

Los medios de transmisión y el módem

El medio de transmisión es el soporte físico que facilita el transporte de la información. Es una parte fundamental en la comunicación de datos. La calidad de la transmisión dependerá de sus características.

El módem, por su parte, nos ha permitido realizar la transmisión de datos por las redes públicas de voz desde los comienzos de la telemática y aprovechar de este modo estas infraestructuras.

1 Los medios de transmisión

El transporte de las señales, como hemos visto, puede ser mecánico, eléctrico, óptico, electromagnético, etc. El medio debe ser adecuado a la transmisión de la señal física con objeto de producir la conexión y la comunicación entre dos dispositivos.

La evolución sufrida por la informática y las telecomunicaciones ha desarrollado la investigación en estos elementos de la transmisión, obteniendo materiales de una gran calidad y fiabilidad.

Cada medio de transmisión tiene ventajas e inconvenientes, por lo que hay una serie de factores que deben tenerse en cuenta a la hora de elegirlo:

- Tipo de instalación en la que es más adecuado.
- Topología que soporta.
- Fiabilidad y vulnerabilidad.
- Influencia de las interferencias.
- Economía y facilidad de instalación.
- Seguridad. Facilidad para intervenir el medio.

Cada uno de los medios que trataremos tiene la posibilidad de funcionar con diversas señales, según hemos visto: analógicas, digitales, banda base, banda ancha, etc. Las características de estos medios serán distintas según su diversa naturaleza.

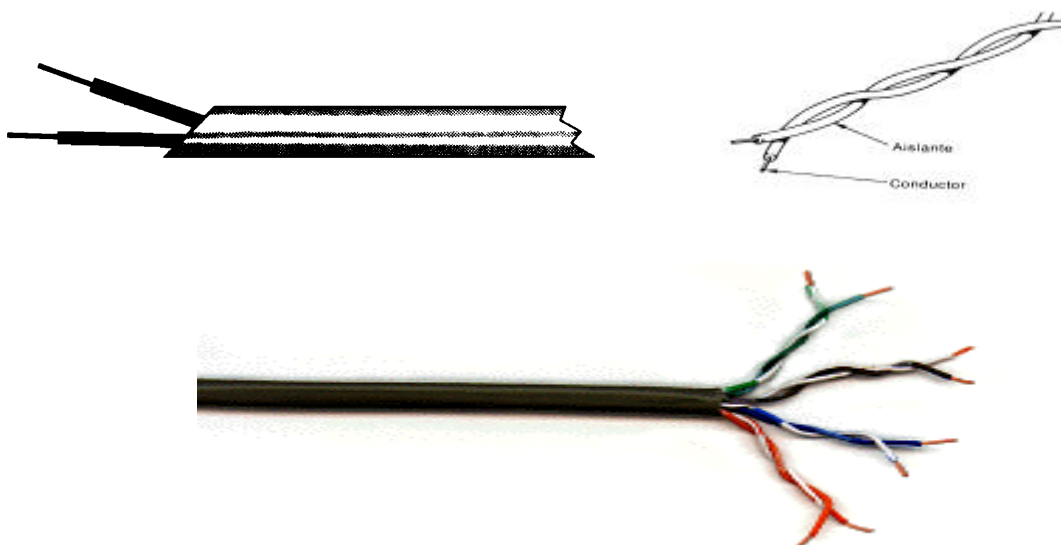
1.1 Sistemas de cableado para conducción eléctrica

Vamos a incluir en este apartado todos los medios de transmisión que utilizan canales conductores para la transmisión de la señal y que están sujetas tanto a la ley de Ohm como a las leyes fundamentales que rigen el electromagnetismo.

1.1.1 Los cables de pares

Constituyen el modo más simple y económico de todos los medios de transmisión. Sin embargo, presentan una serie de inconvenientes. En todo conductor, la resistencia eléctrica aumenta al disminuir la *sección del conductor*, por lo que hay que llegar a un compromiso entre volumen y peso, y la resistencia eléctrica del cable.

Esta última está afectada directamente por la longitud máxima. Cuando se sobrepasan ciertas longitudes hay que acudir al uso de *repetidores* para restablecer el nivel eléctrico de la señal.

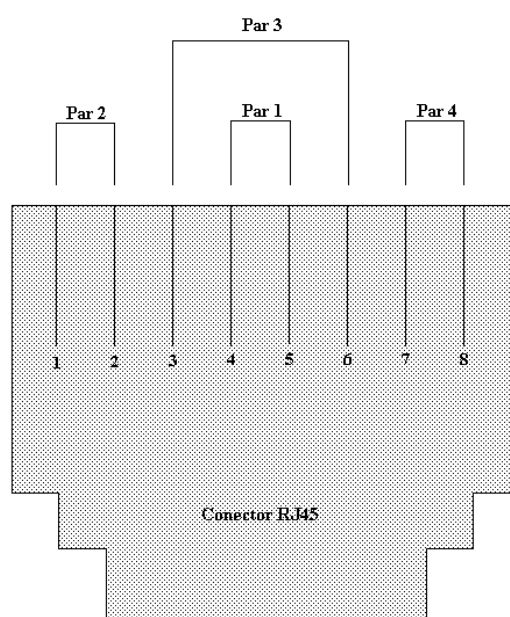


Tanto la transmisión como la recepción utilizan un par de conductores que, si no están apantallados, son muy sensibles a interferencias y diafonías producidas por la inducción electromagnética de unos conductores en otros (motivo por el que en ocasiones percibimos conversaciones telefónicas ajenas en nuestro teléfono). Un cable apantallado es aquel que está protegido de las interferencias eléctricas externas, normalmente a través de un conductor eléctrico externo al cable, por ejemplo, una malla.

Un modo de subsanar estas interferencias consiste en trenzar los pares de modo que las intensidades de transmisión y recepción anulen las perturbaciones electromagnéticas sobre otros conductores próximos. Esta es la razón por la que este tipo de cables se llaman de pares trenzados. Con este tipo de cables es posible alcanzar velocidades de transmisión comprendidas entre 2 Mbps y 100 Mbps en el caso de señales digitales.

Existen los siguientes tipos fundamentalmente:

- **Cable UTP.** UTP son las siglas de *Unshielded Twisted Pair*. Es un cable de pares trenzado y sin recubrimiento metálico externo, de modo que es sensible a las interferencias; sin embargo, al estar trenzado compensa las inducciones electromagnéticas producidas por las líneas del mismo cable. Es importante guardar la numeración de los pares, ya que de lo contrario el efecto del trenzado no será eficaz, disminuyendo sensiblemente, o incluso impidiendo, la capacidad de transmisión. Es un cable barato, flexible y sencillo de instalar. La impedancia de un cable UTP es de 100 ohmios. En la figura se pueden observar los distintos pares de un cable UTP.
- **Cable STP.** STP son las siglas de *Shielded Twisted Pair*. Este cable es semejante al UTP pero se le añade un recubrimiento metálico por cada par para evitar las interferencias externas. Por tanto, es un cable más protegido, pero menos flexible que el primero. El sistema de trenzado es idéntico al del



cable UTP. La resistencia de un cable STP es de 150 ohmios.

- **Cable FTP.** Iniciales de Foiled Twisted Pair o pares trenzados envueltos por una lámina. Esta reduce las emisiones al exterior del propio cable y le protege de las interferencias que se le pudieran inducir por radiaciones. Se trata de un UTP con un apantallamiento general.
- **Cable S-UTP.** Es un cable UTP recubierto con una malla y una lámina metálica; este doble apantallamiento le permite satisfacer mejor las exigencias de protección frente a radiaciones de alta y baja frecuencia.

Estos cables de pares tienen aplicación en muchos campos. El cable de cuatro pares está siendo utilizado como la forma de cableado general en muchas empresas, como conductores para la transmisión telefónica de voz, transporte de datos, etc. RDSI utiliza también este medio de transmisión.

En los cables de pares hay que distinguir dos clasificaciones:

Primera clasificación: las **categorías**. Cada categoría especifica unas características eléctricas para el cable: atenuación, capacidad de la línea e impedancia.

Segunda clasificación: las **clases**. Cada clase especifica las distancias permitidas, el ancho de banda conseguido y las aplicaciones para las que es útil en función de estas características.

CLASES	Clase A	Clase B	Clase C	Clase D
Ancho de Banda	100 Khz	1MHz	20 MHz	100 MHz
En categoría 3	2 Km.	500 m	100 m	No existe
En categoría 4	3 km	600 m	150 m	No existe
En categoría 5	3 km	700 m	160 m	100 m.

Dado que el cable UTP de categoría 5 es barato y fácil de instalar, se está incrementando su utilización en las instalaciones de redes de área local con topología física en estrella, mediante el uso de conmutadores.

Las aplicaciones típicas de la categoría 3 son transmisiones de datos hasta 10 Mbps (por ejemplo, la especificación 10BaseT); para la categoría 4 16 Mbps, y para la categoría 5 (por ejemplo, la especificación 100BaseT), 100 Mbps.

En concreto, este cable UTP de categoría 5 viene especificado por las características de la tabla siguiente referidas a un cable estándar de 100 metros de longitud:

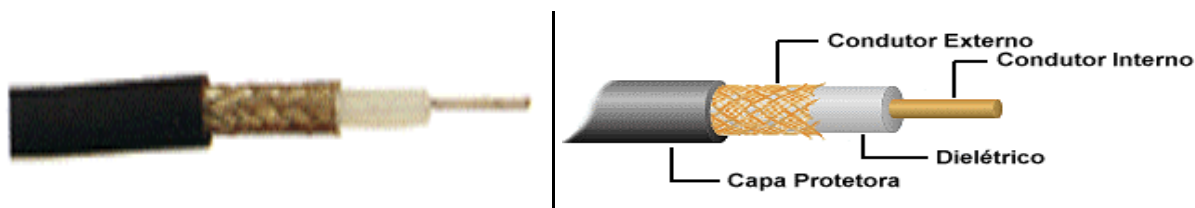
Velocidad de transmisión de datos para UTP de categoría 5	Nivel de atenuación
4 Mbps	13 dB
10 Mbps	20 dB
16 Mbps	25 dB
100 Mbps	67 dB

Es posible utilizar la lógica de las redes FDDI (*Fiber Distributed Data Interface*) utilizando como soporte cable UTP de categoría 5 en la clase D, ya que la velocidad de transmisión es de 100 Mbps como en FDDI. Por esta razón se le suele llamar TPDDI, *Twisted Pair Distributed Data Interface*.

1.1.2 El cable coaxial

Presenta propiedades mucho más favorables frente a interferencias y a la longitud de la línea de datos, de modo que el ancho de banda puede ser mayor. Esto permite una mayor concentración de las transmisiones analógicas o más capacidad de las transmisiones digitales.

Su estructura es la de un cable formado por un conductor central macizo o compuesto por múltiples fibras al que rodea un aislante dieléctrico de mayor diámetro. Una malla exterior aísla de interferencias al conductor central. Por último, utiliza un material aislante para recubrir y proteger todo el conjunto. Presenta condiciones eléctricas más favorables. En redes de área local se utilizan dos tipos de cable coaxial: fino y grueso.



Es capaz de llegar a anchos de banda comprendidos entre los 80 Mhz y los 400 Mhz (dependiendo de si es fino o grueso). Esto quiere decir que en transmisión de señal analógica seríamos capaces de tener, como mínimo, del orden de 10.000 circuitos de voz.

Los cables coaxiales solían usarse ampliamente en el sistema telefónico, pero ahora se les está reemplazando en gran medida por fibra óptica en rutas de largo recorrido.

Entre ellos distinguimos:

- **Cable coaxial de banda base.**- Es cable de 50 ohmios utilizado comúnmente para transmisión digital. El ancho de banda posible depende de la longitud del cable. En cables de 1 Km. Es factible una velocidad de datos de 1 a 2 Gbps. También se pueden usar cables más largos, pero a velocidades de datos más bajas o con amplificadores periódicos.
- **Cable coaxial de banda ancha.**- Transporta transmisión analógica en el cableado estándar de la televisión por cable. El término banda ancha viene del mundo de la telefonía, donde se refiere a cualquier cosa más ancha de 4 KHz.; en el mundo de las redes de computadoras significa cualquier red de cable que utilice transmisión analógica. Pueden usar hasta 450 Mhz. y extenderse hasta 100 Km. gracias a la transmisión analógica. Habitualmente precisan de amplificadores analógicos para reforzar la señal. Con la competencia entre compañías de teléfonos y compañías de televisión por cable en su apogeo, podemos esperar que los sistemas de televisión por cable empiecen a operar como MAN y a ofrecer servicios telefónicos y de acceso a Internet.

1.2 La fibra óptica

La fibra óptica permite la transmisión de señales luminosas y es insensible a interferencias electromagnéticas externas. Cuando la señal supera frecuencias de 10^{10} Hz hablamos de frecuencias ópticas. Los medios conductores metálicos son incapaces de soportar estas frecuencias tan elevadas y son necesarios medios de transmisión ópticos.

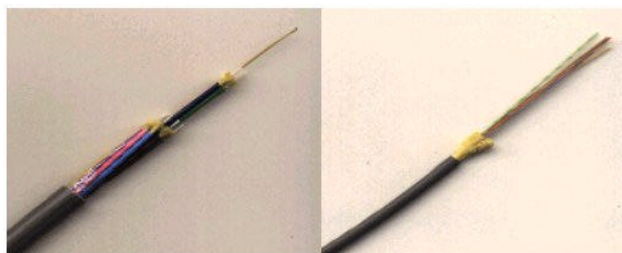
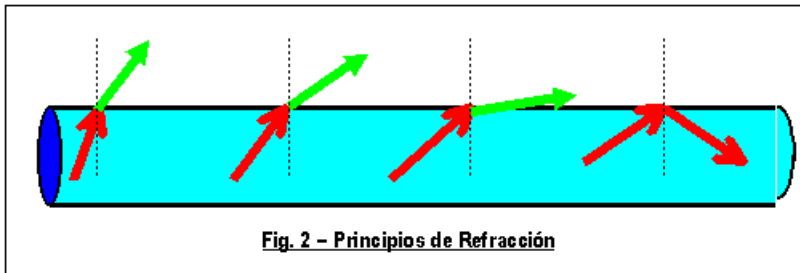
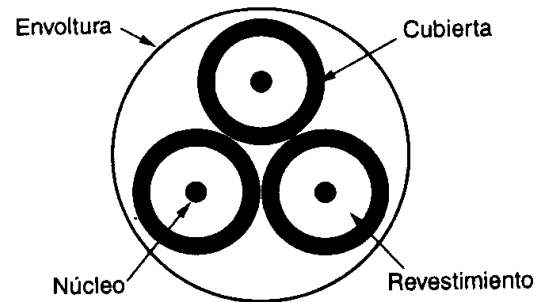
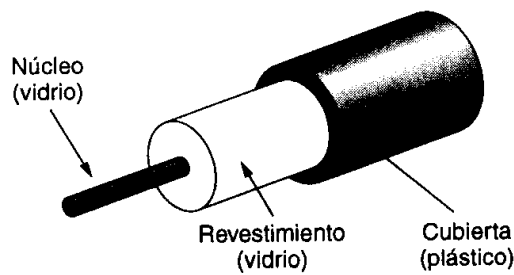


Imagen 1 - Cable óptico

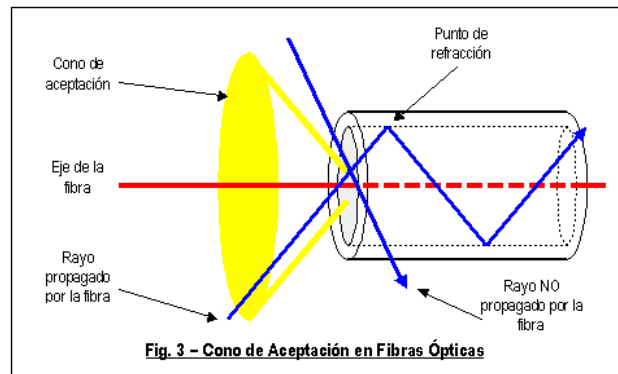
Cuando un rayo de luz pasa de un medio a otro,



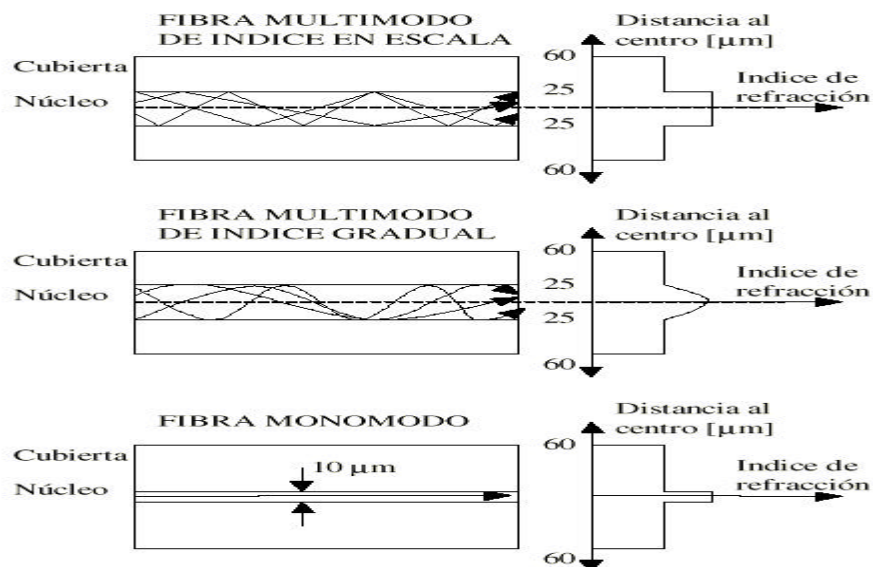
por ejemplo de sílice fundido al aire, el rayo se refracta en la frontera del sílice y el aire. El grado de refracción depende de las propiedades de los dos medios. Para ángulos de incidencia por encima de cierto valor crítico, la luz se refracta de regreso al sílice. En el dibujo se muestra un rayo atrapado, pero puesto que

cualquier rayo de luz que incida en la frontera con un ángulo mayor que el crítico se reflejará internamente, muchos rayos estarán rebotando dentro del sílice con ángulos diferentes. Se dice que cada rayo tiene un modo diferente, y una fibra que tiene esta propiedad se denomina **fibra multimodal** (50 micras, como un cabello humano).

Por otro lado, si se reduce el diámetro de la fibra a unas cuantas longitudes de onda de luz, la fibra actúa como una guía de ondas y la luz se puede propagar sólo en línea recta, sin rebotar, obteniéndose una fibra de modo único (8 a 10 micras). Éstas son más caras pero se pueden utilizar en distancias más grandes.

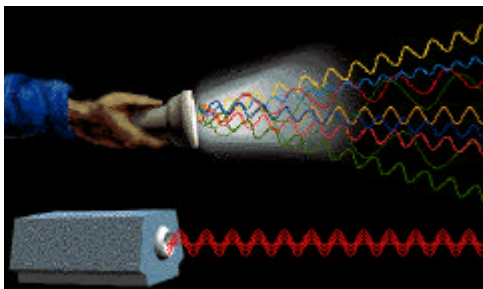


Si el índice de refracción del núcleo varía gradualmente, aumentando poco a poco hacia el centro del mismo, la fibra se denomina de índice gradual y los haces de luz son conducidos de forma más suave hacia el interior de la fibra, sin que reboten bruscamente reduciendo así las pérdidas en la propagación del haz.



Las fibras ópticas se hacen de vidrio, que a su vez se fabrica con arena, una materia prima de bajo costo disponible en cantidades ilimitadas.

Por otra parte, la luz ambiental es una mezcla de señales de muchas frecuencias distintas, por lo que no es una buena fuente para ser utilizada en la transmisión de datos. Son necesarias fuentes especializadas:



- **Fuentes láser.-** A partir de la década de los sesenta se descubre el láser, una fuente luminosa de alta coherencia, es decir, que produce luz de una única frecuencia y toda la emisión se produce en fase.
- **Diodos láser.-** Es una fuente semiconductor de emisión de láser de bajo precio.
- **Diodos LED.-** Son semiconductores que producen luz cuando son excitados eléctricamente.

Veamos una comparación de características entre los dos más utilizados:

Característica	LED	Semiconductor láser
Velocidad de datos	Baja	Alta
Modo	Multimodo	Multimodo o modo único
Distancia	Corta	Larga
Tiempo de vida	Vida larga	Vida corta
Sensibilidad a la temperatura	Baja	Considerable
Costo	Bajo	Elevado

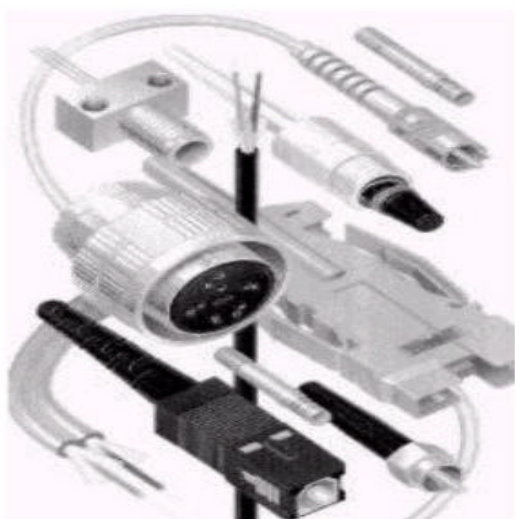


Imagen 3 – Elementos ópticos

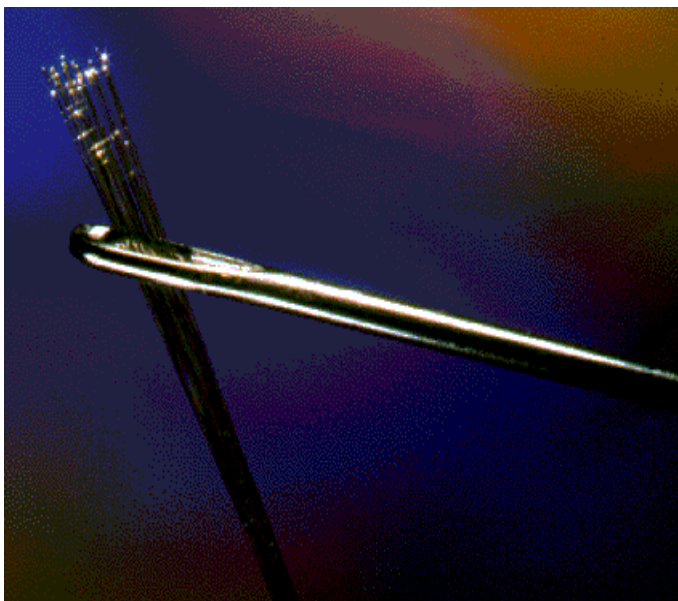
Las fibras se pueden conectar de tres formas diferentes:

- Primero, pueden terminar en conectores e insertarse en enchufes de fibra. Los conectores pierden el 10 o 20% de la luz, pero facilita la reconfiguración de los sistemas.
- Segunda, se pueden empalmar de manera mecánica. Los empalmes mecánicos acomodan dos extremos cortados con cuidado uno junto a otro en una manga especial y los sujetan en su lugar.
- Tercera, se pueden fusionar (fundir) dos tramos de fibra para formar una conexión sólida. Un empalme por fusión es casi tan bueno como una fibra de hilado único, pero aun aquí hay un poco de atenuación.

Con los tres tipos de empalme puede ocurrir reflejos en el punto del empalme, y la energía reflejada puede interferir la señal.

La fibra tiene muchas ventajas frente al cobre. Para empezar, puede manejar anchos de banda mucho más grandes que el cobre. Solamente por esto sería indispensable su uso en redes de alto rendimiento. Debido a la baja atenuación, sólo se necesitan repetidores a cada 30 Km. aproximadamente en líneas largas, contra casi cada 5 Km. cuando se usa cobre, lo que implica un ahorro sustancial. La fibra también tiene la ventaja de no ser afectada por las elevaciones en la carga o la interferencia electromagnética. Tampoco es afectada por las sustancias corrosivas del ambiente, lo que la hace ideal para ambientes fabriles pesados.

Extrañamente, las compañías de teléfonos son partidarias de la fibra por una razón diferente: es delgada y ligera. Muchos conductos de cables existentes están llenos por completo, de modo que no hay espacio para añadir más capacidad. Al retirar todo el cobre y reemplazarlo por fibras, se vacían los conductos, y el cobre tiene un



excelente valor de reventa para las refinerías de cobre. Además, la fibra es más ligera que el cobre. Mil pares trenzados de 1 Km. de longitud pesan 8.000 Kg. Dos fibras tienen mayor capacidad y únicamente pesan 100 Kg., lo que reduce en gran medida la necesidad de costosos sistemas mecánicos de apoyo a los que deben dar mantenimiento. Para rutas nuevas, la fibra es la opción obvia debido a su costo de instalación mucho más bajo.

Por último, las fibras no tienen fugas de luz y es difícil intervenirlas. Esto les confiere excelente inmunidad contra espías potenciales.

La razón por la que la fibra es mejor que el cobre es inherente en la física subyacente. Cuando los electrones se desplazan por un alambre, se afectan unos a otros y ellos mismos son afectados por electrones de fuera del alambre. Los fotones en una fibra no se afectan entre sí (no tienen carga eléctrica) y no resultan afectados por haces de fotones externos a la fibra.

Por el contrario, la fibra es una tecnología poco familiar que requiere habilidades que la mayoría de ingenieros no tiene. Como por su naturaleza la transmisión óptica es unidireccional, la comunicación en ambos sentidos requiere ya sea dos fibras o dos bandas de frecuencia en una fibra. Por último, las interfaces de fibra cuestan más que las de cobre.

1.3 Sistemas inalámbricos

Para usuarios móviles, los pares trenzados, los cables coaxiales y la fibra óptica no son útiles; necesitan obtener los datos sin estar atados a la infraestructura de comunicaciones terrestres (qué sería de un astronauta si no). Hay quien cree que el futuro será de fibra óptica y sistemas inalámbricos.

Sin embargo, la comunicación inalámbrica también tiene ventajas para los dispositivos fijos en ciertas circunstancias. Por ejemplo, si es difícil tender fibras hasta un edificio debido al terreno (montañas, selvas, pantanos, etc.), podría ser preferible un sistema inalámbrico. Es interesante que la comunicación digital inalámbrica moderna se inició en las islas Hawai, donde largos tramos del Océano Pacífico separaban a los usuarios y el sistema telefónico era inadecuado.

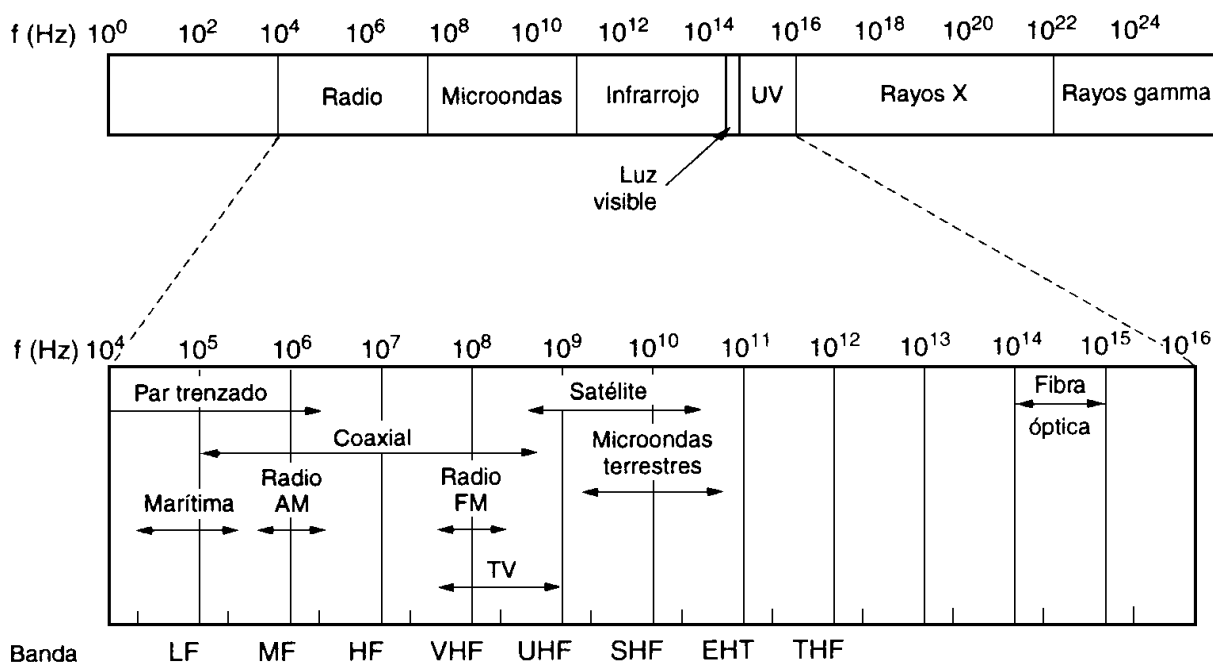
1.3.1 Radiotransmisión

Las ondas de radio son fáciles de generar, pueden viajar distancias largas y penetrar edificios sin problemas, de modo que se utilizan mucho en la comunicación, tanto en interiores como en exteriores. Las ondas de radio también son omnidireccionales, lo que significa que viajan en todas direcciones desde la fuente, por lo que el transmisor y el receptor no tienen que alinearse con cuidado físicamente.

Las propiedades de las ondas de radio dependen de la frecuencia. A bajas frecuencias, las ondas de radio cruzan bien los obstáculos, pero la potencia se reduce drásticamente con la distancia a la fuente, aproximadamente en proporción $1/r^3$ en el aire. A frecuencias altas, las ondas de radio tienden a viajar en línea recta y a rebotar en los obstáculos. También son absorbidas por la lluvia. En todas las frecuencias, las ondas de radio están sujetas a interferencia por los motores y otros equipos eléctricos.

Por la capacidad de las ondas de radio de viajar distancias largas, la interferencia entre usuarios es un problema. Por esta razón, los gobiernos legislan estrictamente el uso de radiotransmisores.

Veamos de nuevo el espectro desde el punto de vista de las comunicaciones:

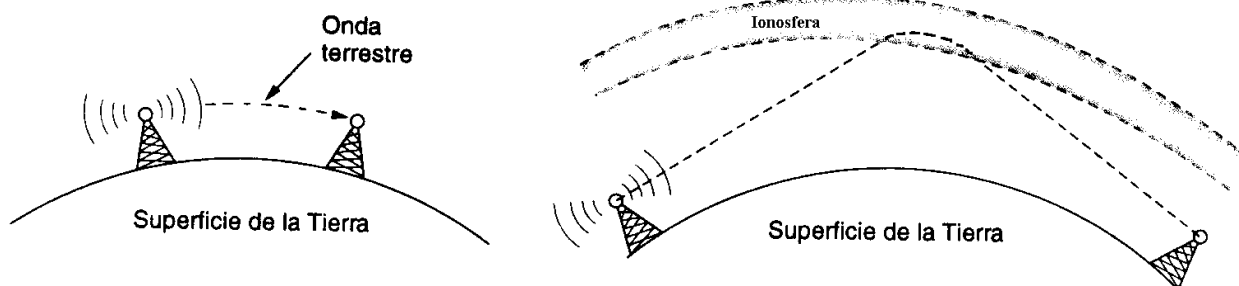


Los términos LF, MF y HF se refieren a las frecuencias baja, media y alta (Low, Medium, High), respectivamente. Queda claro que, cuando se asignaron los nombres, nadie esperaba rebasar los 10 MHz, así que las bandas más altas se denominaron después bandas de *muy, ultra, super, extremadamente y tremendamente* alta frecuencia. Más allá de eso ya no hay nombre, pero las designaciones *increíblemente, asombrosamente y prodigiosamente* alta frecuencia sonarían bien.

En las bandas VLF, LF y MF, las ondas de radio siguen el terreno, como se ilustra en el dibujo. Estas ondas se pueden detectar quizás a 1000 Km. en las frecuencias más bajas, y a menos en frecuencias más altas. La difusión de radio AM usa la banda MF, y es por ello que las estaciones de radio AM de Boston no se pueden oír con facilidad en Nueva York. Las ondas de radio en estas bandas cruzan con facilidad los edificios, y es por ello que los radios portátiles funcionan en interiores. El problema principal al usar estas bandas para comunicación de datos es el ancho de banda relativamente bajo que ofrecen.

En las bandas HF y VHF, las ondas a nivel del suelo tienden a ser absorbidas por la Tierra. Sin embargo, las ondas que alcanzan la ionosfera, una capa de partículas cargadas que rodea a la Tierra a una altura de 100 a 500 Km., se refractan y se envían de regreso a nuestro planeta, como se muestra en la figura. En ciertas condiciones

atmosféricas, las señales pueden rebotar varias veces. Los operadores de radioaficionados usan estas bandas para conversar a larga distancia. El ejército se comunica también en las bandas HF y VHF.



1.3.2 Transmisión por microondas

Por encima de los 100 Mhz las ondas viajan en línea recta y, por tanto, se pueden enfocar en un haz estrecho. Concentrar toda la energía en un haz pequeño con una antena parabólica (como la tan familiar paellera) produce una señal mucho más alta en relación con el ruido, pero las antenas transmisoras y receptoras deben estar muy bien alineadas entre sí. Además, esta direccionalidad permite a transmisores múltiples alineados en una fila comunicarse con receptores múltiples en fila, sin interferencia. Antes de la fibra óptica, estas microondas formaron durante décadas el corazón del sistema de transmisión telefónica de larga distancia. De hecho, el nombre de la empresa de telecomunicaciones de larga distancia MCI proviene de Microwave Communications, Inc., porque su sistema entero se basó originalmente en torres de microondas (desde entonces ha modernizado las principales porciones de su red empleando fibras).

Ya que las microondas viajan en línea recta, si las torres están muy separadas, partes de la Tierra estorbarán (piense en un enlace de San Francisco a Amsterdam). En consecuencia, se necesitan repetidores periódicos. Cuanto más altas sean las torres, más separadas pueden estar. La distancia entre las repetidoras se eleva en forma muy aproximada con la raíz cuadrada de la altura de las torres. Con torres de 100 m de altura, las repetidoras pueden estar espaciadas a 80 Km. de distancia.

La creciente demanda de espectro obliga a mejorar continuamente la tecnología de modo que las transmisiones puedan usar frecuencias todavía más altas. Las bandas de hasta 10 GHz. son ahora de uso rutinario, pero a casi 8 GHz se presenta un nuevo problema: la absorción del agua. Estas ondas sólo tienen unos centímetros de longitud y la lluvia las absorbe. Este efecto sería benéfico si se quisiera construir un enorme horno de microondas para exteriores, pero para la comunicación es un problema grave. Al igual que con el desvanecimiento de trayectoria múltiple, la única solución es apagar los enlaces afectados por la lluvia y enrutarlos dando un rodeo.

En síntesis, la comunicación por microondas se utiliza tanto para la comunicación telefónica de larga distancia, los teléfonos celulares, la distribución de la televisión y otros usos, que el espectro se ha vuelto muy escaso. Esta tecnología tiene varias ventajas significativas respecto a la fibra. La principal es que no se necesita derecho de paso; basta comprar un terreno pequeño cada 50 km y construir en él una torre de microondas para saltarse el sistema telefónico y comunicarse en forma directa. Así es como MCI logró establecerse como una compañía nueva de teléfonos de larga distancia tan rápidamente (Sprint siguió un camino diferente: la fundó el ferrocarril Southern Pacific Railroad, que ya poseía una gran cantidad de derechos de paso, limitándose a enterrar la fibra junto a las vías).

Las microondas también son relativamente baratas. Erigir dos torres sencillas (quizá sólo postes grandes con cuatro cables de retén) y poner antenas en cada uno puede costar menos que enterrar 50 Km. de fibra a través de un área urbana congestionada o sobre una montaña, y también puede ser más económico que rentar la fibra de la compañía de teléfonos.

Además de servir para transmisión de larga distancia, las microondas tienen otro uso importante, a saber, las bandas industriales, médicas y científicas. Estas bandas constituyen la excepción a la regla de las licencias: los transmisores que usan estas bandas no requieren licencia del gobierno. Hay una banda asignada mundialmente: de 2.400 a 2.484 GHz. Además, en Estados Unidos y Canadá existen bandas de 902 a 928 MHz. y de 5.725 a

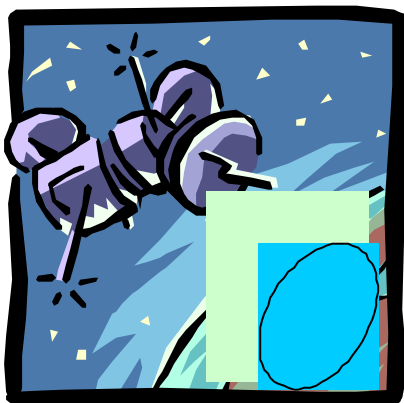
5.850 GHz. Estas bandas se utilizan para teléfonos sin cordón (inalámbricos), controles electrónicos de puertas de cocheras, altavoces inalámbricos de alta fidelidad, puertas de seguridad, etc. La banda de 900 MHz. es la que funciona mejor pero está muy poblada. Las bandas más altas requieren circuitos electrónicos más costosos y están sujetas a la interferencia de los hornos de microondas y de las instalaciones de radar. No obstante, estas bandas son populares en varias aplicaciones de redes inalámbricas de corto alcance porque evitan los problemas asociados con las licencias.

Es de destacar el hecho de que en la actualidad se están comercializando redes locales cuyas estaciones están enlazadas entre sí por ondas de radio, empleando una sección poco utilizada del espectro electromagnético como son las frecuencias de 18 GHz, obteniéndose rendimientos superiores a las tecnologías que utilizan cables coaxiales para interconectar las máquinas de una red.

1.3.3 Satélites de comunicaciones

Los primeros satélites de comunicaciones se emplearon de forma experimental por la NASA en 1960. Se trataba de unos simples globos de mylar aluminado, de unos 33 metros de diámetro, denominados Echo I y Echo II ya que actuaban como simples reflectores pasivos. En ese mismo año se lanzaron los primeros satélites activos.

En la actualidad este tipo de comunicación puede imaginarse como si tuviésemos un enorme repetidor de microondas en el cielo. Está constituido por uno o más dispositivos receptor-transmisor, cada uno de los cuales escucha una parte del espectro, amplificando la señal de entrada y retransmitiendo a otra frecuencia para evitar los efectos de interferencia. El flujo hacia la tierra puede ser muy amplio y cubrir una parte significativa de la superficie terrestre, o bien ser pequeño y cubrir un área de unos cientos de kilómetros de diámetro.



Habitualmente, la mejor órbita de los satélites de comunicaciones es una órbita geoestacionaria. Con la tecnología actual no es deseable tener satélites espaciados a menos de 4° . El haz proveniente de la tierra, considerando separaciones menores, iluminaría al que se desea y también a los que le rodean. Con este espaciamiento sólo puede haber 90 satélites geoestacionarios al mismo tiempo y el problema es aún más grave en el cuadrante más utilizado, el que se encuentra sobre EEUU y Europa.

Debido a su gran potencia, los satélites de TV necesitan un espacido de 8° . Hay una gran competencia por el uso de los mismos. Dos satélites que operen en bandas de frecuencia distintas sí pueden ocupar la misma ranura espacial.

Existen acuerdos internacionales para el uso de ranuras orbitales y frecuencias. Las bandas de 3.7 a 4.2 GHz y de 5.925 a 6.425 GHz se han asignado como frecuencias de telecomunicación vía satélite para flujos provenientes del satélite o dirigidos hacia él. En la actualidad estas bandas están superpobladas porque también se utilizan por los proveedores de servicios portadores para enlaces terrestres de microondas.

Las bandas superiores siguientes que se encuentran disponibles son las de 12-14 GHz, y a estas frecuencias los satélites pueden tener un espacido de 1° . El problema en este caso es la lluvia, ya que el agua es un gran absorbente de este tipo de microondas. Las bandas de 20-30 GHz también se han reservado para comunicaciones por satélite, pero el coste de la tecnología necesaria resulta prohibitivo.

Un satélite típico divide su ancho de banda de 500 MHz en unos 12 receptores-transmisores de un ancho de banda de 36 MHz cada uno. Cada par puede emplearse para codificar un flujo de información de 500 Mbps, 800 canales de voz digitalizada de 64 Kbps, o bien, otras combinaciones diferentes.

En los primeros satélites, la división en canales era estática separando el ancho de banda en bandas de frecuencias fijas. En la actualidad el canal multiplexa en el tiempo, primero una estación, luego otra, y así sucesivamente. También tenían un solo haz espacial que cubría todas las estaciones terrestres.

Con los desarrollos experimentados en microelectrónica, un satélite moderno posee múltiples antenas y pares receptor-transmisor. Cada haz de información proveniente del satélite puede enfocarse sobre un área muy pequeña de forma que pueden hacerse simultáneamente varias transmisiones hacia o desde el satélite. A estas transmisiones se les llama traza de ondas dirigidas.

La información transmitida a través del satélite sufre un retardo adicional como consecuencia de la larga distancia que debe recorrer la señal. Este tiempo extremo a extremo oscila entre 250 y 300 ms. Los enlaces terrestres tienen un retardo de propagación de unos 3 s/km. En un cable coaxial el retardo es de unos 5 s/km (la velocidad de la señal eléctrica en el cobre es menor que la de la electromagnética en el aire). El retardo total depende del ancho de banda y la tasa de errores. Así, para x Kbits enviados por un enlace terrestre de 9600 bps se emplean $x/9.6$ segundos. Para enviar la misma información por satélite, a una velocidad de 5 Mbps se emplean $(x/5000+0.270)$ segundos, incluyendo el retardo de propagación. Para $x > 2.6$ Kbits, la transmisión vía satélite es más rápida. Si además incluyésemos la tasa de errores, el resultado es aún más favorable para el satélite. Además la tarifa es independiente de la distancia.

Otra propiedad interesante del envío de datos por satélite es su difusión. Todas las estaciones incluidas bajo el área del haz, pueden recibir la comunicación, incluso las estaciones piratas. Las implicaciones en cuanto a la privacidad son inmediatas. Es necesario alguna forma de encriptación para mantener el secreto de las comunicaciones privadas.

En cuanto a los fenómenos que dificultan las comunicaciones vía satélite, se han de incluir también el movimiento aparente en 8 de los satélites de la órbita geoestacionaria debido a los balanceos de la Tierra en su rotación, los eclipses de Sol en los que la tierra impide que el satélite pueda cargar baterías con sus células solares y los tránsitos solares, en los que el Sol interfiere las comunicaciones del satélite al encontrarse este en la trayectoria entre el Sol y la Tierra.

Los satélites artificiales han revolucionado el mundo de las telecomunicaciones. Resulta un medio ideal para la difusión de imágenes en directo y un sistema sumamente eficaz para los enlaces de datos de larga distancia. En general, un satélite situado en órbita geoestacionaria a unos 35000 Km de la superficie terrestre, está constituido por uno o más dispositivos receptor-transmisor, que hacen las funciones de un enorme repetidor de microondas.

Las frecuencias con las que emiten las antenas terrestres y las frecuencias con las que emite el satélite son distintas a fin de evitar interferencias entre las señales de subida y las de bajada.

1.3.4 Ondas infrarrojas y milimétricas

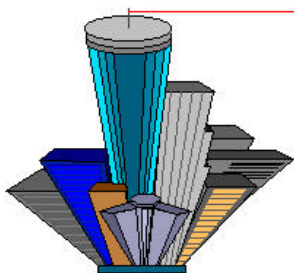
Las ondas infrarrojas y milimétricas no guiadas se usan mucho para la comunicación de corto alcance. Todos los controles remotos de los televisores, grabadoras de vídeo y estéreos utilizan comunicación infrarroja. Estos controles son relativamente direccionales, baratos y fáciles de construir, pero tienen un inconveniente importante: no atraviesan los objetos sólidos (prueba a pararte entre el mando a distancia y el televisor y a ver si todavía funciona). En general, conforme pasamos de la radio de onda larga hacia la luz visible, las ondas se comportan cada vez más como la luz y cada vez menos como la radio.

Por otro lado, el hecho de que las ondas infrarrojas no atraviesen bien las paredes sólidas también es una ventaja. Esto significa que un sistema infrarrojo en un cuarto de un edificio no interferirá un sistema similar en cuartos adyacentes. Además, la seguridad de los sistemas infrarrojos contra el espionaje es mejor que la de los sistemas de radio, precisamente por esta razón. Por lo mismo, no es necesario obtener licencia del gobierno para operar un sistema infrarrojo, en contraste con los sistemas de radio, que deben tener licencia.

Estas propiedades han hecho del infrarrojo un candidato interesante para las LAN inalámbricas en interiores. Por ejemplo, las computadoras y las oficinas de un edificio se pueden equipar con transmisores y receptores infrarrojos relativamente desenfocados (es decir, un tanto omnidireccionales). De esta manera, las computadoras portátiles capaces de utilizar infrarrojo pueden estar en la LAN local sin tener que conectarse a ella físicamente. Cuando varias personas se presentan a una reunión con sus máquinas portátiles, sólo tienen que sentarse en la sala de conferencias para estar conectados por completo, sin tener que enchufar. La comunicación con infrarrojo no se puede usar en exteriores porque el sol brilla con igual intensidad en el infrarrojo como en el espectro visible.

1.3.5 Transmisión por ondas de luz

La señalización óptica sin guías se ha usado durante siglos. Paul Revere (revolucionario americano antibritánico) utilizó señalización óptica binaria desde la vieja Iglesia del Norte justo antes de su famoso viaje. Una aplicación



más moderna es conectar las LAN de dos edificios por medio de láseres montados en sus azoteas. La señalización óptica coherente con láseres es inherentemente unidireccional, de modo que cada edificio necesita su propio láser y su propio fotodetector. Este esquema ofrece un ancho de banda muy alto y un coste muy bajo. También es relativamente fácil de instalar y, a diferencia de las microondas, no

requiere una licencia.

Los sistemas por trayectoria óptica son básicamente un enlace de fibra óptica en el que se ha sustituido esta por el aire. La transmisión de datos puede realizarse mediante rayos infrarrojos para distancias cortas y láser para distancias de hasta unos 2 Km. a velocidades de 45 Mbps.

La ventaja del láser, un haz muy estrecho, es aquí también una debilidad. Apuntar un rayo láser de 1 mm de anchura a un blanco de 1 mm a 500 metros de distancia requiere la puntería de un Guillermo Tell moderno. Por lo general, se añaden lentes al sistema para desenfocar ligeramente el rayo.

La comunicación por láser o infrarrojo es totalmente digital, altamente directiva y en consecuencia las partículas en suspensión en la atmósfera como la lluvia o la niebla pueden ocasionar interferencia en la comunicación en función de la longitud de onda elegida. Además, las brisas ascensionales provocadas por variaciones de temperatura que modifican la densidad del aire, provocan desviaciones del haz de luz evitando que incida correctamente en el receptor. La utilización de la luz coherente del láser añade el peligro de los posibles daños en la retina si es enfocada en el ojo humano.

2 Técnicas de detección y corrección de errores

Hemos visto que existen diversos problemas en la transmisión de señales que pueden ocasionar errores en la transmisión, especialmente cuando la distancia que separa emisor y receptor es grande. Pueden tomarse medidas para reducirlos, pero no para eliminarlos completamente. Por ello, al realizar una transmisión deben utilizarse técnicas que permitan detectar y corregir los errores que se hayan producido. Estas técnicas se basan siempre en la idea de añadir cierta información redundante a la información que desee enviarse. A partir de ella el receptor puede determinar, de forma bastante fiable, si los bits recibidos corresponden realmente a los enviados.

Para entender la manera en que pueden manejarse los errores es necesario estudiar de cerca lo que es en realidad un error. Normalmente, un marco consiste en m bits de datos (es decir, de mensaje) y r bits redundantes o de comprobación. Sea la longitud total n (es decir, $n = m + r$). A una unidad de n bits que contiene datos y bits de comprobación se le conoce como **palabra código** de n bits.

Dadas dos palabras código cualesquiera, digamos 1000 1001 y 1011 0001, es posible determinar cuántos bits correspondientes difieren. En este caso, difieren tres bits. Para determinar la cantidad de bits diferentes basta aplicar una operación OR EXCLUSIVO a las dos palabras código y contar la cantidad de bits 1 en el resultado. La cantidad de posiciones de bit en la que difieren dos palabras código se llama **distancia de Hamming**. Su significado es que, si dos palabras código están separadas una distancia de Hamming d , se requerirán d errores de un bit para convertir una en la otra.

En la mayoría de las aplicaciones de transmisión de datos, todos los 2^m mensajes de datos posibles son legales, pero debido a la manera en que se calculan los bits de comprobación no se usan todas las 2^n palabras código posibles. Dado el algoritmo de cálculo de los bits de comprobación, es posible construir una lista completa de palabras código legales y, en esta lista, encontrar las dos palabras código cuya distancia de Hamming es mínima. Esta distancia es la distancia de Hamming de todo el código.

Las propiedades de detección y corrección de errores de un código dependen de su distancia de Hamming. Para detectar d errores se necesita un código con distancia $d + 1$, pues con tal código no hay manera de que d errores de un bit puedan cambiar una palabra código válida a otra. Cuando el receptor ve una palabra código no válida, sabe que ha ocurrido un error de transmisión. De manera parecida, para corregir d errores se necesita un código de distancia $2d + 1$, pues así las palabras código legales están tan separadas que, aun con d cambios, la palabra código original sigue estando más cercana que cualquier otra palabra código, por lo que puede determinarse de manera única.

El problema puede abordarse de dos formas distintas:

- Utilizando **estrategias basadas en retransmisión** (control de errores *backward* o *hacia atrás*). Cada carácter o trama transmitida contiene suficiente información adicional únicamente para permitir que el receptor detecte si ha ocurrido algún error, en cuyo caso el transmisor debe enviar una copia del carácter o trama dañado.
- Mediante **códigos autocorrectores** (control de errores *forward* o *hacia adelante*). En este caso, cada carácter o trama transmitida contiene suficiente información adicional, no sólo para que el receptor pueda detectar que ha ocurrido un error, sino para que en caso de que ello haya ocurrido pueda inferir la información correcta a partir de los datos recibidos. Este esquema se usa raramente en transmisión de datos, puesto que la segunda aproximación al problema resulta mucho más eficiente, ya que el número de bits adicionales necesarios en este tipo de control es excesivo frente a los bits de información transmitidos. Además no garantizan la corrección en caso de errores en ráfagas. Se usan únicamente en casos donde la estrategia de retransmisión es impracticable: situaciones de difusión y canales símplex (en un solo sentido de transmisión).

2.1 Estrategias basadas en retransmisión

El control de errores **backward** puede dividirse en dos partes: la primera de ellas comprende las técnicas que pueden utilizarse para la detección de errores de forma fiable; la segunda engloba los algoritmos de control que se requieren para llevar a cabo las retransmisiones necesarias. El estudio de la primera parte se llevará a cabo en este apartado, siendo la segunda parte objeto de estudio en temas posteriores.

2.1.1 Paridad

Uno de los métodos más comúnmente empleados para detectar errores, cuando el número de bits de información a transmitir es pequeño y la probabilidad de que ocurra un error es baja, es el uso de un **bit adicional de paridad** por elemento transmitido.

En el caso más sencillo se añadirá un bit a cada carácter a transmitir cuyo valor será dependiente de su peso (número de unos que contiene el carácter). Si se utiliza paridad **par**, se añadirá un uno si el carácter original tiene por peso un número impar y un cero en caso contrario. Para paridad **impar**, el proceso es el inverso. Con este método puede detectarse la ocurrencia de un número impar de errores pero los errores pares no serán detectados. Resulta adecuado, por ejemplo, cuando se utiliza transmisión serie asíncrona, cada carácter transmitido puede constar de siete y ocho bits de datos más uno de paridad.

Puede conseguirse una importante mejora añadiendo un segundo grupo de bits de paridad, como puede verse en la siguiente tabla. Para ello deben agruparse los datos en bloques y aplicar el control de paridad a dos dimensiones (filas y columnas). Para cada carácter se añade un bit de paridad, como en el caso anterior. Además, se genera un bit de paridad para cada posición de bit a través de todos los caracteres. Es decir, se genera un carácter adicional en que el i -ésimo bit del carácter es un bit de paridad para el i -ésimo bit de todos los caracteres en el bloque.

	Bit 1	Bit 2	...	Bit n	Bit de paridad
Carácter 1	b_{11}	b_{21}	...	b_{n1}	P_1
Carácter 2	b_{12}	b_{22}	...	b_{n2}	P_2
...
Carácter m	b_{1m}	b_{2m}	...	b_{nm}	P_m
Carácter e paridad	C_1	C_2	...	C_n	C_{n+1}

El bit C_{n+1} se puede considerar como vertical, horizontal o diagonal. Los bits redundantes horizontales se conocen con las siglas **LRC** (*Longitudinal Redundancy Check*) y los verticales por **VRC** (*Vertical Redundancy Check*). Con este método pueden corregirse errores simples y detectarse dobles, triples y cuádruples si éstos no forman un rectángulo en la matriz de dígitos.

2.1.2 Códigos de redundancia cíclica (CRC)

Los códigos de **redundancia cíclica**, también conocidos como **códigos polinomiales** constituyen el método de detección de errores más empleado en comunicaciones. Se utiliza con esquemas de transmisión orientados a tramas (o bloques). Permiten sustanciales mejoras en fiabilidad respecto a los métodos anteriores, siendo a la vez una técnica de fácil implementación.

El método se basa en el uso de aritmética polinomial módulo 2 (No hay acarreo en la sustracción ni en la adición y las operaciones suma, resta y OR-exclusivo coinciden). La trama a transmitir –de n bits– representa un polinomio de coeficientes binarios. La idea consiste en añadir una secuencia de k bits, al final de la trama, de manera que la secuencia de $k+n$ bits resultante constituya los coeficientes de un polinomio divisible de forma exacta por un polinomio $G(x)$ determinado previamente por emisor y receptor y conocido como **polinomio generador**. Cuando el receptor recibe la trama realiza la división entre $G(x)$, si el resto es distinto de cero ha ocurrido un error de transmisión.

$$CRC = resto \left[\frac{M(x) \cdot x^L}{G(x)} \right] \quad \frac{M(x) \cdot x^L + CRC}{G(x)} = 0$$

Ejemplo:

datos: 11100110 $k=8$ bits

CRC= 4 bits = L

$M(x) = x^7 + x^6 + x^5 + x^2 + x$

$G(x) = x^4 + x^3 + 1$ escogido al azar.

$M(x) \cdot x^L = x^{11} + x^{10} + x^9 + x^6 + x^5$

$$\begin{array}{r}
 x^{11} + x^{10} + x^9 + x^6 + x^5 \quad | \quad x^4 + x^3 + 1 \\
 \underline{x^{11} + x^{10} + x^7} \\
 x^9 + x^7 + x^6 + x^5 \\
 \underline{x^9 + x^8 + x^5} \\
 x^8 + x^7 + x^6 \\
 \underline{x^8 + x^7 + x^4} \\
 x^6 + x^4 \\
 \underline{x^6 + x^5 + x^2} \\
 x^5 + x^4 + x^2 \\
 \underline{x^5 + x^4 + x} \\
 x^2 + x
 \end{array}$$

$x^2 + x \rightarrow L = 4 \text{ bits} \rightarrow 0110$
0110

Imponiendo condiciones bastante simples sobre los polinomios generadores es posible detectar un gran número de errores. Existen tres polinomios $G(x)$ que se han convertido en estándares internacionales:

CRC-12	$x^{12} + x^{11} + x^3 + x^2 + x + 1$
CRC-16	$x^{16} + x^{15} + x^2 + 1$
CRC-CCITT	$x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$

Con secuencias de control de 16 bits, utilizando los polinomios CRC-16 y CRC-CCITT es posible detectar todos los errores simples y los dobles, todos los que afectan a un número impar de bits, todos los errores tipo ráfaga de 16 bits o menores, el 99,997% de errores ráfaga de 17 bits y el 99,998% de los de 18 bits y mayores.

2.2 Métodos de corrección de errores.

2.2.1 Códigos correctores hacia adelante: El código Hamming

Como ejemplo de sistema de recuperación hacia adelante vamos a estudiar los sistemas basados en el uso de códigos Hamming.

Los códigos Hamming constituyen una familia de códigos diseñada para detectar y corregir los errores que pueden aparecer durante una transmisión. Estos códigos se basan en añadir a cada una de las palabras de información que se van a transmitir (que están formadas por un conjunto de bits de información) un conjunto de bits de comprobación. El conjunto de bits de información y bits de comprobación constituyen una palabra del código Hamming que se esté utilizando. La particularidad principal de los códigos Hamming se encuentra en que a partir de los bits de comprobación se pueden detectar la posición de los bits erróneos y corregirlos (corregir un bit erróneo es muy fácil, basta con invertirlo, si es un 0 pasarlo a 1 y si es un 1 pasarlo a 0).

Los códigos Hamming se diseñan para corregir y detectar un número predeterminado de errores; así, existen códigos para corregir un bit erróneo, dos bits erróneos, etc. Puede demostrarse que si un código Hamming es capaz de corregir los errores que aparezcan en n bits también será capaz de detectar $n + 1$ bits erróneos. Por ejemplo, los códigos Hamming que corrigen un bit erróneo también son capaces de detectar errores dobles.

Vamos a ver, con un ejemplo, el funcionamiento general de un código Hamming. Para ello supongamos que tenemos una palabra de información de 6 bits y que deseamos utilizar un código Hamming que corrija todos los errores de un bit que puedan presentarse. Podríamos, entonces, utilizar la siguiente estructura para las palabras del código Hamming (que, recordémoslo, contienen tanto los bits de información como los bits de comprobación),

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
C1	C2	D1	C3	D2	D3	D4	C4	D5	D6	D7	D8

donde C1, C2, C3 y C4 son los bits de comprobación, que quedan situados en las posiciones 1, 2, 4 y 8 (en general irán en las posiciones 2^n con $n = 0, 1, 2, 3, \dots$) y D1, D2, ..., D8 son los bits de datos, que quedan situados en las posiciones 3, 5, ..., 11 y 12. En el código Hamming se emplea el bit C1 para comprobar, haciendo uso de paridad par, los bits de datos D1, D2, D4, D5 y D7. Igualmente se emplea C2 para comprobar los bits de datos D1, D3, D4 y D11, y de forma análoga se emplean C3 y C4.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	C1	C2	D1	C3	D2	D3	D4	C4	D5	D6	D7	D8
C4								X	X	X	X	X
C3				X	X	X	X					X
C2		X	X			X	X			X	X	
C1	X		X		X		X		X		X	

Puede observarse que mediante los bits C4, C3, C2 y C1 se determina la posición de cada uno de los bits de la palabra del código Hamming, y es esta propiedad la que se emplea para corregir los errores, como vamos a ver a continuación.

Cuando se procede a enviar los datos se realizan los cálculos necesarios para determinar C1, C2, C3 y C4. Por ejemplo a C4 se le dará el valor 0 ó 1, según sea necesario para que la secuencia de bits C4, D5, D6, D7 y D8 tenga paridad par. Análogamente se hará con C3, C2 y C1. A continuación se enviarán los datos.

Cuando se reciben los datos se almacenan los valores de los bits de comprobación y se vuelven a efectuar los cálculos. Cuando se calculan los nuevos valores de C1, C2, C3 y C4 se van comparando con los valores recibidos empezando por C4 y terminando por C1. Si los valores recibidos y los valores calculados coinciden se asigna a la comprobación el valor 0 y si fallan se asigna a la comprobación el valor 1. Si todas las comprobaciones dan resultado positivo se obtendrá el valor 0000 para las secuencias de comprobaciones y se considera que no ha habido errores. Pero si se ha producido un error, algunas de las comprobaciones fallarán y se les asignará el valor 1. En efecto, supongamos que se ha producido un error en el bit D3. Al realizar las comprobaciones de paridad se obtendrá el mismo valor para las correspondientes a C4 y C1, pues ninguno de los dos bits se ven afectados por D3. Sin embargo para C2 y C3 se obtendrá el valor distinto, pues el valor de la paridad calculado ahora y el valor obtenido serán diferentes. Identificaremos los bits, de entre los de paridad, que han sufrido cambios señalándolos con 1. De este modo, tendremos la secuencia 0110 para las comprobaciones de paridad. Pero 0110 representa en binario el número 6, ¡que es la posición del bit D3!

De la propia naturaleza de funcionamiento de los códigos Hamming se deduce que el mínimo número de bits necesarios para corregir un error está relacionado con la longitud de la palabra que se desea transmitir. Si representamos por I el número de bits de información a transmitir y por C al número de bits de comprobación necesarios para protegerla, tenemos que debemos encontrar el valor más pequeño de C que cumpla la siguiente relación:

$$2^C > C + I$$

Debe notarse que la disposición de los bits de comprobación no tiene porqué ser la que se ha dado, es decir, podrían estar agrupados al principio o al final de la palabra Hamming; si se hace de esta forma es por simplicidad. Lo que sí es importante es que los bits de comprobación sigan afectando a los mismos bits de datos en cuanto a comprobaciones de paridad.

Aunque los códigos Hamming puedan parecer muy engorrosos lo cierto es que los circuitos de los equipos de transmisión pueden realizar la codificación y decodificación de los datos Hamming de forma muy rápida. Debe notarse que hasta ahora los códigos Hamming que hemos estudiado sólo pueden corregir un error que afecte a un bit; es decir, si un error afectase a más de un bit el código sería incapaz de corregirlo, aunque sí podría detectar los errores que afecten a dos o más bits. Los errores que afectan a más de un bit también se traducen en un resultado distinto de cero para las comprobaciones de paridad.

Debe notarse que una desventaja de los códigos Hamming es el número de bits adicionales que emplean. En el caso de un código Hamming capaz de detectar los errores que se producen en un código de 8 bits necesitamos 4 bits adicionales; de modo que en cada dato que se envíe sólo 8 de los 12 bits empleados corresponden realmente a información, es decir, estamos «desperdiciando» el $4/12 = 33$ por ciento del tiempo empleado en transmitir los

datos. Dado que los códigos de este tipo reducen notablemente la capacidad efectiva del canal sólo se emplean en situaciones en las que los sistemas de corrección de errores hacia atrás son más lentos, como ocurre en el caso de comunicaciones espaciales donde el tiempo de propagación de las señales es muy alto. En este caso el uso de un código de corrección hacia atrás, que veremos a continuación supone un intercambio de mensajes que puede llegar a reducir la anchura efectiva del canal aún más que si se emplea un código Hamming.

Los códigos Hamming no se usan, generalmente, de forma aislada, sino que se combinan con otros métodos. Normalmente cuando aparece un error no se presenta de forma aislada, sino que afecta a un conjunto relativamente grande de bits, de modo que se necesitaría un código Hamming capaz de corregir muchos errores, lo que supone un gasto notable de bits para esa función. Existe una alternativa que consiste en agrupar un conjunto de palabras Hamming y transmitir las una a una, sino transmitir primero, por ejemplo, los bits más significativos de todas las palabras, a continuación los siguientes bits de mayor peso, etc. De este modo, si se produce un error que afecte a varios bits afectará a un único bit de cada palabra Hamming, y el código seguirá siendo eficaz.

A pesar de todo existen situaciones que los códigos Hamming son incapaces de recuperar (a menos que utilicen un número prohibitivo de bits), y finalmente hay que recurrir al empleo de métodos de corrección hacia atrás.

Los códigos Hamming se emplean también como códigos de trabajo interno en las memorias de algunos dispositivos cuando se requiere una gran fiabilidad.

2.2.2 Sistemas de corrección hacia atrás

La alternativa a los sistemas de corrección hacia adelante los constituyen los sistemas de corrección hacia atrás. En estos sistemas al detectar la estación receptora que ha recibido un código erróneo procede a pedir a la estación emisora que repita el mensaje que se ha recibido de forma errónea. Puede observarse que esto incluye una novedad importante con respecto a los sistemas de corrección hacia adelante: la necesidad de dotar al sistema de comunicación de algún medio para facilitar el «diálogo» entre la estación emisora y la estación receptora (conexión semidúplex o dúplex). Es interesante observar cómo en este caso el receptor abandona su papel de elemento pasivo de la comunicación para participar de forma activa en todo el proceso.

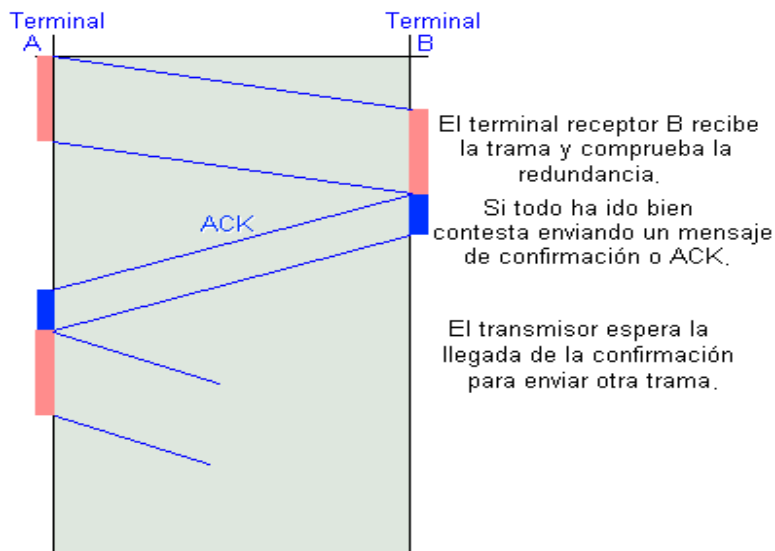
Existen dos estrategias principales en el diseño de los métodos de corrección hacia atrás:

- En la estrategia de **envío y espera** el emisor envía un bloque de información y no enviará ningún otro hasta que el receptor confirme el bloque recibido.
- En la estrategia de **envío continuo** el emisor está enviando continuamente bloques de información que va identificando mediante números de secuencia. El receptor los va confirmando según su disponibilidad.

Las estrategias que utilizan métodos de corrección de datos hacia atrás suponen, generalmente, el uso de estructuras de información denominadas *bloques*, en unos casos, y *tramas*, en otros. Un bloque, o una trama está compuesto por un conjunto de bits de información y un conjunto de bits de comprobación. Ambos pueden estar agrupados de acuerdo a los esquemas anteriormente estudiados (un bloque de bits con su bit de paridad, un bloque de bits con paridad por bloques, o un conjunto de bits con paridad determinada a partir de métodos de redundancia cíclica). En cualquier caso, la trama se envía como un todo.

2.2.2.1 Métodos de envío y espera

Cuando se hace uso de métodos de envío y espera las tramas se van intercambiando una a una. Cuando el receptor recibe una trama procede a validarla y si resulta que no contiene errores procede a enviar una señal de confirmación hacia el emisor. Esta señal de confirmación o de reconocimiento positivo se suele denominar ACK (acrónimo del término inglés *acknowledge*: confirmación). Cuando, por el contrario, se detectan errores el receptor procede a enviar hacia el emisor una señal de reconocimiento negativo, denominada NACK (acrónimo de los términos ingleses *negative acknowledge*: confirmación negativa).



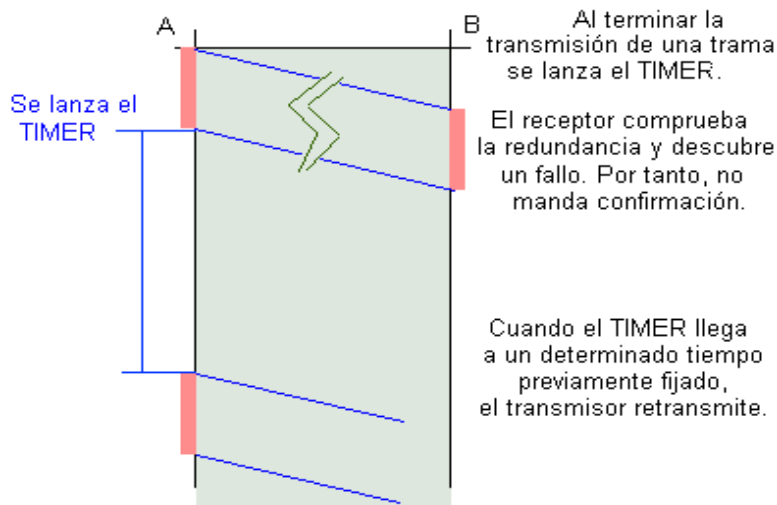
Mientras se espera la recepción de las señales NACK o ACK el emisor mantiene en un buffer el mensaje que envió. Cuando se recibe una señal NACK vuelve a enviar el contenido del buffer y si recibe una señal ACK, copia en el buffer una nueva trama o bloque y procede a enviarla.

En muchos casos, y mientras espera la llegada de las señales de confirmación, el emisor arranca un temporizador (timer). El temporizador se detendrá al recibir una señal NACK o ACK. Si el temporizador vence sin haber recibido una señal de confirmación pueden tomarse dos alternativas: la primera consiste en abortar el proceso de comunicación, dado que no se recibe

respuesta del receptor; la segunda consiste en el envío de la trama sin confirmar y el arranque del temporizador otra vez. Si la situación vuelve a repetirse varias veces, lo más frecuente es que el sistema aborte la comunicación indicando que no se recibe respuesta por parte del receptor.

En el receptor normalmente se arrancará un temporizador bien al recibir una trama desde el emisor, bien al enviar una señal ACK. Al vencer este temporizador el receptor puede proceder a enviar una señal de ACK u otra cualquiera predeterminada hacia el emisor. Si la situación se repite un número dado de veces, se procederá a abortar la comunicación indicando como causa el hecho de que no se recibe respuesta por parte del emisor.

Generalmente, tanto el receptor como el emisor dispondrán de un contador para determinar el número de veces que se ha intentado retransmitir una trama sin éxito. Si este contador alcanza un cierto valor prefijado normalmente se procede a abortar la comunicación indicando como causa un número de reintentos o de errores excesivo. Estas circunstancias suelen ser indicativas de mala calidad en las líneas, debido por ejemplo, a un pico de tráfico, y suelen tener carácter transitorio. Si una circunstancia de este tipo se mantiene con carácter indefinido puede tener su origen en alguna anomalía del equipo.



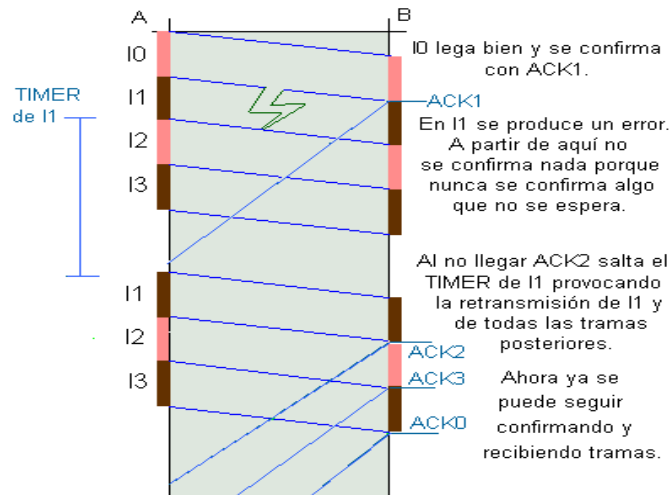
2.2.2.2 Métodos de envío continuo

Los métodos de envío y espera tienen el inconveniente de reducir el tiempo de utilización efectiva de los canales de comunicación, dado que todos y cada uno de los mensajes que se están enviando tienen que ser confirmados de forma independiente y mediante un mensaje específico. Los métodos de envío continuo utilizan la estrategia de enviar de forma continua la información sin necesidad de recibir una confirmación para cada uno de los bloques enviados. Los datos que constituyen cada bloque se embeben en una estructura de mayor entidad (la trama), que contiene uno o varios números de secuencia que la identifican. Cuando el receptor ha recibido correctamente una o varias tramas, y aprovechando generalmente la primera ocasión en la que envíe un mensaje hacia el emisor, es decir, en el momento en que el receptor y el emisor inviertan sus papeles, le indica que ha recibido las tramas con un número identificativo menor o igual que el enviado de forma correcta.

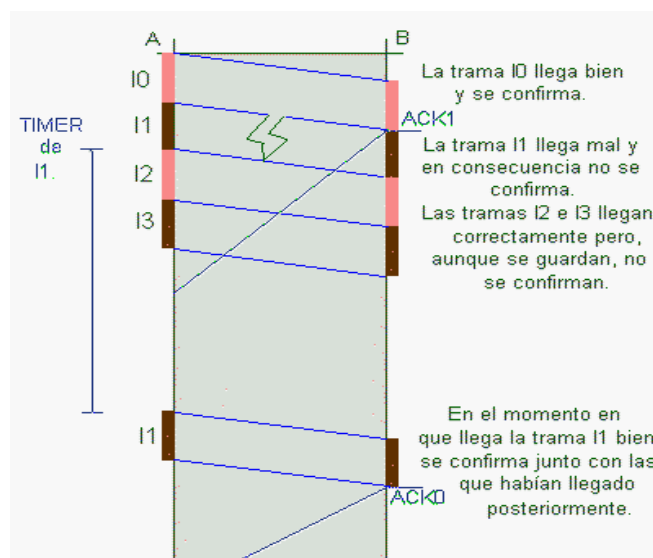
Para optimizar el proceso de envío y recepción de datos se pueden establecer buffers que contengan las tramas por confirmar. Generalmente existe un límite para el máximo número de tramas que pueden estar por confirmar en un momento determinado, límite que viene impuesto por la necesidad de definir un tamaño máximo para los buffers de datos empleados.

Cuando el receptor detecta un error en una trama procede a informar al emisor que ha recibido la trama n-ésima incorrectamente. En este momento puede hacerse una nueva clasificación de los métodos de envío continuo:

- **Métodos de rechazo no selectivo.-** En estos métodos, al detectarse un error en la trama n-ésima se procede a reenviar la trama n-ésima y todas las tramas pendientes de confirmación hasta el momento.



- **Métodos de rechazo selectivo.-** En estos métodos, al detectarse un error en la trama n-ésima se procede a reenviar únicamente la trama afectada por el error.



3 El Módem

Un módem es un dispositivo que acepta datos digitales de una computadora o terminal digital y los convierte en analógicos, más adecuados para la transmisión por las líneas telefónicas, por razones que ya hemos descrito. Cuando estas señales se reciben en el receptor son convertidas a su formato digital original.

3.1 Tipos de modulación para el módem

Ya hemos visto que existen tres técnicas básicas de modulación lineal que consisten en modular alguno de los tres parámetros básicos de la señal portadora: amplitud, frecuencia o fase, originando las modulaciones AM, FM o PM (*Amplitude, Frequency y Phase Modulation*). Cuando las señales de entrada son una representación de datos digitales y binarios, estos tres tipos de modulación se llaman respectivamente **ASK**, **FSK** y **PSK**.

- *La modulación ASK* suele utilizarse en enlaces por fibras ópticas.
- *La modulación FSK* se emplea normalmente en enlaces asíncronos. Es el sistema ideal para operar a baja velocidad. Sin embargo, tiene una desventaja: el gran ancho de banda que consume.
- *La modulación PSK* es el método más eficiente para transmitir datos binarios en presencia de ruido. La desventaja es que el diseño del emisor y receptor se complica extraordinariamente. Es ideal para comunicaciones síncronas.

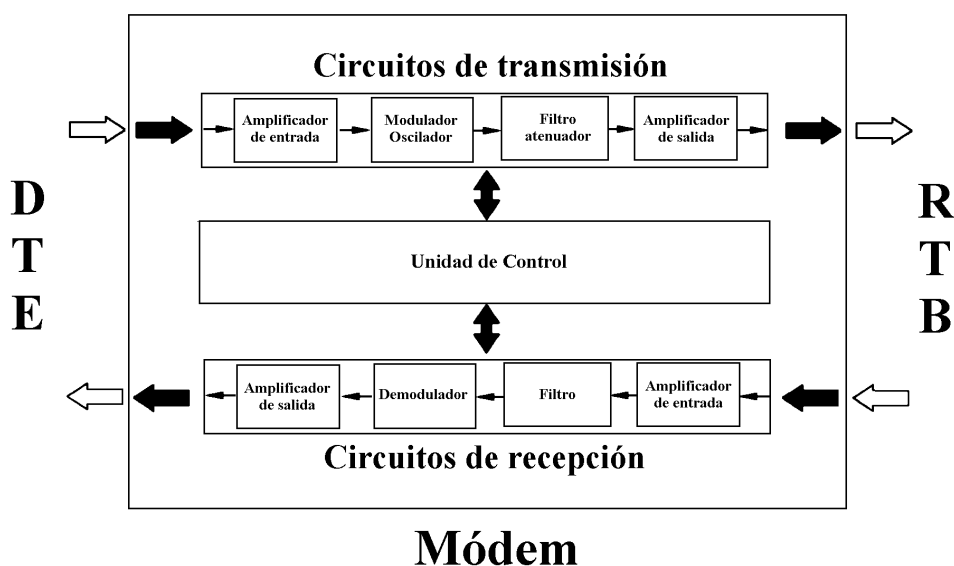
Una gran cantidad de módems suelen utilizar la modulación **QAM** o *Modulación de Amplitud en Cuadratura*. Es un método bastante eficiente para obtener el máximo rendimiento de un ancho de banda limitado. Esta técnica es una combinación de la modulación en amplitud y fase.

La modulación QAM forma parte de las llamadas modulaciones multibit, que consisten en la emisión de más un bit en cada pulso digital, por ejemplo, codificando varias amplitudes en cada una de las fases permitidas: si cada pulso digital codifica cuatro fases posibles y en cada fase se pueden transmitir dos amplitudes distintas, tendremos que cada pulso lleva una información de una entre ocho posibilidades. El sistema sería equivalente a transmitir tres bits en cada pulso: desde la posibilidad 000 (0 decimal) hasta la 111 (7 decimal).

3.2 Elementos que componen un módem

Un módem se compone de tres circuitos modulares:

- *el circuito de recepción de datos digitales*
- *el circuito de emisión de datos analógicos*
- *una unidad de control del módem.*



Obviamente, los módulos de entrada y salida son bidireccionales, es decir, el módem acepta datos digitales pero presenta también datos digitales cara al ETD. Lo mismo ocurre con los datos analógicos que intercambia a través de las líneas telefónicas (RTB; Red Telefónica Básica).

3.3 Conexión del módem

El módem es un elemento intermedio entre el equipo terminal de datos ETD y la línea telefónica. Por tanto, hay que definir el modo en que el módem se conectará tanto a la línea telefónica como al ETD.

Los módems se conectan a la línea telefónica a través de una clavija telefónica. En algunos casos se permite un puente para que no quede interrumpida la línea telefónica y se dé servicio a un teléfono. En este caso la conexión consiste en tender la línea telefónica hasta la entrada telefónica de línea del módem y luego tender otro cable telefónico desde la salida de teléfono del módem hasta el propio teléfono.

En cuanto a su conexión con el ETD, se han definido varios estándares de conectividad. Los más comunes son los propuestos por la norma RS-232 (definida por la EIA) o la recomendación V.24 (definida por ITU), ambas equivalentes, que determinan cómo debe ser el interfaz de conexión. A veces se acompaña la norma RS-232 de una letra que indica la revisión de la norma. Por ejemplo, RS-232-C es la revisión C de la norma RS-232.

3.3.1 *El interfaz RS-232-C*

La proliferación de equipos de distintos fabricantes ha causado que éstos hayan tenido que ponerse de acuerdo sobre las normativas de interconexión de sus equipos. Muchas asociaciones de estándares han dictado normas y recomendaciones a las que los diseñadores de dispositivos de comunicación se acogen con el fin de garantizar que los equipos que producen se entenderán con los de otros fabricantes.

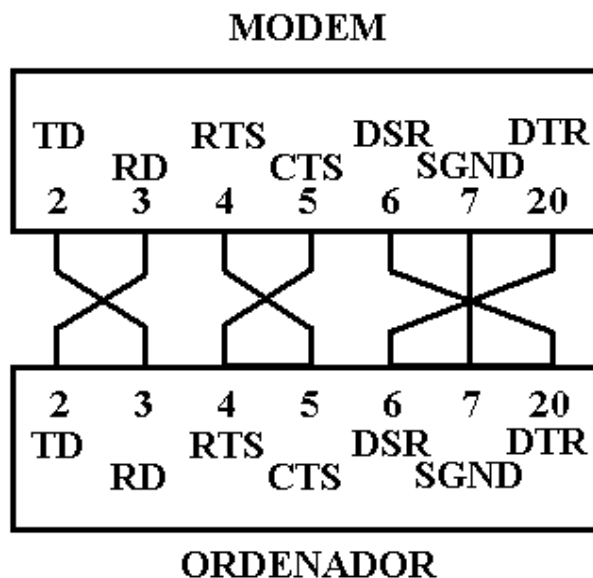
Este problema fue resuelto inicialmente por la asociación de estándares EIA con el estándar RS-232, que es el adoptado con más frecuencia para transmisiones serie, especialmente utilizado por gran parte de los módems (y aprovechado por el ratón). El equivalente del ITU está compuesto por las normas V.24 y V.28, que definen tanto las características eléctricas como las funcionales de la conexión.

Para hacernos una idea aproximada de qué parámetros se definen en estos estándares, vamos a exponer brevemente un resumen de sus características eléctricas:

- Las señales han de ser binarias y sin balancear.
- La tensión no debe superar los 25 voltios en circuito abierto.
- La tensión de utilización del equipo puede ser positiva («0» lógico) o negativa («1» lógico) y su valor está entre los 5 y los 15 voltios (+12 V para 0 y -12 V para 1).
- En el caso de cortocircuito, la intensidad eléctrica no debe superar los 0,5 amperios.
- La resistencia de carga debe ser superior a 3.000 ohmios y no debe sobrepasar los 7.000 ohmios.
- La capacidad de carga debe ser inferior a 2.500 picofaradios (pF).

Como se puede observar, con estas especificaciones los fabricantes pueden construir sus equipos teniendo la seguridad de que la interconexión está garantizada.

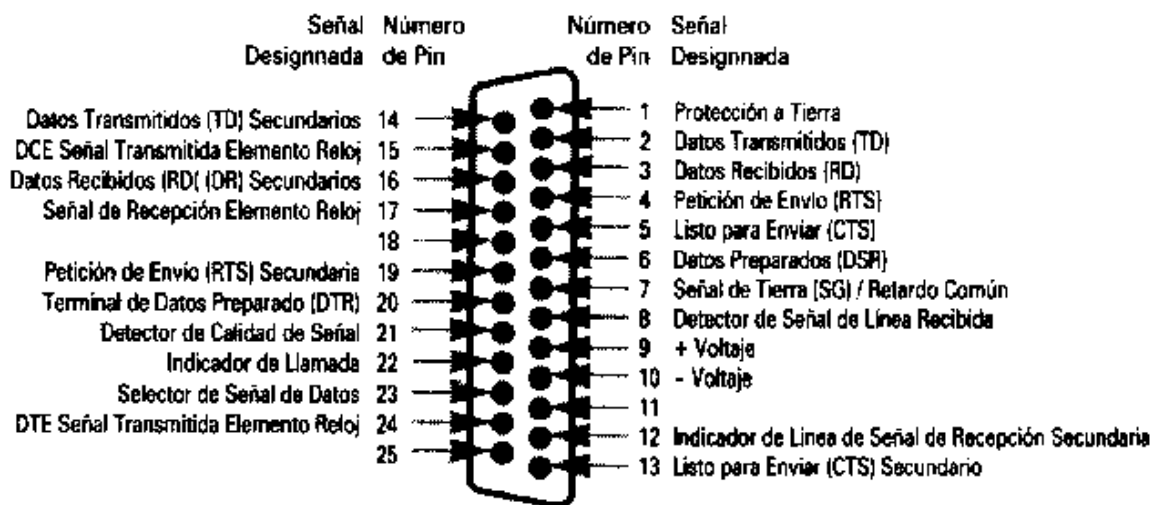
Entre las características funcionales se mencionan los distintos tipos de circuitos eléctricos que componen el interfaz. La norma define conectores con 25 pines, cada uno de los cuales define un circuito, que se conectará de modo distinto según las aplicaciones, pero la más común es la que aparece en el siguiente esquema.



También se pueden encontrar conectores de 9 pines, en los que se han mantenido las líneas más utilizadas en las comunicaciones usuales. Los principales son los siguientes:

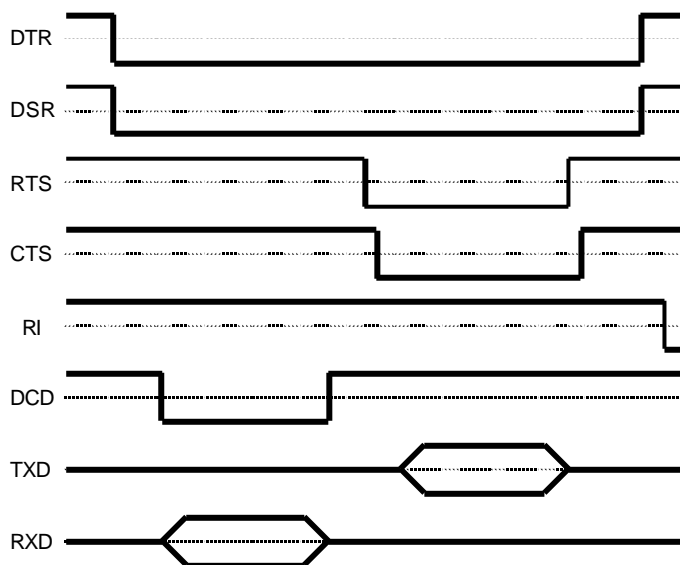
- **DTR**, *Data Terminal Ready*: terminal de datos preparado. Esta señal es enviada inicialmente por el terminal al módem para informarle de que está preparado para intervenir en una comunicación.
- **DSR**, *Data Set Ready*: módem preparado. A continuación el módem activa esta línea y se la envía al terminal para indicarle que el módem también está listo.
- **RTS**, *Request To Send*: petición de emisión. Una vez que el terminal y el módem están listos, si el ETD necesita enviar datos, envía al módem la señal RTS para informarle.
- **CD**, *Carrier Detected*: detección de portadora. Cuando el módem lee la señal RTS que el terminal le envía, dispara los circuitos de enlace de línea enviando al módem remoto una señal portadora. Éste activa entonces la señal CD y así avisa al terminal próximo de que el módem remoto está listo para recibir datos.
- **CTS**, *Clear To Send*: listo para transmitir. Es una señal que envía el módem al terminal para indicarle que está listo para aceptar datos, puesto que ya tiene enlace por la línea telefónica ya que anteriormente recibió un CD.
- **TD**, *Transmit Data*: transmisión de datos. Esta línea es el canal por el que viajan en serie los bits del emisor.
- **RD**, *Receive Data*: recepción de datos. Los datos emitidos por el emisor se reciben en el receptor por la línea RD.
- **TC**, *Transmit Clock*: transmisor de reloj. En el caso de las comunicaciones síncronas se tiene que enviar una señal de reloj para mantener la sincronización a través de esta línea.
- **RC**, *Receive Clock*: receptor de reloj. La señal TC se recibe por la línea RC.
- **GND**, *Ground*: tierra protectora. Es la línea que sirve para unificar las tierras de emisor y receptor.
- **SGND**, *Signal Ground*: tierra señal de referencia. Establece el nivel de tensión de referencia para poder distinguir los valores de cada uno de los bits.

RS-232 Interface (macho*)



Seguidamente vamos a comentar el funcionamiento conjunto de las señales descritas en su uso normal, es decir, en una comunicación entre ordenador (ETD) y módem (ETCD).

La siguiente figura detalla la evolución de señales que hemos relacionado anteriormente. No debe olvidarse que estamos viendo sólo un subconjunto de todas las señales que se definen en la norma.



Las señales DTR y DSR son un requisito previo a la comunicación a través de esta interfaz, puesto que informan a cada dispositivo - ETD y ETC - del estado del otro, indicando si están o no preparados para funcionar.

La señal DCD indica si se detecta portadora en el canal de transmisión. La detección de portadora es un requisito previo a la recepción, debe existir portadora antes y durante la recepción. Cuando desaparece la portadora, sabemos que no se van a recibir más datos.

En canales semi-duplex habrá que esperar a que finalice la recepción antes de poder iniciar una transmisión, lo que no será necesario si el canal es dúplex. Para iniciar una transmisión, el ordenador activará la línea RTS y

esperará a que le autorice el módem por medio de la línea CTS. En cuanto esta se active, el ordenador podrá proceder a transmitir los datos.

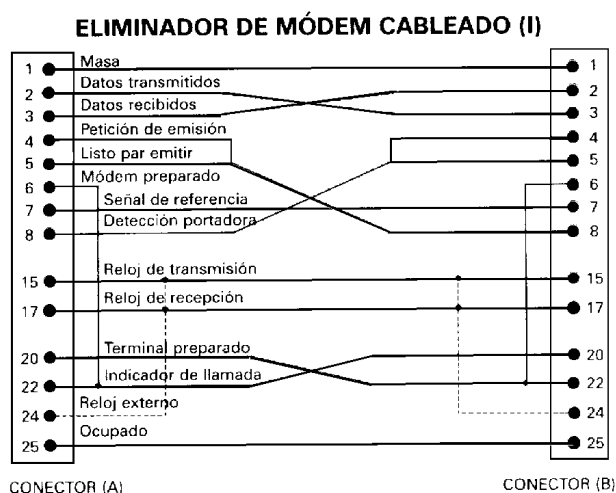
Ocasionalmente, y siempre en una situación de inactividad de los equipos (estado de reposo), se puede producir la activación de la señal RI, que indica que el módem está recibiendo una llamada por la red. Esta situación podría servir para iniciar el establecimiento de una nueva comunicación.

RS-232 no es la única norma de conexión. Otras normas conocidas son la RS-422 y la RS-423, que tienen sus equivalentes en las recomendaciones del ITU V.11 y V.10.

Otro estándar muy extendido en conexión de módems es la norma V.35 para transmisiones de datos a 64 Kbps. Define un conector de 34 pines para conexión de ETD y módems con portadoras digitales de alta velocidad.

3.3.1.1 Cable null-modem

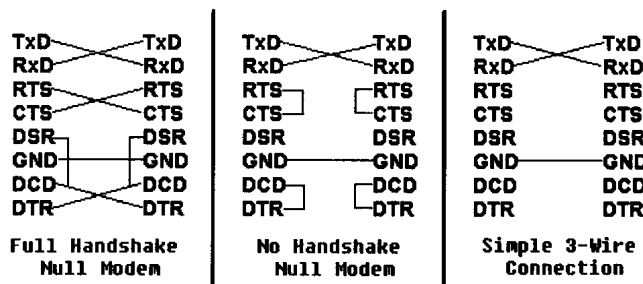
Otro tipo de interconexión muy utilizado es el que hace la función de simular el comportamiento de un módem (*null modem*), evidentemente sin modular ni demodular la señal que ya es digital, sino a efectos de emular el comportamiento funcional del interface V.24. se muestra a continuación un esquema de conexionado, empleando en ambos extremos un conector del tipo DB25 existiendo otro mucho más simples. Con un adaptador de este tipo, en muchas ocasiones, se puede evitar la compra de un módem, siempre y cuando la distancia de conexión sea como mucho de unos pocos metros.



3.3.1.2 Conexión directa entre ordenadores

En el caso, muy común, de querer realizar una transferencia de datos entre dos ordenadores próximos, por ejemplo para transferir los datos de un disco duro a otro, se puede hacer uso de una configuración de *null modem* muy sencilla, incluso más que la que se ha comentado anteriormente, ya que las exigencias suelen ser muy simples, bastando con un programa de comunicaciones asíncrono. Veamos algunas de ellas:

ELIMINADOR DE MÓDEM CABLEADO (II)



3.4 Normativas de estándares para el módem

3.4.1 Las normas V de ITU

Las asociaciones de estándares han sacado sus normativas para la estandarización de los módems. Las más utilizadas son las normas V del ITU, algunas de las cuales expondremos en la tabla siguiente:

Norma	Características	Norma	Características
V.17	14.400 bps para transmisiones por fax sobre RTB (Red Telefónica Básica)	V.27 bis	4.800/2.400 bps en semidúplex. Es utilizada como retorno de seguridad en la norma V.29. Existe la norma V.27 ter semejante a la V.27 bis, aunque para su utilización con líneas RTB.
V.21	300 bps en modo dúplex, prácticamente ya no se usa.	V.29	9.600 bps en modo semidúplex. Se utiliza fundamentalmente en las comunicaciones por fax. Será reemplazada por la norma V.17 equivalente pero de 14.400bps de velocidad. Cumple las recomendaciones V.24 y V.28.
V.22	1.200/600 bps en modo dúplex. Ha sido superada por la norma V.22 bis	V.32	9.600/7.200/4.800 bps en modo dúplex. Durante años ha sido la norma más rápida para la utilización de líneas de RTB. Cumple las recomendaciones V.24 y V.28.
V.22 bis	2.400/1.200/600 bps en modo dúplex. Ha sido muy utilizada por ajustarse a las necesidades requeridas por muchos servicios telemáticos que utilizan la RTB. Cumple las recomendaciones V.24 y V.28.	V.32 bis	14.400 bps en modo dúplex. Cumple las recomendaciones V.24 y V.28.
V.23	1.200/75 bps en modo dúplex. Es la norma utilizada en el servicio de videotexto. Cumple las recomendaciones V.24 y V.28	V. Fast o V.FC	28.800 bps en modo dúplex. Es incompatible con la norma V.34
V.26	2.400/1.200 bps. Ha sido un módem muy utilizado, debido a que incluye a la norma V.22 bis. Cumple las recomendaciones V.24 y V.28	V.34	28.800/33.600 en modo dúplex. Cumple las recomendaciones V.24 y V.28
V.27	4.800 bps. Cumple las recomendaciones V.24 y V.28.	V.34bis	Es una versión posterior del V.34 que permite alcanzar hasta los 33.600 bits/s. Se está convirtiendo en el estándar para el acceso a Internet.
V.90	Es la última norma aparecida y funciona hasta 56 kbits/s. En sentido descendente y 33,6 kbit/s en sentido ascendente.		

Las normas V.21 y V.23 utilizan comunicaciones síncronas o asíncronas en todas sus transmisiones. Las familias V.22 y V.26 también utilizan este tipo de comunicaciones, dependiendo de la velocidad elegida en la transmisión. El resto de las normas utilizan comunicaciones síncronas.

Las normas V.26, V.27, V.29 y V.33 se utilizan con transmisiones de líneas punto a punto (dedicadas) de cuatro hilos. Las normas V.27 ter, V.32, V.26 bis, V.32 bis, V. Fast y V.34 utilizan líneas de la RTB a dos hilos. Las normas restantes pueden transmitir con diferentes combinaciones de líneas: punto a punto con dos hilos o cuatro hilos y líneas RTB con dos hilos.

3.4.2 Las normas de corrección de errores

3.4.2.1 Los protocolos MNP

MNP (*Microcom Networking Protocol*) es una familia de protocolos orientados a la detección y corrección de errores en las transmisiones por módem. Entendemos por protocolo el conjunto de reglas por las que se ponen de acuerdo un emisor y un receptor para efectuar sus transmisiones. Estos protocolos han sido creados por la

empresa Microcom. A lo largo de los años estos protocolos han evolucionado, dando origen a toda una familia cuyos miembros más importantes se describen en la siguiente tabla.

Protocolo	Descripción	Protocolo	Descripción
MNP1	Es un protocolo de corrección de errores incluido en la norma V.42, asíncrono, semidúplex y orientado al carácter.	MNP6	Incluye dos nuevas prestaciones añadidas sobre MNP5. Ofrece mayor rendimiento al transferir archivos hasta 19.200 bps vía RTB.
MNP2	Es un protocolo de corrección de errores incluido en la norma V.42, asíncrono, dúplex y orientado a carácter.	MNP7	Es semejante al MNP5 pero llega a razones de compresión de 3 a 1. Es poco utilizado por que ha sido superado por otros protocolos.
MNP3	Es un protocolo de corrección de errores en el nivel de bit para SDLC (protocolo diseñado por IBM) en comunicación dúplex, síncrono e incluido en la norma V.42. el terminal trabaja en asíncrono contra el módem y éste lo hace en síncrono contra el otro módem.	MNP8	Reservado
MNP4	Es un protocolo de corrección de errores en el nivel de paquete y que se adapta flexiblemente a la calidad de la línea de transmisión. Se utiliza con módem asíncronos.	MNP9	Proporcionan servicios extendidos al módem. Por ejemplo, simular líneas dúplex sobre enlaces semidúplex. Produce un incremento notable del índice de compresión al combinarse con la norma V.32, consiguiéndose rendimientos superiores al 300 por 100.
MNP5	Es un protocolo de corrección de errores y de compresión de la información. Se utiliza con módems asíncronos. Llega a una razón de compresión de 2 a 1.	MNP10	Es semejante al MNP9 pero hace una utilización óptima en líneas de baja calidad. Es un protocolo muy utilizado en transmisiones celulares a las que nos referiremos más adelante. La corrección de errores la hace utilizando MNP4.

3.4.2.2 Las normas V.42 y V.42 bis

Recientemente, el ITU ha definido dos normas de gran utilidad en las transmisiones por módem:

- **Norma V.42.-** Es una norma para la detección y corrección de errores. Emplea el protocolo LAPM, que es un caso particular del HDLC que estudiaremos más adelante. Contempla los protocolos MNP2 y MNP4, es decir, los módems V.42 son compatibles con los módems MNP4.
- **Norma V.42.bis.-** Es una norma relativa a la compresión de datos asíncronos, llegando a razones de compresión de 4 a 1. Lógicamente, con ficheros ya comprimidos, la relación de compresión es muy baja. En la compresión también tienen en cuenta el ruido de la línea de transmisión. En el caso ideal, un módem V.32 bis que además incorpore la norma V.42.bis, llegaría a poder transmitir a 57.600bps (4 x 14.400), aunque en la práctica la compresión sólo llega a alcanzar una razón de 2 ó 3 a 1.

•

3.4.3 La norma V.25 y V.25 bis

La mayor parte de los módems que se conectan a la red telefónica conmutada poseen funciones especiales de marcación y respuesta automática, pueden grabar números telefónicos en memoria para ser utilizados después y otras funciones de gestión de las comunicaciones avanzadas.

El ITU ha propuesto las normas V.25 y V.25 bis como estándares para realizar este tipo de funciones.

3.4.4 El sistema de comandos Hayes

A principios de los años 80, Dennis Hayes y Dale Heatherington introdujeron en su Smart MODEM un lenguaje de comunicación terminal-módem basado en un sistema de comandos que se ha extendido a la casi totalidad de

los módems actuales. Estos comandos también son llamados comandos AT por referencia al primer comando Hayes.

Los comandos se pueden encadenar consecutivamente. Cuando la línea de comandos se acaba con un retorno de carro, se ponen en ejecución. Los comandos son aceptados o rechazados por el módem emitiendo mensajes alfanuméricos que informan al usuario sobre el resultado de la operación solicitada.

El comando Hayes “A” no necesita un retorno de carro ni ser precedido por el comando iniciador “AT” sino que es en sí mismo finalizador de línea. Asimismo ocurre con el comando “+++”, que se emplea como secuencia de escape.

El comando AT viene de *Attention*. Se utiliza para advertir al módem de que se iniciará un comando o una línea de varios comandos Hayes.

El comando general de un comando Hayes es el siguiente:

AT comando <CR>

Donde <CR> representa un retorno de carro, AT es el comando Hayes de llamada de atención al módem y se utiliza para advertir a éste de que se iniciará un comando o una línea de varios comandos Hayes. “Comando” es la orden Hayes que haremos llegar al módem. La línea de comandos no necesita de ningún espacio desde la A de AT hasta el retorno de carro, es más, algunos módems generan un mensaje de error si se encuentra algún espacio o tabulador en medio de una línea de comandos Hayes.

Veamos ahora una lista con los comandos AT más importantes y la función que desempeñan:

Comando	Función	Comando	Función
AT	Comando de llamada de atención al módem. Inicia una línea de comandos. En muchos módems se puede omitir.	<CR>	El retorno de carro es el comando finalizador de línea de comandos. Una vez tecleado, el módem procesará los comandos de la línea.
A	Activa el modo respuesta, intenta la conexión.	A/	Ejecuta de nuevo el último comando. Es un comando finalizador que no necesita el prefijo AT ni el sufijo <CR>.
B	B0: selecciona la norma ITU. B1: selecciona la norma BELL.	D	Activa el modo origen, marca un número e intenta la conexión. Se combina con los comandos T y P. Así, DT significa marcar por tonos y DP marcar por pulsos.
DS = n	Marca el número almacenado en el directorio de teléfonos con el número n.	E	E!: Activa el eco del modo comando. E0: Desactiva el eco del modo comando.
H	H0: cuelga el módem. H1: descuelga el módem.	I	Efectúa un text de la memoria ROM del módem. I0: Proporciona la versión del equipo. I1: Proporciona la suma de los bytes de la ROM. I2: Proporciona los mensajes OK o ERROR
L	Controla el volumen del altavoz del módem en tres niveles	M	Control del altavoz. M0: desactiva el altavoz del módem. M1: activa el altavoz hasta que se detecta la señal portadora. M2: activación permanente del altavoz.
N	Establece el enlace del módem en función de la velocidad.	O	Activa en el módem el modo de datos.
P	Marcación por pulsos	Q	Controla los mensajes de error y el estado de la transmisión.
Sr=n	Asigna el valor n al registro r del módem.	Sr?	Muestra en pantalla el valor del registro r del módem.
T	Marcación por tonos	V	V0: Muestra los mensajes de estado numéricamente. V1: Muestra los mensajes de estado verbalmente.
W	Indica al módem que debe mostrar los mensajes relativos al progreso del enlace del módem.	X	Activa las prestaciones de los códigos de error.
Y	Y0: Desactiva la desconexión por recepción de espacio largo. Y1: Activa la desconexión por recepción de un espacio largo.	Z	Inicia el módem y le asigna los valores por defecto.
&C0	Indica al módem que actúe como si la señal portadora estuviera siempre presente.	&C1	Sigue la presencia de la señal portadora.
&D0	Ignora la señal DTR	&D1	Asume el paso al estado comando al desaparecer el DTR.
&D2	Cuelga y pasa al estado de comandos al desaparecer el DTR	&D3	Inicia el módem al desaparecer el DTR.

&F	Establece la configuración de parámetros de fábrica como la configuración activa.	&G0	El módem operará sin tono de guarda.
&G1	El tono de guarda se establecerá en 550 Hz	&G2	El tono de guarda se establecerá en 1.800 Hz
&J0	Se empleará la clavija RJ-11/RJ-41S/RJ-45S.	&J1	Se empleará la clavija RJ-12/RJ-13
&K0	Se desactiva el control de flujo del módem	&K3	El control de flujo se hará por hardware con las líneas RTS/CTS
&K4	El control de flujo se hará por software con los caracteres XON/XOFF.	&K5	Habrà transparencia XON/XOFF.
&L0	La transmisión se hará con líneas de la red conmutada	&L1	La transmisión se hará con líneas punto a punto.
&P0	La razón de pulsos de marcación será del 39%/61%.	&P1	La razón de pulsos de marcación será del 33%/67%.
&Q0	Se activa el modo de transmisión asíncrono	&Q1-4	Se activarán los distintos modos síncronos.
&Q5	Se activa el modo de control de errores	&R0	La señal CTS sigue a RTS.
&R1	Asume la presencia del CTS e ignora el RTS.	&S0	Asume la presencia del DSR.
&S1	Sigue a la señal DSR.	&T0	Interrumpe la ejecución del test en curso.
&T1	Inicia un test analógico en local.	&T3	Inicia un test digital en local.
&T6	Inicia un test digital en remoto	&V	Muestra por el monitor la configuración de parámetros activa, los perfiles de usuario y el directorio de números almacenados.
&W	Salva los parámetros de configuración	&X0	El reloj de la transmisión lo pone el módem
&X1	El reloj de la transmisión lo pone el ETD.	&X2	El reloj se recupera desde la señal portadora
&Y0	Al encender el módem se recuperan los parámetros del perfil 0.	&Y1	Al encender el módem se recuperan los parámetros del perfil 1.
&Zn=x	Almacena el número x en la posición n del directorio de teléfonos.		

Aquí hemos expuesto la mayor parte de los comandos Hayes. En la práctica operativa debemos tener cuidado porque algunos de estos comandos no están implementados por algunos fabricantes en sus productos. Además, algunos módems poseen algunos comandos más que tienen el mismo aspecto que los Hayes pero que no pertenecen al lenguaje Hayes original. Siempre será conveniente consultar el manual del módem para realizar cualquier cambio con él.

Una buena parte del software de comunicaciones actual resuelve automáticamente el problema de configuración de los módems, de modo que el usuario no tienen que preocuparse de hacerlo manualmente. El modo en que el software identifica el tipo de módem suele estar basado en las respuestas que el módem proporciona a ciertos comandos Hayes, en especial a los comandos I.

Algunos de estos comandos necesitan parámetros para que sean correctamente ejecutados. Por ejemplo, si queremos que el módem marque el número 12345 por pulsos deberemos ejecutar el comando:

ATDP12345

El parámetro del comando de marcación está constituido por símbolos numéricos que representan el número de abonado al que hay que llamar, además de la posibilidad de ejecutar esperas. Las esperas están representadas por “w”, que espera el tono de línea libre, o por “;” que hace una pausa de tantos milisegundos como recoge un parámetro de la configuración actual. Así:

ATDT0w12345

Significará marcar por tonos el número 0, esperar el tono continuo de línea libre y posteriormente seguir marcando por tonos el número 12345.