forma y con idéntica información que las recibió en la interfase con el ETD fuente.

6.2. ESTRUCTURA DE REDES DE ÁREA EXTENSA (WAN)

De forma general, las redes WAN se componen de:

- Segmento de acceso. También denominado «bucle de abonado» o «última milla». Es la parte de la red del operador que une la central o nodo local con cada abonado. Este tramo puede cubrirse mediante tecnologías inalámbricas (como, por ejemplo, las incluidas en el término WLL o Wireless Local Loop para el caso de emplazamiento fijo de los clientes) o medios guiados (como es el caso de los estándares xDSL –Digital Subscriber Line o línea de abonado digital–).

Sobre el segmento de acceso se define la interfaz UNI (User-Network Interface o interfaz usuario-red).

- Segmento de transporte. Es la parte de la red del operador que mueve tráfico entre sus nodos. Sobre el segmento de transporte se define la interfaz NNI (Network-Network Interface o interfaz red-red).
- Nodos o centrales del operador. Existe toda una jerarquía de nodos o centrales para dar servicio una jerarquía de áreas geográficas cubiertas por el operador. Los abonados ubicados en emplazamientos fijos se conectarán de manera prefijada a los nodos locales más próximos a sus ubicaciones.
- *Backbone* o troncal. Espina dorsal de la red del operador a la que se conectan los nodos principales que transportarán gran cantidad de volumen de información.

7. CONMUTACIÓN DE CIRCUITOS Y PAQUETES

Conmutación de circuitos

Se basa en la asignación de circuitos dedicados de forma permanente a la comunicación de que se trate. Como características presentan una multiplexación rígida, que no aprovecha el tiempo muerto resultante de los silencios de la señal a transmitir y una asignación fija de los recursos. Esta técnica es eficaz si existe transmisión continua en ambos sentidos. La conmutación de circuitos se ha utilizado tradicionalmente en redes telefónicas (RTC/RDSI), donde los requisitos de calidad de servicio (retardo, etc.) son exigentes.

Conmutación de mensajes

Se basa en la utilización compartida de los medios de transmisión. Para transmitir un mensaje a un receptor, el emisor debe enviar primero el mensaje completo a un nodo intermedio, el cual lo encola junto con los mensajes de otros nodos. Luego, cuando llega su turno, lo reenviará a otro y este a otro y así las veces que sean necesarias antes de llegar al receptor. El mensaje deberá ser almacenado por completo y de forma temporal en cada nodo intermedio antes de poder ser reenviado al siguiente, por lo que los nodos temporales deben tener una gran capacidad de almacenamiento. En el caso de mensajes grandes, estos deben enviarse segmentados. En cada nodo se realizan tareas de reensamblado (para comprobar que se ha completado la recepción de los fragmentos de un mensaje) y segmentación (para envío de fragmentos al siguiente nodo), lo que puede provocar altos retardos. Esta técnica es eficaz para tráfico bajos. La conmutación de mensajes ha sido utilizada en sistemas de señalización y telegráficos.

Conmutación de paquetes

Se basa en la utilización compartida de los medios de transmisión. Como características presenta una multiplexación estadística, que permite simultanear en la misma línea comunicaciones de distintos usuarios y una asignación de recursos por utilización y, además, compartida. El paquete es la unidad de conmutación. Un nodo de la red espera a recibir el paquete completo, que es procesado y almacenado en memoria hasta su transmisión al nodo siguiente (almacenamiento y reenvío). Las redes de conmutación de paquetes ofrecen básicamente dos tipos de servicios o modos de funcionamiento:

- Datagrama. Se asocia al modo no orientado a conexión (servicio CLNS, Connection-Less Oriented Network Service). Los paquetes o datagramas se envían sin fijar de antemano un camino o ruta común entre emisor y receptor para todos ellos. Cada datagrama es enrutado de forma independiente, decidiéndose en cada momento cuál es el camino más idóneo según el estado de la red. Este servicio no ofrece garantía de secuencia, ya que los datagramas pueden llegar desordenados al receptor, que deberá ordenarlos. Un servicio CLNS carece de las fases de establecimiento y liberación de la conexión, implementando directamente el proceso de transferencia de datos.
- Circuito virtual. Se asocia al modo orientado a conexión (servicio CONS, Connection-Oriented Network Service). Un circuito virtual establece un canal lógico de comunicaciones, temporal o permanente, entre dos puntos extremos a través de la red de paquetes, garantizando que estos lleguen a su destino en orden. Un circuito virtual se podría definir como la conexión lógica bidireccional establecida por la red entre dos usuarios conectados a ella. Un servicio CONS implica tres fases en la comunicación: establecimiento de la conexión, transferencia de información y liberación de la conexión. Las principales características de este modo son:
 - Conserva el orden de secuencia de los paquetes enviados, aunque hayan seguido trayectorias distintas a través de la red para llegar a su destino.
 - Controla el flujo de extremo a extremo, estableciendo mecanismos para contener la aceptación de paquetes adicionales hasta que no se pueda asegurar que pueden progresar hasta sus destinos correspondientes.
 - Permite la multiplexación de conexiones o circuitos virtuales (tanto permanentes como conmutados) sobre una misma línea física. Cada circuito virtual lleva asociado un canal lógico (con identificador único) por cada uno de los extremos de la conexión. Además, se permite la multiplexación estadística, aprovechando los silencios de la comunicación propios de las transmisiones de datos.
 - Dependiendo del grado de permanencia que vayan a tener las comunicaciones entre dos usuarios de la red y de la incidencia que pueda tener el tiempo necesario para el establecimiento del circuito virtual, se pueden distinguir los siguientes tipos de circuitos virtuales:
 - Circuitos Virtuales Permanentes (CVP). Una vez iniciada la conexión lógica entre dos usuarios, se mantiene indefinidamente sin posibilidad de concluir-la por diálogo entre usuario y red. Tampoco es posible cambiar alguno de los extremos del circuito. En un CVP la fase de establecimiento de la conexión la realiza el operador en el proceso de alta del servicio.
 - Circuitos Virtuales Conmutados (CVC). Las conexiones lógicas entre los usuarios pueden establecerse temporalmente de forma que a lo largo de una sesión de comunicaciones pueden establecerse y cancelarse, a través del diálogo usuario-red, conexiones con varios usuarios a través de distintos circuitos virtuales que comparten el mismo circuito físico. En un CVC las fases de establecimiento y liberación de la conexión las realiza el cliente de forma previa a la transferencia de información.

8. REDES X.25

El CCITT (posteriormente denominado UIT-T) impulsó en los años 70 el desarrollo de esta tecnología basada en conmutación de paquetes. En España, Telefónica implantó el estándar X.25 mediante el despliegue de la red Iberpac, ofreciendo un servicio muy robusto frente a errores, pero con una velocidad limitada a 64 kbps. X.25 es una tecnología de servicio portador que permite la multiplexación de circuitos virtuales permanentes o conmutados. En desuso a día de hoy, persiste únicamente en entorno bancario para algunas conexiones de cajeros automáticos. La norma define una arquitectura donde se utilizan protocolos que abarcan los niveles 1 a 3 del modelo OSI:

N3 (red)	X.25
N2 (enlace)	LAPB (o HDLC BA 2.8)
N1 (físico)	X.21: acceso a redes de conmutación digital. X.21bis: analógico, comunicaciones síncronas, acceso a redes telefónicas conmutadas, enlaces punto a punto.

Como enlace se utiliza el protocolo LAP-B (Link Access Procedure-Balanced o procedimiento equilibrado de acceso al enlace), también denominado HDLC BA 2.8 (High-Level Data Link Control de Balance Asíncrono 2.8). LAP-B ofrece fiabilidad a nivel de enlace.

El nivel de red, donde se utiliza el protocolo X.25, permite ofrecer un servicio de red orientado a conexión mediante la implementación de circuitos virtuales permanentes y conmutados a los que se asocia un canal lógico diferenciado por cada extremo de la conexión. X.25 ofrece un servicio con garantía de secuencia, es decir, los paquetes llegan ordenados al destino y ofrece un servicio fiable (con garantía de entrega). El envío de la información de control se realiza mediante señalización dentro de canal.

9. REDES FRAME RELAY

Frame Relay se describe en las recomendaciones UIT-T.430/31 y Q.922. Es una tecnología portadora basada en conmutación de paquetes (tramas) que requiere menos proceso en los nodos intermedios que X.25, lo que se traduce en velocidades de acceso de hasta 45 Mbps de velocidad nominal. Frame Relay se caracteriza por ofrecer un servicio orientado a conexión, no fiable, con garantías de caudal mínimo (CIR, Committed Information Rate o tasa de información comprometida) y calidad de servicio (QoS).

El estándar permite la multiplexación de circuitos virtuales permanentes o conmutados. Esta funcionalidad hizo que se extendiera su uso en conexiones VPN de sedes remotas (mediante configuración de los CVP). Sin embargo, esta tecnología ha caído en desuso en la actualidad. En el plano de usuario la arquitectura Frame Relay define los niveles 1 a 2 del modelo OSI, donde se utilizan los siguientes protocolos:

N2 (enlace)	LAPF (rcd Q.922 de UIT-T)
N1 (físico)	Varias posibilidades: interfaces físicas (V.35, G.703), RDSI, etc.

En el nivel de enlace, LAPF (Link Access Procedure F-Frame Relay), protocolo perteneciente a la familia de protocolos HDLC, permite ofrecer un servicio de red orientado a conexión mediante la implementación de circuitos virtuales permanentes y conmutados a los que se asocia un canal lógico diferenciado por cada extremo de la conexión (con un DLCI o identificador de la conexión de enlace de datos de 10 bits). LAPF ofrece además las siguientes funcionalidades:

Marcado de tramas elegibles para descarte en caso de congestión. Este mecanismo permite indicar prioridades de tráfico. Notificación de congestión bien en el mismo sentido de la transmisión (FECN) o en el contrario (BECN). La información de control se envía empleando señalización por canal común. Utiliza la red RDSI para establecer las conexiones punto a punto.

10. REDES RDSI

RDSI (Red Digital de Servicios Integrados) o en inglés ISDN (Integrated Services Digital Network) es la evolución de la red telefónica analógica, que ofrece una alternativa completamente digital hasta el terminal de abonado (inclusive). Con RDSI los operadores ponen a disposición de sus clientes un mayor número de servicios que los proporcionados por red telefónica básica, como son servicios portadores, teleservicios y suplementarios. Las características de RDSI son las siguientes:

- Utiliza conmutación de circuitos de 64 kbps.
- Envía la información de control asociada a los canales de usuario mediante señalización por canal común. En este sentido, se utilizan los protocolos del SS7 (Sistema de Señalización #7) típicos de las redes telefónicas.
- Permite reaprovechar el par de hilos telefónico que llega a los hogares. No obstante, en el hogar se pasa de 2 a 4 hilos, tal y como define el estándar. Es decir, RDSI utiliza 4 hilos para la transmisión.
- Los servicios portadores de RDSI pueden operar en:
 - Modo circuito. Son las funciones que se necesitan para establecer, mantener, y cerrar una conexión de circuito conmutado en un canal de usuario. Esta función corresponde al control de una llamada en redes de telecomunicaciones de conmutación de circuitos existentes.
 - Modo paquete. Son las funciones que se necesitan para establecer una conexión de circuito conmutado en un nodo de conmutación de paquetes RDSI. Aquí se podría enmarcar Frame Relay.
- Existe una normalización de terminales e interfaces: TR1, TR2, ET1, ET2, S, T, etc.

En RDSI se utilizan los siguientes tipos de canales:

- a) Canales B. Para tráfico de usuario. Tienen una capacidad de 64 kbps.
- b) Canales D. Contienen información de señalización. Pueden tener capacidades de 16 kbps o 64 kbps.
- c) Canales H. Resultantes de la fusión o *bonding* de canales B. Están estandarizados en función de su capacidad. Un ejemplo de uso frecuente es el canal H0 de 384 kbps, resultado de la fusión de 6 canales B, utilizado en videoconferencia.

En cuanto a la prestación de servicios, existen las siguientes modalidades:

- RDSI-BRI (Basic Rate Interface, Acceso Básico):
 - Composición de canales: 2B+D. Los canales B tienen una capacidad de 64 kbps mientras que el canal D (señalización) tiene 16 kbps.
 - Permite multiplexar dos conexiones simultáneas (una por cada canal B). Por ejemplo, navegación por internet y comunicación de voz o dos canales de voz.
- RDSI-PRI (Primary Rate Interface, Acceso Primario):
 - Composición de canales (en Europa): 30B+D. Los canales B tienen una capacidad de 64 kbps mientras que el canal D (señalización) tiene 64 kbps.
 - Permite multiplexar 30 conexiones simultáneas (una por cada canal B). Un ejemplo muy extendido de su uso ha sido en la conexión de centralitas privadas (PABX o Private Automatic Branch Exchange) con la PSTN (Public Switched Telephone Network o Red Telefónica Conmutada Pública).

Lo indicado en este apartado hace referencia a la tecnología RDSI-BE (Banda Estrecha). Las limitaciones inherentes a este estándar propiciaron la aparición de la RDSI-BA (Banda Ancha) donde se desarrolló ATM como protocolo de nivel de enlace a utilizar.

10.1. OTROS BUCLES DE ABONADO DIGITALES

Una tabla resumen de las características básicas de esta familia.

Tabla 1

Miembro	Banda de frecuencias	Rendimientos
RDSI 2B1Q	10 Hz 50 kHz	144 kbps
ADSL sobre POTS	25.875 kHz a 1.104 MHz	Hasta 8 Mbps DS, 640 kbps US
ADSL sobre RDSI	138 kHz a 1.104 MHz	Hasta 8 Mbps DS, 640 kbps US
HDSL 2B1Q (3 pares)	0.1 kHz 196 kHz	2 Mbps
HDSL 2B1Q (2 pares)	0.1 kHz 292 kHz	2 Mbps
HDSL CAP (1 par)	0.1 kHz 485 kHz	2 Mbps
SDSL	10 kHz 500 kHz	192 kbps a 2.3 Mbps
VDSL	300 kHz 10/20/30 MHz	Hasta 24/4 Mbps DS/US, y hasta 36/36 Mbps en modo simétrico

11. ATM

Las limitaciones de la RDSI-BE (banda estrecha), descrita anteriormente, fueron resueltas por la versión de banda ancha (RDSI-BA). El servicio ATM (Modo de Transferencia Asíncrono) fue concebido como el servicio portador (nivel de enlace) de la RDSI-BA, presentando capacidades de transferencia de información de 155,52 y 622,08 Mbps, idóneos para la transmisión de información multimedia.

RDSI-BE (Limitaciones)	RDSI-BA (Mejoras introducidas)
Asignación fija de canales a los flujos de información.	Posibilidad de establecer un número indeterminado de conexiones a velocidades binarias diferentes e independientes entre sí. Las características de la comunicación (ancho de banda, calidad, etc.) se pueden negociar en la fase de establecimiento y en la fase de establecimiento y en la fase activa (renegociación).
Capacidad de canales fija (64 kbps).	
Número máximo de conexiones a establecer: 2 en acceso básico (BRI) y 30 en acceso primario (PRI).	
Velocidad máxima limitada: 2 Mbps en RDSI-PRI.	Velocidades superiores a RDSI-BE: en interfaces de abonado: 1.5, 2, 51, 155.52, 622.08 Mbps (simétrico/asimétrico).

ATM permite la multiplexación estadística de circuitos virtuales permanentes o conmutados (existe garantía de secuencia). Esta funcionalidad hizo que se extendiera su uso en conexiones VPN de sedes remotas (caso de los CVP), como servicio portador en entornos locales (con varios edificios), así como en el *backbone* de operadores de telefonía. Sin embargo, en la actualidad esta tecnología tiene un uso residual, restringiéndose fundamentalmente al transporte de tráfico de abonados en segmento de acceso, como es el caso de las líneas ADSL o enlaces inalámbricos LMDS porque está siendo sustituida por MPLS. Esta tecnología no garantiza la entrega de la información, pero sí implementa calidad de servicio (QoS) mediante el establecimiento de prioridades y diferenciación de los tipos de conexiones.

Arquitectura

ATM tiene una arquitectura tridimensional compuesta por los siguientes planos: plano de señalización o control, plano de usuario y plano de administración o gestión. A continuación se muestran las capas (y sus respectivas funciones) del plano de usuario de la arquitectura ATM:

Funciones de las capas RDSI-BA			
Gestión de capa	Funciones de capas superiores	Capas superiores	
	Convergencia	CS	AAL
	Segmentación y reensamblado	SAR	
	Control genérico de flujo Generación/extracción de la celda de cabecera Traslación de celda VPI/VCI Multiplexación y demultiplexación de celdas	ATM	
	Desacoplo de velocidad de celdas Generación/verificación de secuencias de cabecera HEC Delineación de celdas Adaptación de tramas de transmisión Generación/recuperación de tramas de transmisión	TC	Capa física
	Temporización de bit Medio físico	PM	

Funciones de las capas RDSI-BA	
CS: subcapa de convergencia.	ATM: modo de transferencia asíncrona.
SAR: subcapa de segmentación y reensamblado.	TC: subcapa de control de transmisión.
AAL: capa de adaptación a ATM.	PM: subcapa de medio físico.

Nivel de enlace

El nivel ATM presenta las siguientes características:

- Trabaja conmutando células o celdas con un tamaño fijo de 53 bytes: 5 bytes de cabecera y 48 bytes de datos).
- La cabecera de las células contiene los campos VPI (identificador de camino virtual de 8 bits en UNI / 12 bits en NNI) y VCI (identificador de canal virtual de 16 bits) que permiten la multiplexación de circuitos virtuales diferenciados. Un camino o *path* virtual es una agrupación de canales que se conmutan de forma conjunta. Los valores VCI y VPI son locales a cada conmutador ATM; este los modifica según la información de su tabla de conmutación.
- Se puede marcar la prioridad de pérdida de las células.
- Se implementa control de flujo (únicamente en la interfaz UNI).
- Se realiza control de errores de la cabecera, descartando las células erróneas. Sin embargo, ATM no implementa retransmisiones, encargándose de ello otros protocolos de capas superiores.

Nivel AAL

La capa AAL (de adaptación a ATM) engloba las funciones específicas del tipo de aplicación, en particular el control de errores en la información de usuario. Este nivel se encarga de adaptar los protocolos superiores pasando bloques de 48 bytes al nivel ATM, para que este los encapsule añadiéndoles la cabecera ATM de 5 bytes. AAL se encuentra en los extremos de la conexión (equipos terminales) y no en los nodos intermedios por los que pasa.

En el plano de usuario se utilizan diferentes tipos de AAL en función de la aplicación o clases de tráfico (en ATM se definieron cuatro clases: A, B, C, D):

	Clase A	Clase B	Clase C	Clase D
Tasa de bit	Constante	Variable		
Retardo constante	Sí		No	
Conexión	Sí			No
Tipo de AAL	AAL1	AAL2	AAL3/4 o AAL5	
Ejemplos	Voz/vídeo a tasa constante. Emulación de circuitos	Voz/vídeo a tasa variable	Datos	

El criterio de retardo (constante entre origen y destino) marca una diferencia clara entre los protocolos AAL1 y AAL2 como alternativa para los servicios de voz y otros que necesitan retardo fijo, y el AAL3/4 y 5 como alternativas para los servicios de datos en general. De los dos últimos, el AAL5 es el más utilizado en la práctica.

NOTA: En el plano de señalización o control de la arquitectura ATM se utiliza en la capa de adaptación el protocolo SAAL, independientemente del tipo de tráfico del plano de usuario asociado a esa señalización. ■

Protocolos superiores

ATM ofrece un servicio portador. Es típica la integración de IP sobre ATM utilizando entre ellos la capa AAL para soportar el tráfico de una red privada o de internet: redes troncales y de acceso como ADSL o LMDS. En este caso, se superpone una topología de *routers* IP (servicio en modo datagrama) a una topología de conmutadores ATM (servicio orientado a conexión basado en circuitos virtuales). La integración de IP sobre ATM implica un *overhead* del 20% (tasa impuesta por célula).

Servicios para conexiones ATM

Los servicios para conexiones que ofrece una red ATM en el plano de usuario, se definen en función de los parámetros de tráfico y de calidad de servicio (QoS), que son parámetros objetivos o medibles.

Los principales parámetros de tráfico son:

- PCR (Peak Cell Rate). Tasa de pico de células. Limita la tasa máxima de envío. Si PCR se expresa en células/s, $1/PCR$ es la separación mínima permitida entre células de la conexión.
- SCR (Sustainable Cell Rate). Tasa sostenible. Limita la tasa media transmitida en células/s.
- MBS (Maximum Burst Size). Máxima longitud de ráfaga. Limita el número máximo de células consecutivas enviadas a tasa PCR.
- MCR (Minimum Cell Rate). Tasa mínima de células/s.

Los principales parámetros de calidad de servicio son:

- CLR (Cell Loss Ratio). Probabilidad de pérdida de células. Puede aplicar a todas las células de la conexión o solo a las que tienen el bit de prioridad de pérdida $P = 0$ (alta prioridad).
- CTD (Cell Transfer Delay). Retardo de tránsito máximo. Definido para la «mayoría» (100%-a) de las células.
- CDV (Cell Delay Variation). Variación del retardo pico a pico, esto es, diferencia entre el retardo mínimo y el máximo.

En general, el usuario indicará los valores deseados de los parámetros de tráfico y calidad de servicio para una conexión en los mensajes de señalización. Los parámetros pueden tomar valores diferentes para cada sentido de la comunicación (conexión asimétrica). En función de los parámetros de calidad de servicio y los de tráfico, se definen varios tipos de conexiones ATM:

- CBR (Constant Bit Rate, tasa de bit constante).
- VBR-RT (Variable Bit Rate-Real Time, tasa de bit variable sensibles al retardo).
- VBR-NRT (Variable Bit Rate-No Real Time, tasa de bit variable no sensibles al retardo).

- ABR (Available Bit Rate, tasa de bit disponible).
- UBR (Unspecified Bit Rate, tasa de bit no especificada).

La relación entre conexiones ATM y los parámetros descritos se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 2

Parámetro	CBR	VBR-RT	VBR-NRT	ABR	UBR
CLR	Especificado			Baja	No especificado
CTD	Especificado		No especificado	No especificado	
CDV	Especificado		No especificado	No especificado	
SCR, MBS	N/A	Especificado		N/A	
PCR	Especificado			Especificado	
MCR	N/A			Especificado	N/A

(N/A: no aplica)

A continuación se muestra la relación entre la tabla anterior y los tipos de protocolos AAL:

Tabla 3

Clase de servicio	Clase A	Clase B	Clase C	Clase D
Tasa de bit	Constante	Variable		
Retardo constante	Sí		No	
Conexión	Sí			No
Tipo de AAL	AAL1	AAL2	AAL3/4 o AAL5	
Tipo de conexión		VBR-RT	VBR-NRT	UBR
ATM	CBR		ABR	
Ejemplos	Telefonía, emulación de circuitos	Audio/vídeo comprimido	X.25, Frame Relay	IP

12. MPLS

Internet ha desplazado a las tradicionales redes de datos y ha llegado a ser el modelo de red pública del siglo XXI. Pero si bien es cierto que internet puede llegar a consolidarse como el modelo de red pública de datos a gran escala, también lo es que no llega a satisfacer ahora todos los requisitos de los usuarios, principalmente los de aquellos de entornos corporativos, que necesitan la red para el soporte de aplicaciones críticas. Una carencia fundamental de internet es la imposibilidad de seleccionar dife-

rentes niveles de servicio para los distintos tipos de aplicaciones de usuario. Internet se valora más por el servicio de acceso y distribución de contenidos que por el servicio de transporte de datos, conocido como *best-effort*: el servicio de red no garantiza la llegada de paquetes al destino, el protocolo de red «hace lo que puede». Si el modelo internet ha de consolidarse como la red de datos del presente milenio, se necesita introducir cambios tecnológicos fundamentales que permitan ir más allá del nivel *best-effort* y puedan proporcionar una respuesta más determinística y menos aleatoria.

MPLS es un estándar emergente del IETF que surgió para consensuar diferentes soluciones de conmutación multinivel, propuestas por distintos fabricantes a mitad de los 90. Algunas de las RFC principales de MPLS son RFC 3031 y RFC 3032. Como concepto, MPLS es a veces un tanto difícil de explicar. Como protocolo es bastante sencillo, pero las implicaciones que supone su implementación real son enormemente complejas. Según el énfasis (o interés) que se ponga a la hora de explicar sus características y utilidad, MPLS se puede presentar como un sustituto de la conocida arquitectura IP sobre ATM. También como un protocolo para hacer túneles (sustituyendo a las técnicas habituales de *tunneling*). En realidad, MPLS hace poco de todo eso, ya que integra sin discontinuidades los niveles 2 (enlace) y 3 (red), combinando eficazmente las funciones de control del *routing* con la simplicidad y rapidez de la conmutación de nivel 2, lo que permite nuevas posibilidades en la gestión de *backbones*, así como en la provisión de nuevos servicios de valor añadido. Ante todo y sobre todo, debemos considerar MPLS como el avance más reciente en la evolución de las tecnologías de *routing* y *forwarding* en las redes IP, lo que implica una evolución en la manera de construir y gestionar estas redes.

El elemento fundamental en MPLS es la etiqueta que marca cada paquete. Es un campo de unos pocos bits, de longitud fija, que se añade a la cabecera del mismo y que identifica una «clase equivalente de envío» (Forwarding Equivalence Class, FEC). Una FEC es un conjunto de paquetes que se envían sobre el mismo camino a través de una red, aun cuando sus destinos finales sean diferentes. Por ejemplo, en el encaminamiento convencional IP por prefijos de red (*longest-match*) una FEC serían todos los paquetes unicast cuyas direcciones de destino tengan el mismo prefijo. Realmente, una etiqueta es similar a un identificador de conexión (como el VPI/VCI de ATM o el DLCI de Frame Relay). Tiene solamente significado local y, por consiguiente, no modifica la información de la cabecera de los paquetes; tan solo los encapsula, asignando el tráfico a los correspondientes FEC.

El algoritmo de intercambio de etiquetas permite así la creación de «caminos virtuales» conocidos como LSP (Label-Switched Paths), funcionalmente equivalentes a los PVC de ATM y Frame Relay. En el fondo, lo que hace es imponer una conectividad entre extremos a una red no conectiva por naturaleza, como son las redes IP, pero todo ello sin perder la visibilidad del nivel de red (de aquí los nombres de conmutación IP o conmutación multinivel). Esta es la diferencia básica con el modelo IP/ATM.

Un camino LSP es el circuito virtual que siguen por la red todos los paquetes asignados a la misma FEC (lo que determina una misma ruta y tratamiento en cada LSR). Al primer LSR que interviene en un LSP se le denomina de entrada o de cabecera y al último se le denomina de salida o de cola. En ambos casos, dichos equipos son del tipo LER (Label Edge Router) y constituyen la entrada/salida a la red MPLS (dominio exterior). La asignación de un paquete a un FEC tiene lugar solo una vez, cuando el paquete entra en la red MPLS y lo realiza el LER de entrada.

El Grupo de Trabajo de MPLS que se estableció en el IETF se propuso como objetivo la adopción de un estándar unificado e interoperable. Los objetivos establecidos por ese grupo en la elaboración del estándar eran:

- MPLS debía funcionar sobre cualquier tecnología de transporte, no solo ATM.
- MPLS debía soportar el envío de paquetes tanto unicast como multicast.

- MPLS debía ser compatible con el Modelo de Servicios Integrados del IETF, incluyendo el protocolo RSVP.
- MPLS debía permitir el crecimiento constante de la internet.
- MPLS debía ser compatible con los procedimientos de operación, administración y mantenimiento de las actuales redes IP.

MPLS no persigue eliminar totalmente el encaminamiento convencional por prefijos de red, ya que el encaminamiento tradicional de nivel 3 siempre será un requisito. Las etiquetas MPLS tienen solamente significado local (es imposible mantener vínculos globales entre etiquetas y *hosts* en toda la internet). Esto implica que en algún punto del camino algún dispositivo de nivel 3 debe examinar la cabecera del paquete para determinar con exactitud por dónde lo envía: por *routing* convencional o entregándolo a un LSR, que lo expedirá por un nuevo LSP.

La base del MPLS está en la asignación e intercambio de etiquetas ya expuesto, que permiten el establecimiento de los caminos LSP por la red. Los LSP son *simplex* por naturaleza (se establecen para un sentido del tráfico en cada punto de entrada a la red); el tráfico *dúplex* requiere dos LSP, uno en cada sentido. Cada LSP se crea a base de concatenar uno o más saltos (*hops*) en los que se intercambian las etiquetas, de modo que cada paquete se envía de un «conmutador de etiquetas» (Label-Switching Router) a otro, a través del dominio MPLS. Un LSR no es sino un *router* especializado en el envío de paquetes etiquetados por MPLS.

12.1. VARIANTES DE MPLS

- GMPLS (Generalized MPLS).
Su arquitectura está definida en la RFC 3945. Extensión de MPLS que proporciona características de redes orientadas a conexión a redes no orientadas a conexión. GMPLS difiere del tradicional MPLS en que soporta múltiples tipos de conmutación. En este caso los LSP son bidireccionales; ambos sentidos deben tener las mismas características y parámetros de ingeniería de tráfico.
- Draft Martini (CISCO).
 - Define el transporte de tráfico de nivel 2 a través de una red MPLS. Utilizado para extender las VLAN a través de una red MPLS (*bridgear* tráfico L2).
 - Especificado en los RFC 4905-4906. Se basa en señalización LDP (*targeted*).
 - Túneles punto a punto.
- Draft Kompella (JUNIPER).
 - Basado en señalización BGP en vez de LDP.

12.2. VPLS (VIRTUAL PRIVATE LAN SWITCHING)

VPLS es un servicio de red privada virtual (VPN) ofrecido por operadores para el establecimiento de circuitos virtuales entre sedes remotas de una organización. Se basa en un enlace de nivel 2 de alta capacidad, construido sobre la infraestructura Ethernet metropolitana (Ethernet sobre fibra) y el *backbone* MPLS del operador.

Su coste es más elevado que una VPN basada en IP/MPLS (IP en segmento de acceso y MPLS en *backbone*). Sin embargo, resulta un servicio más ventajoso en términos de baja latencia al trabajar a nivel 2 y no utilizar *routers* (con su correspondiente retardo) en la parte cliente para la conexión con el operador, como sí ocurre a nivel 3 utilizando IP/MPLS. La red SARA (Sistemas de Aplicaciones y Redes de la Administración) se basa en tecnología VPLS.

13. REDES INALÁMBRICAS

13.1. WIFI

Una red inalámbrica es una tecnología que permite que dos o más ordenadores se comuniquen con protocolos estándares sin cable, mediante radio. Las 5 principales tecnologías WLAN son: Bluetooth, IRDA (Infrared Data Association), Home RF, Hyperlan y Wifi.

La WiFi Alliance (denominada así desde marzo de 2000, anteriormente conocida como WECA, Wireless Ethernet Compatibility Alliance en 1999) es una asociación encargada de promover la tecnología WiFi y certificar los productos que cumplan con el estándar IEEE 802.11. No obstante, cabe destacar que si un dispositivo no está certificado mediante la WiFi Alliance, puede funcionar perfectamente con el estándar 802.11. La WiFi Alliance es en realidad un sello de calidad.

Tanto el HomeRF como el IRDA ya no se usan. También está obsoleto el IEEE 802.11 (1997), que tenía una velocidad de 2 Mbs a 2,4 GHz. Home-RF (Home RF Working Group: Compaq-Apple) funcionaba a 1-2-10 Mbs con modulación DSSS, aunque también contemplaba el FHSS que se comenta más adelante.

IRDA son frecuencias infrarrojas del orden de los 900 nanómetros y necesitan visión directa o reflejada.

WiFi y 802.11 cumplen el IEEE 802.3 genérico, CSMA, pero necesitan una interfaz física y MAC específicas para el uso del espectro radioeléctrico. Utilizan la banda 2,4 GHz (junto con tecnologías como Bluetooth, hornos de microondas, etc.) y 5 GHz. En España, parte de la banda de 2.4 GHz era para aplicaciones militares; algo similar pasa en Francia o Japón, y la banda de 5 GHz es compartida, ya que hay parte de ella con licencia. Alcance, en torno a 50-100 metros.

13.1.1. Estándares IEEE 802.11

- IEEE 802.11.b: 2,4 GHz; hasta 11 Mbs de velocidad nominal y 5-6 Mbs velocidad real.
Modulaciones: DSSS y CCK.
- IEEE 802.11.a (Wireless ATM): 5 GHz; 54 Mbs; multiplexación OFDM. Incompatible con los que utilizan frecuencias de 2,4 GHz. Tiene una menor cobertura que 802.11.b, unos 80 metros.
- IEEE 802.11.g: 2,4 GHz; 54 Mbs de velocidad nominal y unos 40 Mbs de velocidad real. Multiplexación OFDM. Compatibilidad con 802.11.b.
- IEEE 802.11.n o Wi-Fi 4G (aprobado en septiembre de 2009; 600 Mbs teóricos, 100 Mbs reales). Opera con 802.11 a/b/g y trabaja en ambas bandas 2,4 y 5 GHz. Son transeptores de radio, generalmente trabaja a las dos frecuencias, pero no simultáneamente, salvo que tenga doble transeptor (un transeptor significa que si recibe, no transmite señal al mismo tiempo).

- IEEE 802.11.ac o Wi-Fi 5G. Se aprobó en 2014, se conoce como VHT, Very High Throughput: 120 Mbs (teórico 1 Gbs). En las pruebas se han utilizado 9 antenas 6 para TX y 3 para RX. Frecuencia de uso menor de 6 GHz. En principio los dispositivos 802.11.ac deberían soportar los canales de las bandas 20, 40 y 80 MHz e incluso 160 MHz (opcional). Solo a 5 GHz. Los dispositivos de esta norma gastan menos que IEEE 802.11.n. La Wi-Fi Alliance acordó una revisión del 802.11.ac, subtítulo Wave 2, y que permite velocidades de 2.34 Gbit/s, e introdujo el MU-MIMO.
- IEEE 802.11.ax o Wi-Fi 6G o HEW (High-Efficiency Wireless). Simultáneamente en las bandas de 2.4 y 5 GHz (OFDM con modulación hasta 1024 QAM, con canales de 20, 40, 80 y 160 MHz). Con tecnología MU-MIMO (hasta 8 x 8). Planifica a los clientes para que se desconecten si no hay uso, ahorrando batería; esta funcionalidad se llama Target Wake Time (TWT). Usos, alta densidad de usuarios e IoT (Internet of Things). Cuadruplica los 1,3 Gbps del Wi-Fi 5 (IEEE 802.11ac). Capacidad teórica 10 Gbs. Capacidades reales: en la banda de 5 GHz, 4,8 Gbps, y en la de 2,4 GHz, 1,2 Gbps. Compatibilidad IEEE 802.11 a/b/g/n/ac. Reduce la latencia en el acceso al medio.
- IEEE 802.11be o Wi-Fi 7. Puede llegar a 46 Gbps y emplea las tres bandas: 2,4 GHz, 5 GHz y también 6 GHz. Emplea MLO Multilink Operation para dar mayor velocidad a todos los usuarios al usar todas las bandas de frecuencia simultáneamente y canales de 160 MHz + 160 MHz. Tiene menor latencia y la velocidad que puede llegar a emplear un usuario es de 4 Gbps.

Los siguientes estándares agregan funcionalidad a los anteriores:

- IEEE 802.11.e QoS (servicios críticos en retrasos como VoIP o *streaming* multimedia). Reemplaza el acceso contienda CSMA/CA por reserva de capacidades bajo demanda.
- IEEE 802.11.h. Es evolución de 802.11.a. Permite asignación dinámica de canales, *roaming* entre distintos proveedores y control automático de potencia para minimizar los efectos interferentes.
- IEEE 802.11.i. Aporta autenticación y seguridad.
- IEEE 802.11.r (Fast Roaming). Permitirá transiciones rápidas entre AP y también otras redes (GSM). El cliente podrá establecer las condiciones de seguridad y QoS antes de cambiar de AP y será imperceptible para el usuario. Hay equipos precomerciales.
- IEEE 802.11.k. Medidas sobre el recurso de radio, para gestionar clientes y estadística de nivel 1 y 2 y además proporciona ayuda para la elección del canal más idóneo. Permite a cada estación decidir cuál es el AP más idóneo en todo momento, no solo por nivel de potencia, sino también por congestión. Hay equipos precomerciales.
- IEEE 802.11.w (Protected Management Frames). Se introducen mejoras en la capa MAC para mejorar la seguridad en el envío de paquetes de gestión (ahora no están protegidos). Solución de la vulnerabilidad de solicitud de petición de desasociación de estaciones.
- IEEE 802.11.p (WAVE, Wireless Access for the Vehicular Environment) para ser utilizado en ITS (Intelligent Transportation System). Intercambio de información entre vehículos y la red viaria. Permite informar sobre accidentes, estado de la carretera; tiene tiempos de latencia bajos.
- IEEE 802.11.s (ESS Mesh Networking). Son redes malladas, donde es posible enviar paquetes por diferentes caminos. Cada nodo podrá estar conectado a uno o más nodos. Uso previsto: Metro WiFi o redes gratuitas promocionadas por ayuntamientos.
- IEEE 802.11.v (Wireless Network Management). Incorporará cambios en las capas físicas y de MAC para poder gestionar los dispositivos mediante SNMP.

13.1.2. Seguridad

- Topología *ad hoc*. Se emplea: Open System, es decir, cualquier terminal cliente puede solicitar la autenticación y el terminal que recibe esta solicitud puede otorgar la autenticación a las estaciones que se encuentran en su lista de usuarios definidos; o bien Shared Key, donde solamente las estaciones que comparten una clave secreta pueden ser autenticadas.
- Topología infraestructura. Hay una autenticación mediante un diálogo entre el cliente y AP. Por ejemplo, el algoritmo WEP (RC4): autenticación + encriptación (128, pero 40 bits normalmente, también hay de 64 bits) (simétrica e implementada en MAC, donde se hace la función XOR entre la clave y el dato a transmitir). No hay intercambio de claves, y si lo hay, es manual. WEP comprime y cifra los datos que se envían por radio. Todos usan la misma clave. WEP implementa 3 mecanismos: SSID, clave compartida y autenticación de MAC.

Dado que el WEP tiene muchas vulnerabilidades que se explotan analizando los paquetes, se han creado nuevos protocolos de seguridad:

- WPA (WiFi Protected Access): sustituye a WEP, pero no es un estándar. Mejora la autenticación y el intercambio de claves, pero, actualmente, es un sistema obsoleto e inseguro. Uso del protocolo de intercambio de claves temporales (TKIP de 128 bits. El TKIP se encarga de cambiar las claves compartidas entre el acceso y el cliente cada cierto tiempo). Hay distintas claves por usuario, sesión y paquete, pero con AES WEP y WPA son compatibles si este último implementa RC4. Hay 2 modos de trabajo: WPA-PERSONAL y WPA-ENTERPRISE.
- WPA2 es el estándar 802.11.i (septiembre de 2004) incorpora claves basado en AES (Advanced Encryption System = clave simétrica Rijndael) en el propio HW. Hay de 2 clases:
 - Personal basado en claves que se intercambian antes del comienzo de la sesión.
 - Corporativo: basado en servidor RADIUS.

Se puede decir que el IEEE 802.11.i es la formalización del WPA. Tanto en WEP como en WPA2 se incluye PSK (Pre-Shared Keys) o claves de secreto compartido. En criptografía, una clave precompartida o PSK es un secreto que fue compartido con anterioridad entre las dos partes que utilizan el canal seguro, mediante el uso de una clave simétrica.

- El protocolo 802.1x es un control de accesos basados arquitectura cliente-servidor. El puerto está inhabilitado hasta que el servidor lo valide por medio de claves. Ha sido diseñado para emplear servidores RADIUS. El servidor solo acepta tráfico EAPoI (EAP over Internet) para proceder a autenticar. El 802.1x ha sido un grupo de estudio para control de accesos seguros y autenticación, utilizando protocolos EAP o de autenticación extensible del cliente, donde se define el tipo de credenciales para autenticar equipos y usuarios. Lo aplica WPA2 y se debe completar con RADIUS, también se utiliza en redes cableadas. Emplea AES-CCMP para el cifrado.
- WPA3 es la versión más moderna, fue introducida en 2018; tiene como objetivo conseguir unas comunicaciones más seguras y robustas que sus predecesores, que ya han sido «rotos» mediante claves más complejas, hasta 256 bits y mecanismos más seguros como AES-GCMP. Emplea SAE Simultaneous Authentication of Equals y 802.1x con variante EAP. Se adapta a la tecnología que dispongan los equipos y se puede conectar con equipos solo WPA2 o WPA, pero en esos casos presenta una menor seguridad como consecuencia de introducir en la red equipos con protocolos inseguros. Introduce como mejoras seguridad individualizada para cada dispositivo, mejora frente ataques Man-in-the-Middle, contraseñas débiles, ataques de desconexión y suplantación.

- WiFi Protected Setup (WPS). Es un estándar promovido por la WiFi Alliance para facilitar la creación de redes WLAN. No es un mecanismo de seguridad en sí mismo y está pensado para minimizar la intervención del usuario en entornos domésticos con mecanismos WPA/WPA2. WPS define una arquitectura con tres elementos con roles diferentes:
 - Registrar (matriculador): dispositivo con la autoridad de generar o revocar las credenciales en la red. Tanto un AP como cualquier otra estación, *router* ADSL o PC de la red pueden tener este rol. Puede haber más de un Registrar en una red.
 - Enrollee (matriculado): dispositivo que solicita el acceso a la red WLAN.
 - Authenticator (autenticador): AP funcionando de *proxy* entre el Registrar y el Enrollee. También se llama función QSS (Quick Security Setup) en los *routers* ADSL-WiFi.

13.2. BLUETOOTH

Es una tecnología inalámbrica de corto alcance, rango de operación de 10 metros (opcionalmente, 100 metros). Desarrollo de Ericsson para sus teléfonos móviles, de coste económico escaso, debido a su gran éxito se estandarizó dentro de IEEE 802.15 redes de área personal inalámbricas. Permite soporte para aplicaciones de voz y datos. La velocidad inicial era de 1 Mbps (modulación GFSK). En las siguientes versiones, mejorando la modulación digital se consiguen 2 Mbps (4-QPSK) y 3 Mbps (8-DPSK) y en las últimas versiones se han planteado velocidades de decenas de Mbps.

13.2.1. Versiones del protocolo Bluetooth o IEEE 802.15

- BT1.0 solo conecta con un dispositivo al mismo tiempo; BT 1.1 hasta 7 simultáneamente. Proporciona diferentes niveles de seguridad: FHSS, Autenticación y cifrado. Se utiliza la topología base en estrella (o *piconet*) con hasta 7 dispositivos (1 Master, 7 Slave).
El estándar es el IEEE 802.15; es el grupo de trabajo Bluetooth, donde 802.15.1 es el BT1.0/1.1/1.2.
BT1.0/1.1/1.2 < 1 Mbps (723 kbs) estándar IEEE 802.15.1 BT 1.0 se comunica con un dispositivo a la vez, el BT 1.1 hasta con 7 dispositivos (*piconet*), ofrece la posibilidad de combinar varias de estas redes en una de mayor alcance (*scatternet*) y BT1.2 elimina interferencias de radio comunicaciones con el estándar IEEE 802.11b (wifi) mediante Adaptive Frequency Hopping.
- BT2.0 (IEEE 802.15.2) tiene una velocidad de 3 Mbps. Entre dispositivos 2.0 se realiza una comunicación a 1 Mbps con EDR (Transmisión de Información Mejorada), si un dispositivo BT2.0 es compatible, pero a la velocidad de estos últimos.
- El BT 3.0 (IEEE 802.15.3) a 24 Mbps. Incluye no solo la especificación de una capa de transporte radio, sino también un conjunto de perfiles de uso (tipo de periférico, manos libres, teclados inalámbricos, etc.).
- El Bluetooth 3.0+HS soporta velocidades teóricas de transferencia de datos de hasta 24 Mbit/s entre sí, aunque no a través del enlace Bluetooth propiamente dicho. La conexión Bluetooth nativa se utiliza para la negociación y el establecimiento mientras que el tráfico de datos de alta velocidad se realiza mediante un enlace 802.11. Implementa AMP (Alternate MAC/PHY), la adición de 802.11 como transporte de alta velocidad. Inicial-

mente, estaban previstas dos tecnologías para incorporar en AMP 802.11 y UWB (Ultra Wide Band), pero finalmente UWB no se encuentra en la especificación. En la especificación, la incorporación de la transmisión a alta velocidad no es obligatoria y por lo tanto, los dispositivos marcados con «+HS» incorporan el enlace 802.11 de alta velocidad de transferencia de datos. Un dispositivo Bluetooth 3.0, sin el sufijo «+HS», no soporta alta velocidad, sino que solo admite una característica introducida en Bluetooth 3.0 + HS (o en CSA1). La radio Bluetooth está siendo utilizada para la detección de dispositivos, la conexión inicial y configuración del perfil; sin embargo, cuando deben enviarse grandes cantidades de datos, se utiliza PHY MAC 802.11 (por lo general, asociados con wifi) para transportar los datos. Esto significa que el modo de baja energía de la conexión Bluetooth se utiliza cuando el sistema está inactivo y la radio 802.11, cuando se necesita enviar grandes cantidades de datos.

- El BT 4.0 (IEEE 802.15.4) a 24 Mbps pero LE (Low Energy). Alcance de unos 10-15 metros para dispositivos cuya pila sea una celda tipo botón. Se denomina Smart Bluetooth.
- BT 4.1. Actualización solo de SW (no HW). Entre otras: intercambio con LTE (Long Term Evolution de UMTS), protocolo de adaptación capa (PAL) para IEEE 802.11n.
- BT 4.2. Es actualización de *firmware* para permitir datos de larga extensión, conexiones seguras, capa de enlace de privacidad, conectividad IP (dispositivos Bluetooth «inteligentes») e IPV6.
- Bluetooth Mesh. Orientado a IoT, extiende hasta 32.000 nodos la red, mediante una implementación de pila completa, con conexión *many to many* y basado en Bluetooth Low Energy. Existen nodos proxy que realizan la función de *message relay*. Se empieza a definir a partir de la versión BT 4.0 y superiores.
- BT 5. Nuevo rediseño con menor gasto energético a pesar de las mejoras (Low Energy como en BT 4.2), pensado para IoT (Internet of Things), permite potenciar la interacción de dispositivos con geolocalización y dispositivos de realidad virtual. Tiene doble de velocidad en transmisión de datos (50 Mbps en lugar de 24 Mbs con soporte wifi, en modo directo 2 Mbps) y 4 veces más alcance (unos 240 metros). Su ancho de banda x8 y menor latencia en la conexión (desde BT 4.0 cifrado AES 128) permite compatibilidad hacia atrás. Bluetooth SIG lo ha nombrado como «wireless coexistence», algo así como que su sistema está ideado para convivir con otras tecnologías de conectividad inalámbrica y funcionará sin interferir en el trabajo de otras redes.
- Bluetooth 6.0. Se anuncia en 2024, con gran precisión para localización, y es útil en entornos médicos o espaciales. Velocidad hasta 3 Mbps Low Energy y alcance hasta 300 metros.
- El estándar Bluetooth (1.1):

Parámetro	Valor
Modulación	GFSK
Velocidad binaria	< 1 Mbit/s (723.2 kbit/s)
Ancho de banda del canal	1 MHz (-20 dB)
Frecuencias	2.402 a 2.480 MHz
N.º de portadoras	79

Parámetro	Valor
Salto de frecuencia	1600/s
Espectro expandido	FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum)
Potencia transmitida	< 20 dBm

- Clasificación de dispositivos Bluetooth:

Clase	Potencia (pérdida de señal)	Alcance
I	100 mW (20 dBm)	100 metros
II	2,5 mW (4 dBm)	15-20 metros
III	1 mW (0 dBm)	10 metros

13.2.2. Ataques a un dispositivo Bluetooth

- *Bluesnarfing.*
 - Objetivo: conectarse al dispositivo atacado para obtener todos los datos almacenados en él.
 - Consecuencias: el usuario no nota un funcionamiento anómalo del dispositivo mientras el atacante está accediendo a todos los datos de su dispositivo (agenda, guía electrónica e incluso IMEI). Algunos viejos móviles no requerían que el dueño del teléfono aceptase la conexión para que un tercero se conectase a su servidor Obex Object Push.
- *Bluejacking.*
 - Objetivo: molestar al usuario del dispositivo atacado. Alguien coge un móvil, va por la calle escaneando en busca de dispositivos Bluetooth cercanos, y cuando encuentra alguno, le manda un contacto vía Obex Object Push.
 - Medios: abuso del protocolo de emparejamiento definido en Bluetooth o envío de «tarjetas de visita» con información dudosa.
 - Consecuencias: el usuario recibe notificaciones de emparejamiento falsas. En el peor de los casos sobrescribe una entrada en la guía telefónica.
- Denegación de servicio (DOS).
 - Objetivo: descargar la batería del dispositivo atacado.
 - Medios: el dispositivo atacante realiza una petición continua de respuesta.
 - Consecuencias: se descarga de la batería del dispositivo atacado y la inutilización del canal radio que usa el dispositivo y el propio dispositivo Bluetooth atacado.

- *Bluebugging*.
 - Objetivo: conectarse al dispositivo atacado (a través del perfil AT Command) y utilizar el dispositivo como teléfono (acceso a la red GSM).
 - Consecuencias: el usuario no nota un funcionamiento anómalo del dispositivo mientras el atacante está utilizando su teléfono.

13.3. NFC

NFC (Near Field Communication) es una tecnología inalámbrica que funciona en la banda de los 13,56 MHz (banda libre) y que deriva de las etiquetas RFID y están presentes en abonos de transporte o incluso sistemas de seguridad de tiendas físicas. Los estándares incluyen ISO/IEC 18092 y los definidos por el NFC Forum, fundado en 2004 por Nokia, Philips y Sony, y que hoy suma más de 160 miembros. Los estándares cubren protocolos de comunicación y formatos de intercambio de datos, y están basados en ISO 14443 (RFID, Radio Frequency Identification).

NFC es una plataforma abierta pensada desde el inicio para teléfonos y dispositivos móviles. Su tasa de transferencia puede alcanzar los 848 kbit/s, por lo que su enfoque, más que para la transmisión de grandes cantidades de datos, es para comunicación instantánea, es decir, identificación y validación de equipos/personas.

Su punto fuerte está en la velocidad de comunicación, que es casi instantánea sin necesidad de emparejamiento previo. Como contrapartida, el alcance de la tecnología NFC es muy reducido, pues se mueve como máximo en un rango de los 20 cm. A su favor también juega que su uso es transparente a los usuarios y que los equipos con tecnología NFC son capaces de enviar y recibir información al mismo tiempo.

La tecnología NFC puede funcionar en dos modos:

- Activo, en el que ambos equipos con chip NFC generan un campo electromagnético e intercambian datos.
- Pasivo, en el que solo hay un dispositivo activo y el otro aprovecha ese campo para intercambiar la información.

Su utiliza el protocolo NFCIP-1, que puede funcionar a diversas velocidades como 106, 212, 424 o 848 kbit/s. Según el entorno en el que se trabaje, las dos partes pueden ponerse de acuerdo en a qué velocidad trabajar y reajustar el parámetro en cualquier instante de la comunicación.

14. REDES MÓVILES

14.1. COMPOSICIÓN DE UN SISTEMA DE RADIOCOMUNICACIONES

Un sistema de radiocomunicaciones se compone de:

- Estaciones móviles o terminales: permiten al usuario enviar o recibir información (voz, datos, tráfico multimedia) a través de su antena. Un terminal móvil debe ser coherente con el sistema al que se conecta, además de estar autorizado para hacer uso de la red.
- Estaciones fijas. Una estación fija es una estación radioeléctrica no prevista para su uso en movimiento. Existen los siguientes tipos:
- Estación base (BS): su funcionamiento se controla desde una unidad de control situada en un punto específico. El control puede ser local o remoto (con conexión mediante líneas de cable o radioenlaces). Las estaciones base son fuentes y destinatarias de tráfico, tanto de información como de señalización en áreas territoriales restringidas. Están constituidas por transceptores (transmisores/receptores), sistemas radiantes (antenas) y elementos de conexión entre las distintas partes. Las estaciones base se enlazan a la central de conmutación mediante circuitos portadores.
- Estación repetidora: retransmiten las señales recibidas. Sirven para conseguir gran cobertura, ubicándose en sitios altos. También sirven para el relleno de zonas de sombra o difíciles (túneles, etc.).
- Estación de control: sirve generalmente para gestionar una estación base o una repetidora.

14.2. CONCEPTOS

- Cobertura: superficie geográfica dentro de la cual los terminales pueden establecer comunicaciones con la estación fija y, eventualmente, entre sí.
- Célula o celda: término utilizado en sistemas celulares. Hace referencia al área geográfica cubierta por una estación base. Los tipos en función del tamaño de su área (de mayor a menor) son: macrocélula, microcélula, picocélula. Se denomina clúster o racimo al conjunto de celdas que engloban todas las frecuencias del servicio. La distribución del territorio en celdas permite la reutilización de frecuencias, siempre que dos celdas adyacentes no utilicen la misma frecuencia. El clúster es una unidad en la que no se repiten las frecuencias.
- *Hand-off* o *handover*: permite que se mantenga una conexión cuando se cambia de la zona de cobertura de una estación base a la de otra, dependientes ambas de la misma central de conmutación móvil. El *hand-off* es particularmente importante con alta movilidad y/o áreas donde las celdas son de pequeño tamaño.
- *Roaming* (itinerancia): mecanismo que permite mantener una conexión cuando se cambia la zona de servicio de una central de conmutación a otra o se cambia de operador móvil. La cobertura total de una red está dividida en áreas geográficas. En general, cada área geográfica tiene asociada una central de conmutación que le da servicio y esta, a su vez, una base de datos que contiene información de los móviles registrados en dicha área por ser en la que habitualmente se encuentran. Mediante *roaming*, la red puede dar servicio a un abonado que se encuentre desplazado en un área distinta a aquella en la que se ha registrado. El abonado desplazado recibe el nombre de *roamer*. El término *roaming* también es frecuente entre redes compatibles de distintos operadores y, sobre todo, en el ámbito internacional. Un *roamer* puede acceder a una red móvil de otro país y el operador de esta red facturará posteriormente al operador del país de origen del que el *roamer* es cliente. A partir de la segunda generación de telefonía móvil GSM.

- Enlace descendente (DL, Down Link): sentido de la comunicación de estación base a terminal móvil. Se denomina *talk-out* a la distancia de cobertura en el DL, también llamado rango o alcance de la estación base.
- Enlace ascendente (UL, Up Link): sentido de la comunicación de terminal móvil a estación base. Se denomina *talk-back* a la distancia de cobertura en el UL, también llamado retroalcance. Debe procurarse que el alcance y el retroalcance sean iguales (simetría en los enlaces). En general, el retroalcance es menor.

14.3. TIPOS DE SISTEMAS DE COMUNICACIONES MÓVILES

Se puede realizar una primera clasificación atendiendo a la modalidad de funcionamiento:

- Sistemas de radiobúsqueda o radiomensajería: son los denominados *paging systems*. Implementan comunicación unidireccional: desde un origen fijo a estaciones móviles.
- Sistemas de radiotelefonía o Telefonía Móvil Automática (TMA): las transmisiones se realizan en ambos sentidos, de estación fija a estación móvil y viceversa (*two-way radio systems*). Este servicio permite a sus abonados móviles establecer comunicaciones con otros móviles o con abonados de las redes fijas. La única restricción es que el móvil debe encontrarse dentro del área de cobertura radioeléctrica de la red. Los sistemas TMA actuales son «sistemas celulares» debido a que su cobertura radioeléctrica total la consiguen mediante las coberturas proporcionadas por estaciones base de radio en forma de celdas adyacentes, caracterizándose fundamentalmente por las funciones, entre otras, de *hand-off* y *roaming*.

Otra clasificación posible de los sistemas de comunicaciones móviles es en función del sector de aplicación y cobertura:

- Entorno doméstico o reducido: donde se ubican servicios como la telefonía inalámbrica o CT (Cordless Telephony) cuyo representante son los teléfonos DECT y redes locales inalámbricas (Wireless Lan).
- Entorno privado (GCU, Grupo Cerrado de Usuarios): radiotelefonía móvil privada o PMR (Private Mobile Radio), conocido como estándar TETRA 2 y de aplicación para redes de comunicaciones privadas y cerradas (Bomberos, Policía y otros servicios de emergencia).
- Entorno público: telefonía pública o PMT (Public Mobile Telephony), donde se enmarcan las generaciones de telefonía celular que se tratarán ampliamente a continuación.

Los sistemas celulares han evolucionado por generaciones:

Tabla 4

1G	Sistemas celulares analógicos, en desuso: AMPS (americano, primer sistema celular, Chicago 1983), ARTS, NMT-450 (europeo), NMT-900 (europeo), TACS (europeo, se implantó en España).
2G	Sistemas celulares digitales: GSM y DCS-1800 (Europa), PCS-1900 (América), PDC (Japón). Uso actual de estos sistemas para llamadas de voz basadas en conmutación de circuitos.

Tabla 4

2,5G	HSCSD, GPRS-Transmisión de datos mediante conmutación de paquetes.
2,75G	EDGE – Transmisión de datos mediante conmutación de paquetes.
3G	W-CDMA (IMT-2000: Europa-UMTS). CDMA-2000 (Norteamérica).
3,5G	HSDPA (v5 de la 3GPP).
3,75G	HSUPA (v6 de 3GPP). HSOPA (LTE, Long Term Evolution).
3,9G	UTRAN LTE/HSPA+ (Super3G). (v7 de 3GPP).
4G	Beyond 3G/LTE.
5G	Quinta generación, en proceso de despliegue. Aparición de los conceptos NFV y SDN (virtualización de funciones de red y redes definidas por <i>software</i>).
6G	En desarrollo.

14.3.1. GSM

GSM (Global System for Mobile Communication). Estándar europeo. Trabaja en la banda de 900 MHz. DCS-1800 (Digital Cellular System-1800). Tecnología asociada a redes GSM, se utiliza en microcélulas con cobertura reducida para dar servicio en zonas urbanas o con gran densidad de tráfico. Usa la banda de 1.800 MHz.

Cada célula tiene como mínimo un par de frecuencias asociado. Los móviles tendrán asignadas de forma automática una frecuencia de envío y otra de recepción (FDD, Frequency Division Duplexing). Se utiliza la técnica TDMA (acceso múltiple por división en el tiempo) con tramas de 8 intervalos. La duración de cada intervalo es de 0,577 ms. Por tanto, GSM emplea TDMA/FDD. Para señalización interna de la red GSM y el interfuncionamiento con la red telefónica fija se utiliza el SS7.

GSM utiliza conmutación de circuitos: cuando a un abonado se le asigna un canal de tráfico, este queda reservado en modo dedicado. La facturación se realiza en función del tiempo de conexión. Se utiliza la modulación GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying).

Aunque es un sistema de conmutación de circuitos, al ser digital puede implementar envío de datos. Uno de los grandes éxitos de GSM fue la introducción de los mensajes cortos o SMS. La voz en digital ocupa 13 kbps o 6.5 kbps y el envío de datos se realiza a 9.6 kbps.

14.3.2. GPRS

Al sistema GPRS se le conoce también como GSM-IP, ya que usa la tecnología IP (Internet Protocol) para acceder directamente a los proveedores de contenidos de internet. El terminal móvil GPRS genera tráfico IP (versión 4) encapsulado en una trama GPRS. Se basa en la conmutación de paquetes (modo datagrama: *always online*) realizando la transmisión sobre la red GSM, a la que se le añaden al-

gunos componentes en la parte del operador (repositorios y nodos de conmutación de paquetes). GPRS no establece un canal dedicado para cada usuario, sino que la conexión se realiza en el momento de utilización del canal. Por lo tanto, se pierde el concepto de facturación por tiempo, pasando a ser por uso del canal de emisión: se factura por volumen de tráfico (paquetes) y calidad de servicio.

Se introduce el servicio de mensajería multimedia o MMS. La velocidad efectiva de conexión puede llegar a 115 kbps (la velocidad de conexión teórica máxima o *throughput* es de 171,2 kbps).

14.3.3. UMTS-3G

UMTS significa Universal Mobile Telecommunications System. Esta tecnología parte de la IMT-2000 (IMT = International Mobile Telecommunications) desarrollada por la UIT, y se ha impuesto a nivel mundial frente a otras tecnologías 3G, como CDMA-2000 (Norteamérica). Utiliza el protocolo IP versión 6.

Proporciona cobertura global mediante la red de acceso UTRAN (Universal/UMTS Radio Access Network) y *roaming* internacional ilimitado (con portabilidad de servicios de usuario): el sistema está diseñado para funcionar en todo el mundo, empleando tanto redes terrestres como enlaces por satélite en sus diferentes capas.

Capa de satélites que proporcionan la cobertura global. Capa terrestre (UTRAN, UMTS Terrestrial Radio Access Network), que se divide en 3 capas: macroceldas (áreas rurales, poca población), microceldas (zonas urbanas), picoceldas (edificios y *hot spot*).

Utiliza celdas superpuestas: las celdas ya no son adyacentes, sino que se superponen para ofrecer diferentes servicios (en celdas más pequeñas, mayor velocidad de acceso, pero menos movilidad).

Emplea w-CDMA (DSSS, espectro ensanchado por secuencia directa) para la transmisión mediante espectro ensanchado y ofrece hasta 2 Mbps, suponiendo en su despegue una tecnología de banda ancha frente a los sistemas anteriores.

La estación base se denomina Nodo B.

Banda de frecuencias en torno a 2,1 GHz:

- Capa de satélites: UL (1.980 MHz a 2.010 MHz) / DL (2.170 MHz a 2.200 MHz).
- Capa terrestre:
 - FDD (banda simétrica 60 MHz): UL (1.920 MHz a 1.980 MHz) / DL (2.110 MHz a 2.170 MHz).
 - TDD (bandas asimétricas): UL (1.900 MHz a 1.920 MHz) / DL (2.010 MHz a 2.025 MHz).

Velocidad de transmisión elevada, adaptable bajo demanda (según tipo de aplicación):

- Macrocelas: 144 kbps con desplazamientos hasta 500 km/h.
- Microcelas: 384 kbps a una velocidad de 120 km/h.
- Picoceldas: hasta 2 Mbps (UMTS R99) a velocidades inferiores a 10 km/h.

14.3.4. Evolución 3G: HSDPA y HSUPA

Utiliza una variante de W-CDMA; incorpora un canal de transporte nuevo (HSDSCH, High Speed Downlink Shared Channel) que puede compartirse por varios usuarios (mayor eficiencia). En lugar del factor de ensanchado variable y el control de potencia adaptativo de W-CDMA, utiliza las tres técnicas siguientes: planificación rápida de paquetes (Fast Packet Scheduling) en estación base, AMC (Adaptive Modulation and Coding, codificación y modulación adaptativa) y retransmisiones rápidas desde la estación base mediante HARQ (Hybrid Automatic Repeat Request, con redundancia incremental):

- HSUPA, High Speed Uplink Packet Access (3,75 G-UMTS R6). Incorporación en las antenas del protocolo EUL (Enhanced UpLink). Asignación continua (cada 10 ms) de recursos radio (RAB, Radio Access Bearer) a los usuarios en función de su demanda.
- HSPA+, High Speed Packet Access Evolved (3,9 G-UMTS R7).
- HSPA+ MIMO (UMTS R8). Estos sistemas dejarán de utilizar w-CDMA y comenzarán a emplear OFDMA. HSOPA alcanzará los 40 Mbps descendentes y 28 Mbps ascendentes.

14.3.5. 4G LTE

El WWRF (Wireless World Research Forum) define 4G como una red que funciona con la tecnología de internet, combinándola con otros usos y tecnologías tales como WiFi y WiMAX. El IEEE definió 4G como «más allá de la 3G» (Beyond 3G). La cuarta generación forma parte de las tecnologías de acceso inalámbricas LTE (Long Term Evolution) para el desarrollo a largo plazo de las comunicaciones móviles.

La red completa está basada en el protocolo IP. Permite altas velocidades de descarga (100 Mbps en movimiento y 1 Gbps en reposo) además de QoS extremo a extremo. Opera en diferentes bandas de frecuencia: 800, 1.800 y 2.600 MHz. El *roaming* internacional se establece en 1.800 MHz. Empleará OFDMA.

Los nodos principales se denominan eNodeB (Evolved Node B, BTS evolucionada). La interfaz entre estaciones base adyacentes recibe el nombre de X2. En 4G la inteligencia del servicio se traslada a los eNodeB, incorporando estas las funciones de RNC (Radio Network Controller), que ya no existe en esta arquitectura. Por tanto, adquiere especial importancia la protección de los eNodeB.

14.3.6. 5G NFV y SDN

El estándar IMT 2020 (IMT = International Mobile Telecommunications) del UIT-R tiene como cometido definir los requisitos para redes, dispositivos y servicios 5G. El UIT-R ha definido tres áreas de aplicación principales para las capacidades mejoradas de 5G, como son:

- La banda ancha móvil mejorada (eMBB, Enhanced Mobile Broadband). Utiliza 5G como una progresión de los servicios de banda ancha móvil 4G LTE, con conexiones más rápidas (mayor velocidad de transmisión), mayor rendimiento y más capacidad.
- Las comunicaciones de baja latencia ultrafiabiles (URLLC, Ultra Reliable and Low Latency Communications). Uso de la red para aplicaciones críticas que requieren un intercambio de datos sólido e ininterrumpido, como, por ejemplo: aplicaciones industriales, atención médica remota.

- Las comunicaciones de tipo de máquina masiva (mMTC, Massive Machine-Type Communications). Utilizadas para conectarse a una gran variedad de dispositivos con distintos requisitos. Con 5G, por tanto, tiene su gran auge el mIoT (Massive Internet of Things) en una gran variedad de entornos (doméstico, salud, industrial, metropolitano –potenciación de las *smart cities*, etc.–).

Las bandas de frecuencia asignadas en España al servicio, según estableció el Plan Nacional 5G (2018-2020), son:

- 700 MHz (segundo dividendo digital), frecuencia utilizada para extensión de cobertura y uso en interior de edificios. La banda de 700 MHz es la que realmente permitirá el despliegue masivo de la nueva tecnología 5G.
- 3,4 GHz-3,8 GHz, con un mejor compromiso entre cobertura y capacidad. Identificada como la banda principal para la introducción de servicios europeos basados en 5G.
- 24,25 GHz-27,5 GHz, para una alta capacidad de transmisión de datos en casos específicos.
- Velocidades de descarga mínimas de 20 Gbps y 10 Gbps de subida.
- Reducción de la latencia o retardo de la red, en torno a 1 ms.
- Mayor capacidad de usuarios.
- Disponibilidad de la red del 99,999%.
- Cobertura del 100%.
- Red de acceso:
 - NG-RAN (New Generation Radio Access Network), es la red nativa 5G.
 - gNodeB (Next Generation NodeB): estación base 5G.



