

Tema 4

Transmisión de datos digitales: interfaces y modems

4.	TRANSMISIÓN DE DATOS DIGITALES: INTERFACES Y MODEMS	3
4.1.	INTRODUCCIÓN	3
4.2.	TRANSMISIÓN DIGITAL DE DATOS.....	3
4.2.1.	<i>Transmisión Paralela</i>	4
4.2.2.	<i>Transmisión serie</i>	4
4.2.2.1.	Transmisión asíncrona	5
4.2.2.2.	Transmisión síncrona	7
4.3.	INTERFACE DTE-DCE	8
4.3.1.	<i>Estándar EIA-232</i>	9
4.3.1.1.	Especificación mecánica	9
4.3.1.2.	Especificación eléctrica	10
4.3.1.3.	Especificación funcional	11
4.3.1.4.	Ejemplo.....	12
4.3.1.5.	Módem nulo.....	14
4.4.	MODEMS	16
4.4.1.	<i>Ancho de banda</i>	17
4.4.1.1.	Velocidad del módem	18
4.4.1.2.	Modulación ASK	18
4.4.1.3.	Modulación FSK	19
4.4.1.4.	Modulación PSK y QAM	19
4.4.1.5.	Comparativa	20
4.4.2.	<i>Estándares de módem</i>	20
4.4.2.1.	Modems Bell.....	20
4.4.2.2.	Modems ITU-T.....	22
4.4.2.3.	Modems inteligentes.....	24

4. Transmisión de datos digitales: Interfaces y Modems

4.1. Introducción

Una vez realizado el proceso de codificación en algún formato establecido, capaz de ser transportado por algún medio de transmisión, el siguiente paso es estudiar el proceso de transmisión por si mismo. Existen equipos o dispositivos generadores de información (datos), por ejemplo, un PC genera señales digitales codificadas. Normalmente, estas señales digitales necesitan de alguna transformación previa o adaptación al medio de transmisión utilizado. Por ejemplo, un PC genera una señal digital pero necesita de un dispositivo adicional para modular la señal sobre la frecuencia de la portadora, antes de enviarla a la línea telefónica. *¿Cómo se envían los datos codificados desde el dispositivo generador hasta el siguiente dispositivo en el proceso?* Respuesta: mediante una serie de circuitos, a modo de enlace de comunicaciones simple, denominado **interface**.

Debido a que una interface puede enlazar dispositivos de diferentes fabricantes, sus características deben ser definidas y se debe de establecer un estándar. Las características de la interface incluyen aspectos:

- **Mecánicos:** nº de hilos se utilizan en el transporte de la señal, disposición de los conectores, medidas, etc...
- **Eléctricos:** amplitud, frecuencia y fase de la señal utilizada.
- **Funcionales:** utilizando varios circuitos, hay que definir qué hace cada uno de ellos.

Todas estas características han sido descritas en infinidad de estándares e incorporadas al nivel físico del Modelo de Referencia OSI.

4.2. Transmisión digital de datos

En la transmisión de datos entre dos dispositivos, el primer punto de interés que se presenta es el cableado. Y, considerando el cableado, hay que prestar atención al flujo de datos entre los dispositivos que intervienen en la transmisión. Se pueden plantear varias interrogantes: *¿se envían los datos bit a bit, uno a continuación del otro; o por el contrario, se pueden agrupar y enviar varios bits en cada instante?* La respuesta a la interrogante anterior introduce los conceptos de **transmisión serie** o **transmisión paralela**.

En cuanto a transmisión paralela, solo existe una forma de envío de los datos paralelos, mientras que en la transmisión serie existen dos variantes: **síncrona** y **asíncrona**.

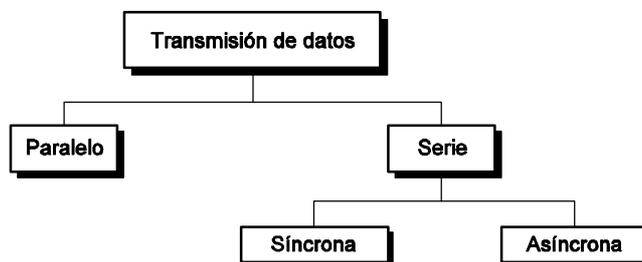


Figura 4-1. Tipos de transmisión.

4.2.1. Transmisión Paralela

Los datos digitales, formados a partir de cadenas binarias de 0s y 1s, se pueden organizar en grupos de n bits. Los computadores digitales trabajan de este modo: agrupan los datos en bloques de n bits, enviando grupos de n bits en cada pulso de reloj. El mecanismo de transmisión paralela es conceptualmente muy sencillo: se utilizan n cables y se envían n bits cada vez. Cada bit utiliza su propio cable, y todo el grupo de bits son enviados en cada pulso de reloj, entre un dispositivo y otro. La *Figura 4-2* muestra cómo se desarrolla una transmisión paralela para $n = 8$. Normalmente, los 8 cables están agrupados con un conector en cada extremo.

La ventaja principal de la transmisión paralela es su velocidad. En principio, con la transmisión paralela se puede conseguir un factor de incremento de velocidad de n , con respecto a la transmisión serie. El principal inconveniente es el coste: la transmisión paralela necesita de n líneas de comunicación. Debido a su coste excesivo, la transmisión paralela se suele restringir a distancias cortas entre dispositivos o para la comunicación interna a los dispositivos.

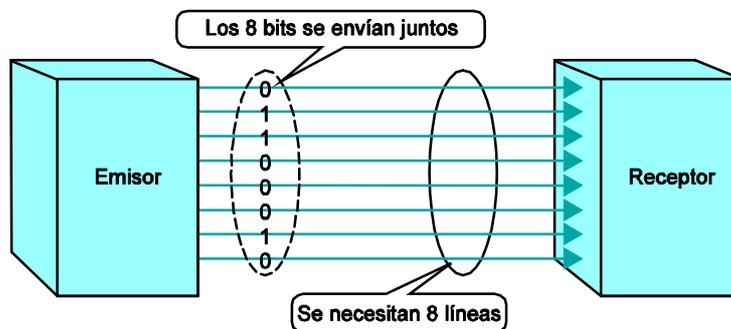


Figura 4-2. Transmisión paralela.

4.2.2. Transmisión serie

En la transmisión serie, los bits se envían uno detrás del otro, por lo que sólo se necesita una línea de comunicación para transmitir entre dos dispositivos (*Figura 4-3*).

La ventaja de la transmisión serie sobre la paralela es que con un solo canal de comunicaciones, la transmisión serie reduce el coste de la transmisión sobre la opción paralela, en un factor de n .

Debido a que la comunicación con los dispositivos es paralela, son necesarios interfaces entre el emisor y la línea (paralelo-serie) y entre la línea y el receptor (serie-paralelo). La transmisión serie, además, puede ser de dos tipos: asíncrona y síncrona.

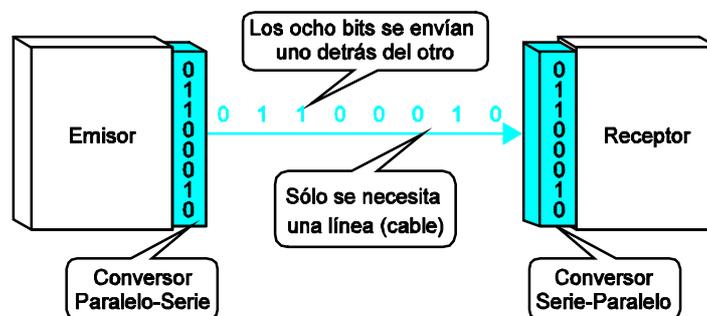


Figura 4-3. Transmisión serie

4.2.2.1. Transmisión asíncrona

El concepto de transmisión asíncrona procede del hecho de que la señal de temporización es poco importante en esta modalidad de transmisión. Aquí, la información es enviada y transportada en patrones de bits bien conocidos por los dispositivos emisores y receptores, por lo tanto, se independiza de distintas velocidades de transmisión, y así, un receptor puede recibir los datos a un ritmo diferente del que fueron enviados. Los patrones de bits utilizados consisten en agrupación de bits en bloques denominados bytes. Cada grupo, normalmente de ocho bits, es enviado a lo largo del enlace como una unidad. El sistema emisor maneja cada byte independientemente, enviándolos al medio cuando están disponibles, sin condicionantes de tiempo.

Sin señal de sincronización, el receptor no puede usar el tiempo para predecir la llegada de un nuevo grupo de bits. Para avisar de la llegada de un nuevo grupo, por lo tanto, se utiliza un bit adicional añadido al principio de cada byte. Este bit, normalmente un 0, se denomina "**bit de start**". Para avisar al receptor de cuando finaliza un byte, uno o más bits adicionales se añaden al final del byte. Estos bits, normalmente, 1s, se denominan "**bits de stop**",

Utilizando la transmisión asíncrona, cada byte está formado por al menos 10 bits, de los que 8 son de información y 2 o más son señales para el receptor. Además, la transmisión de cada byte debe venir seguida de un intervalo de silencio de duración variable (**gap**).

Los bits de *start* y de *stop*, así como el *gap*, alerta al receptor del inicio y final de cada byte, y le permite sincronizarse con el flujo de datos. Este mecanismo es denominado asíncrono porque, a nivel de byte, el emisor y receptor no tienen que estar sincronizados. Pero en cada byte individual, el receptor debe de sincronizarse con los bits entrantes. En este caso, si es necesaria la sincronización, pero solo durante la duración del byte. El receptor puede resincronizarse con la llegada de un nuevo byte. Cuando el receptor detecta la llegada de un bit start, arranca un temporizador y empieza a contar los bits que llegan. Pasados *n* bits, el receptor busca el bit stop. Tan pronto como detecta el bit stop, ignora todos los bits siguientes antes encontrar un nuevo bit start. La *Figura 4-4* ilustra una transmisión asíncrona. En el ejemplo, los bits start son 0s, los bits stop son 1s y el gap es representado por una inactividad de la línea

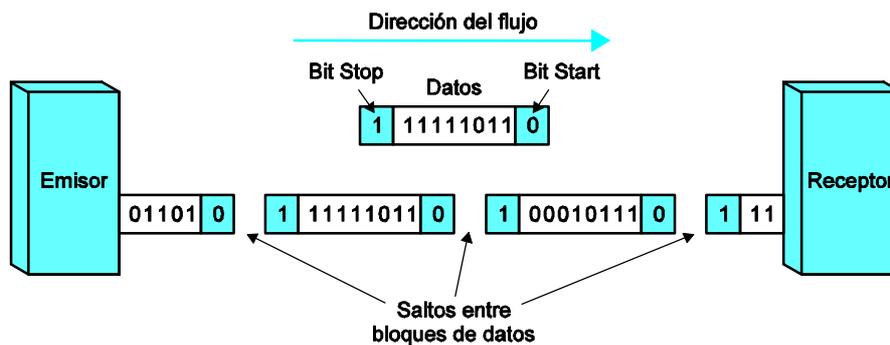


Figura 4-4. Transmisión asíncrona.

Los requerimientos de temporización en este esquema son sencillos. Por ejemplo, los caracteres ASCII se envían generalmente como unidades de 8 bits, incluyendo al de paridad. Si el receptor es un 5% más lento o más rápido que el emisor, el octavo bit de información podrá desplazarse hasta un 45% de su posición esperada, y aún ser identificado correctamente. La *Figura 4-5 (c)* muestra el efecto de un de timing lo suficientemente grande como para provocar un error en la recepción.

Un fallo de este tipo produce dos errores. Por una parte, el último bit muestreado se recibe incorrectamente. Por otra parte, la cuenta de bits puede no estar alineada, es decir, si el bit 7 es un '1' y el bit 8 es un '0', el bit 8 podría ser confundido con un bit de arranque. Esta circunstancia se conoce con el nombre de error de delimitación de trama.

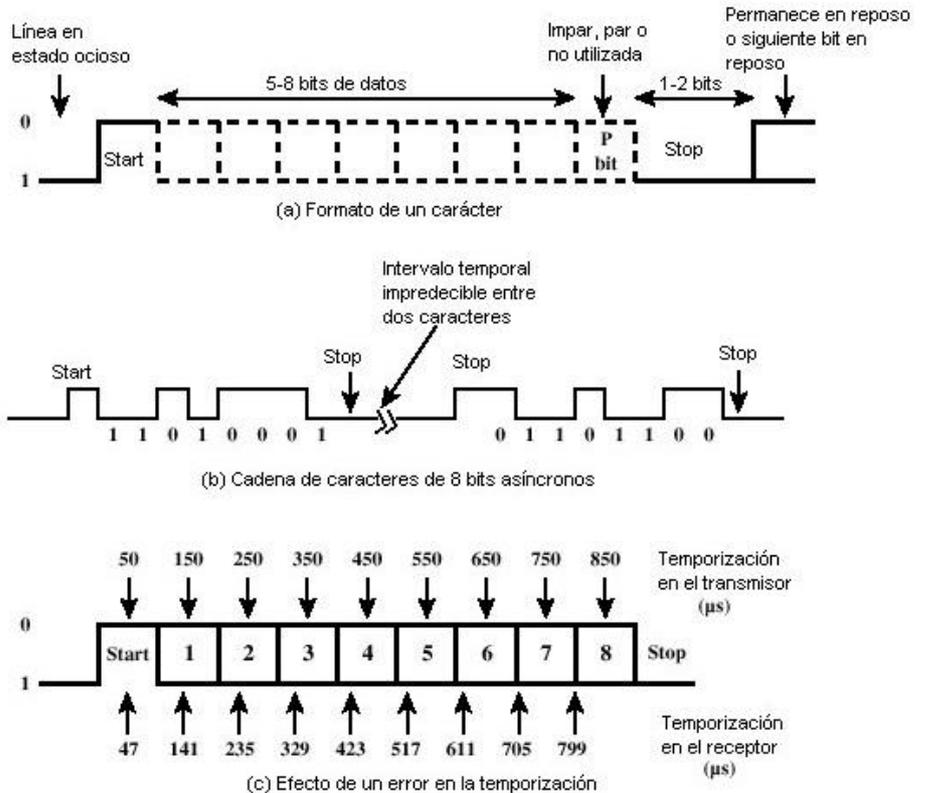


Figura 4-5. Requerimientos en transmisión asíncrona.

La transmisión asíncrona es simple, pero requiere un aumento de 2-3 bits por carácter. En el ejemplo anterior, el aumento de bits en la comunicación es bastante alto, porque para cada 10 bits de comunicación, dos de ellos son de sincronización, con lo que obtendríamos una tasa de aumento de $2/10 = 0.2$. Esta sobrecarga se puede reducir enviando grandes bloques de bits entre cada pareja de bits arranque/parada, pero cuanto mayor es el tamaño del bloque, mayor es la probabilidad de error. Para grandes bloques de bits es mejor utilizar la transmisión síncrona.

El uso de bits de start/stop así como la inserción de gaps intercalados entre los bytes enviados en una transmisión asíncrona, hacen que esta estrategia sea más lenta que otras que pueden funcionar sin la incorporación de información de control, pero por el contrario, es una solución barata y efectiva, y que la hacen idónea para situaciones donde los requerimientos de velocidad no son muy estrictos. Por ejemplo, la conexión de terminales a un computador es una aplicación inmediata de la transmisión asíncrona: el usuario introduce caracteres por el terminal (uno detrás de otro), con una velocidad muy inferior a las velocidades de transmisión, y deja espacios de tiempo impredecibles entre caracteres consecutivos.

4.2.2.2. Transmisión síncrona

En la transmisión síncrona (*Figura 4-6*), los bits son combinados en agrupaciones superiores denominadas “tramas” que pueden contener múltiples bytes. Cada byte, es enviado al medio de transmisión sin los gaps ni espacios inactivos. Los datos son transmitidos como un flujo continuo de bits. El receptor deberá separar los distintos bytes que integran la trama. Por motivos de representación, se han dibujado las divisiones entre bytes, pero en realidad, estas divisiones no existen, sino que se trata de un flujo continuo de bits, sin divisiones ni separaciones.

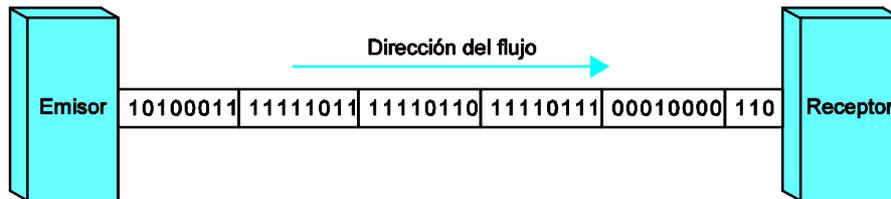


Figura 4-6. Transmisión síncrona.

Sin gaps ni bits de start/stop, no hay mecanismos que ayuden al receptor a la sincronización de los datos. Por lo tanto, la temporización es de vital importancia. Para conseguir la sincronización del receptor con los datos se utilizan varias estrategias. Una posibilidad consiste en poner una señal de reloj separada entre emisor y receptor. Otra posibilidad es que la información de cronometraje se incluya en los datos. Para conseguir esto último, cada bloque comienza con un patrón de bits y acaba con otro patrón de bits. En cuanto a la organización de los datos transmitidos, se pueden presentar varias posibilidades:

- **Transmisión orientada a carácter.** El bloque de datos se trata como una secuencia de caracteres (normalmente de 8 bits). Toda la información de control está en forma de carácter, de manera que la trama comienza con uno o más caracteres de sincronización. El carácter de sincronización, normalmente llamado *SYN*, es un único patrón de bits que señala al receptor el comienzo de un bloque. Otra posibilidad es incluir la longitud de la trama como parte de la información de control, de esta manera el receptor siempre puede saber cuantos bits le quedan por recibir.
- **Transmisión orientada a bit.** El bloque de datos se trata como una secuencia de bits. Ni la información de datos, ni la de control necesita ser interpretada en unidades (caracteres) de 8 bits. Igual que en el esquema anterior, se necesita un patrón de bits para marcar el comienzo del bloque. En este tipo de transmisión, se utiliza un patrón de 8 bits que se denomina flag, sirva tanto de patrón inicial como final. A continuación se envían algunos campos de control, los datos en un campo de longitud variable, y otra serie de campos de control.

Para grandes bloques de datos, la transmisión síncrona es más eficiente, ya que, la asíncrona necesita un 20% o más de aumento en el número de bits a transmitir, mientras que en la transmisión síncrona, la información de control suele ser de menos de 100 bits. Por ejemplo, en uno de los protocolos orientados a bit más utilizados, el HDLC, los bloques contienen 48 bits de control (incluyendo flags). Así, el aumento para un mensaje de 1000 bytes es solo de $48/4040 * 100 \% = 0.6 \%$.

La ventaja principal de la transmisión síncrona es la velocidad y la eficiencia de la transmisión, ya que no se transmite información extra, y tampoco hay procesamiento añadido en la detección de bits start/stop. La transmisión síncrona es utilizada en aplicaciones donde existen requerimientos de alta velocidad, como comunicación entre computadores.

4.3. Interface DTE-DCE

A lo largo del texto han aparecido varias veces los términos DTE y DCE, que a continuación explicaremos con más detalle:

- **DTE, “Data Terminal Equipment”, “Equipo terminal de datos”,** es el dispositivo que genera los datos, y los envía al DCE, junto con los caracteres de control necesarios.
- **DCE, “Data circuit-terminating equipment”, “Equipo terminal de circuito”,** es el dispositivo encargado de convertir la señal al formato apropiado al medio de transmisión disponible.

En todo sistema de transmisión están presentes estas unidades funcionales: un DTE y un DCE en un extremo, y en el otro extremo, otro DCE y DTE (*Figura 4-7*).

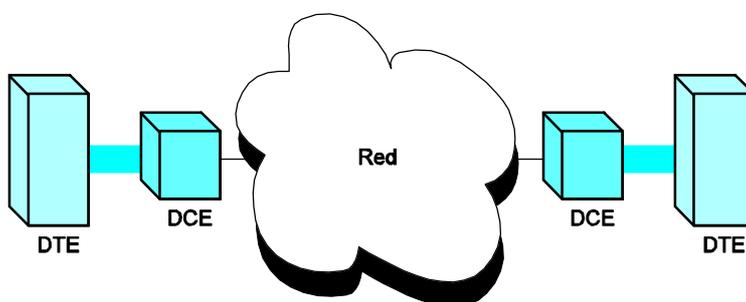


Figura 4-7. DTEs y DCEs.

El equipo terminal de datos DTE incluye unidades que pueden funcionar tanto como fuente como destino de datos digitales binarios. A nivel físico, puede tratarse de un terminal, computador, impresora, fax o cualquier otro dispositivo capaz de generar o consumir datos digitales. Normalmente, el DTE no es capaz de comunicar directamente con otro DTE, sino que genera o consume información pero necesita de otro dispositivo para establecer la comunicación.

El equipo terminal de datos DTE incluye unidades con capacidad para transmitir o recibir datos en forma de señales analógicas o digitales a través de una red. A nivel físico, el DCE toma los datos generados por el DTE, los convierte al tipo de señal apropiada e introduce dicha señal en el enlace de comunicaciones. Ejemplos de DCEs son los modems (modulador/demodulador). En una red, el DTE genera los datos digitales y los pasa al DCE; el DCE convierte los datos a señales apropiadas al medio de transmisión utilizado y envía los datos convertidos al otro DCE a través de la red. El segundo DCE toma la señal del medio de transmisión, la convierte en información útil al DTE y se la entrega. Para hacer posible la comunicación, ambos DCEs deben utilizar el mismo método de codificación (por ejemplo, FSK). Los dos DTEs no necesitan coordinar entre sí, pero si necesitan coordinar con sus DCEs, y los DCEs a su vez, deben coordinar entre ellos para conseguir una transmisión de datos sin pérdida de integridad.

Se ha indicado anteriormente la conveniencia de establecer una conexión y coordinación DTE-DCE. A lo largo de la historia de las telecomunicaciones multitud de estándares de conexión DTE-DCE (*Figura 4-8*). Cada uno de estos estándares establece distintas soluciones, basadas en aspectos mecánicos, eléctricos y funcionales de la conexión.

Las organizaciones más activas en el desarrollo de estándares DTE-DCE han sido la EIA e ITU-T. Los estándares de la EIA se denominan EIA-232, EIA-442, EIA-449, etc. Y los estándares de ITU-T se denominan Series V y Series V.

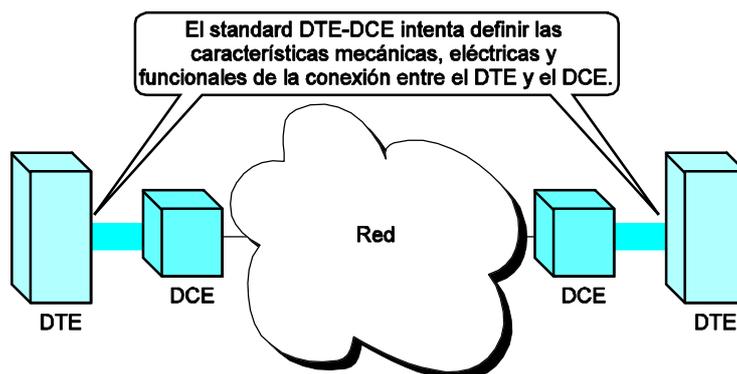


Figura 4-8. Interface DTE-DCE.

4.3.1. Estándar EIA-232

Uno de los interfaces estándares más importantes desarrollados por la EIA es el EIA-232, que define las características mecánicas, eléctricas y funcionales del interface DTE-DCE. El primer desarrollo data de 1962, conocido como RS-232, ha sido revisado varias veces. La versión más reciente, EIA-232-D, define además del tipo de conector utilizado, la especificación de cable y la funcionalidad de cada pin.

4.3.1.1. Especificación mecánica

La especificación mecánica del estándar EIA-232 define la interface como un cable de 25 hilos, con conector macho y otro hembra, del tipo DB-25, conectado a cada extremo. La longitud del cable no debe exceder de 15 metros.

Un conector DB-25 está formado por 25 pines, cada uno de ellos está conectado a un hilo con una función específica. Con este diseño, la EIA ha creado la posibilidad de crear hasta 25 posibles interacciones (circuitos) entre el DTE y el DCE, de forma separada. Actualmente, se utilizan menos, pero el estándar prevé futuras ampliaciones.

4.3.1.2. Especificación eléctrica

La especificación eléctrica del estándar define los niveles de voltaje y el tipo de señal a transmitir entre DTE-DCE. EIA-232 establece que los datos deben ser transmitidos mediante 1s y 0s (denominados 'marcas' y 'blancos'), utilizando codificación NRZ-L, y definiendo los 0s como un voltaje positivo y los 1s como un voltaje negativo. La especificación eléctrica para el envío de señales de datos (Figura 4-9) en el estándar EIA-232 define dos rangos de voltaje distintos, uno para voltajes positivos y otro para voltajes negativos. Un receptor reconoce y acepta como válida una señal cuyo voltaje esté comprendido en alguno de estos rangos, y descarta voltajes que no estén comprendidos en alguno de estos rangos. Una señal, para ser reconocida como datos, debe estar comprendida entre 3 y 15 voltios o entre -3 y -15 voltios. El hecho de aceptar señales válidas con un margen de 12 voltios hace que la degradación de una señal por el ruido no afecte a su capacidad de reconocimiento. Por lo tanto, una vez que la amplitud de un pulso está en un determinado rango, la precisión de dicho pulso es insignificante.

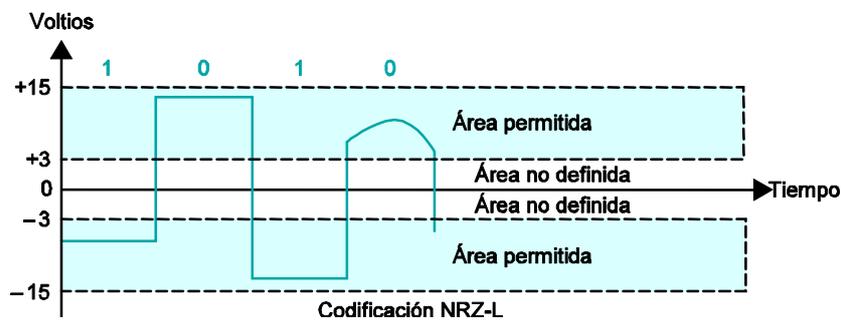


Figura 4-9. Especificaciones eléctricas para señales de datos en EIA-232.

Solamente 4 de los 25 hilos disponibles en el interface EIA-232 son utilizados para transmisión de datos. El resto de 21 hilos están reservados para funciones de control, timing, tierra y test. Las especificaciones eléctricas para estos otros hilos son similares a las especificadas en transmisión de datos, incluso más simples. Cualquiera de estas funciones se considera en estado *ON* si el voltaje es al menos +3 voltios; y se considera en estado *OFF* si el voltaje es un valor menor de -3 voltios (Figura 4-10). Las especificaciones para control es conceptualmente la inversa de las utilizadas en transmisión de datos. Un voltaje positivo indica *ON* y un voltaje negativo indica *OFF*. Ausencia de voltaje durante la ejecución del sistema indica la existencia de alguna anomalía.

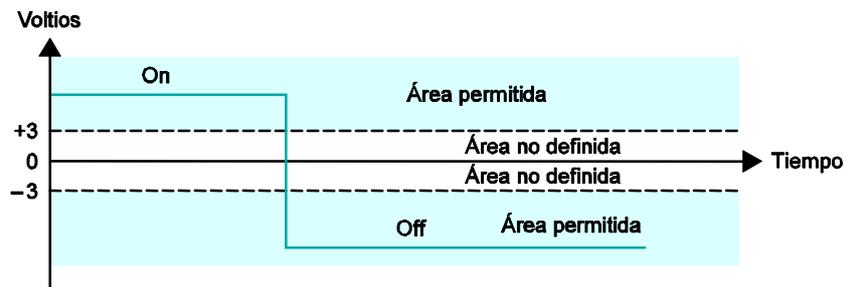


Figura 4-10. Especificaciones eléctricas para señales de control en EIA-232.

Una especificación importante en la especificación eléctrica es la definición de tasa de bits, que EIA-232 permite hasta un máximo de 20 Kbps, pero en la práctica se supera.

4.3.1.3. Especificación funcional

EIA-232 define una función para cada uno de los 25 pines en el conector DB-25. La *Figura 4-11* muestra el orden y la función de cada uno de estos pines en un conector macho (recordar que la hembra tiene una disposición simétrica al macho). Cada función de comunicación tiene su espejo o respuesta en la dirección contraria para permitir transmisión full-dúplex. Por ejemplo, el pin 2 es “transmisión de datos” mientras que el pin 3 es “recepción de datos”, de forma que, las dos partes pueden transmitir información simultáneamente. Además, como se puede apreciar, no todos los pines han sido asignados a alguna función. Los pines 9 y 10 han sido reservados para usos futuros. El pin 11 todavía no ha sido asignado.

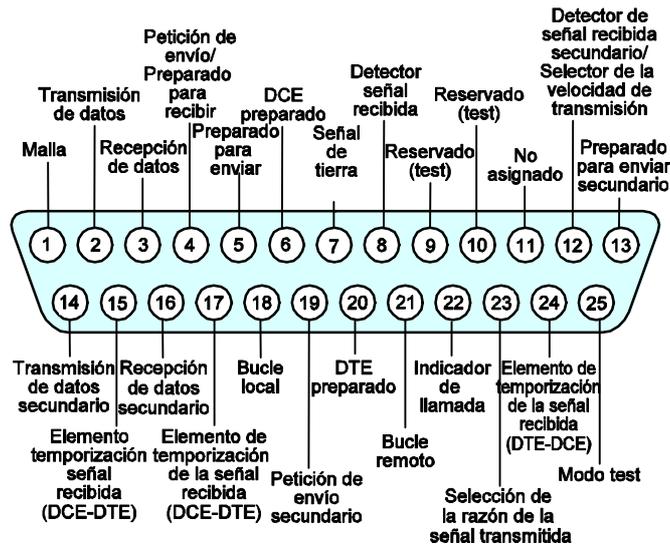


Figura 4-11. Distribución de pines en EIA-232.

4.3.1.4. Ejemplo

La *Figura 4-12* muestra un ejemplo de funcionamiento del estándar EIA-232 en modo full-dúplex síncrono a través de una línea alquilada del sistema telefónico convencional. En este ejemplo, los DCEs son modems y los DTEs son computadores. Se divide en 5 pasos diferentes, desde la Preparación hasta la Desconexión. Se trata de un modelo full-dúplex porque los dos sistemas, formados por computador/módem, pueden transmitir datos simultáneamente. En términos de estándar EIA, uno de los sistemas es el encargado de iniciar la comunicación y el otro responde.

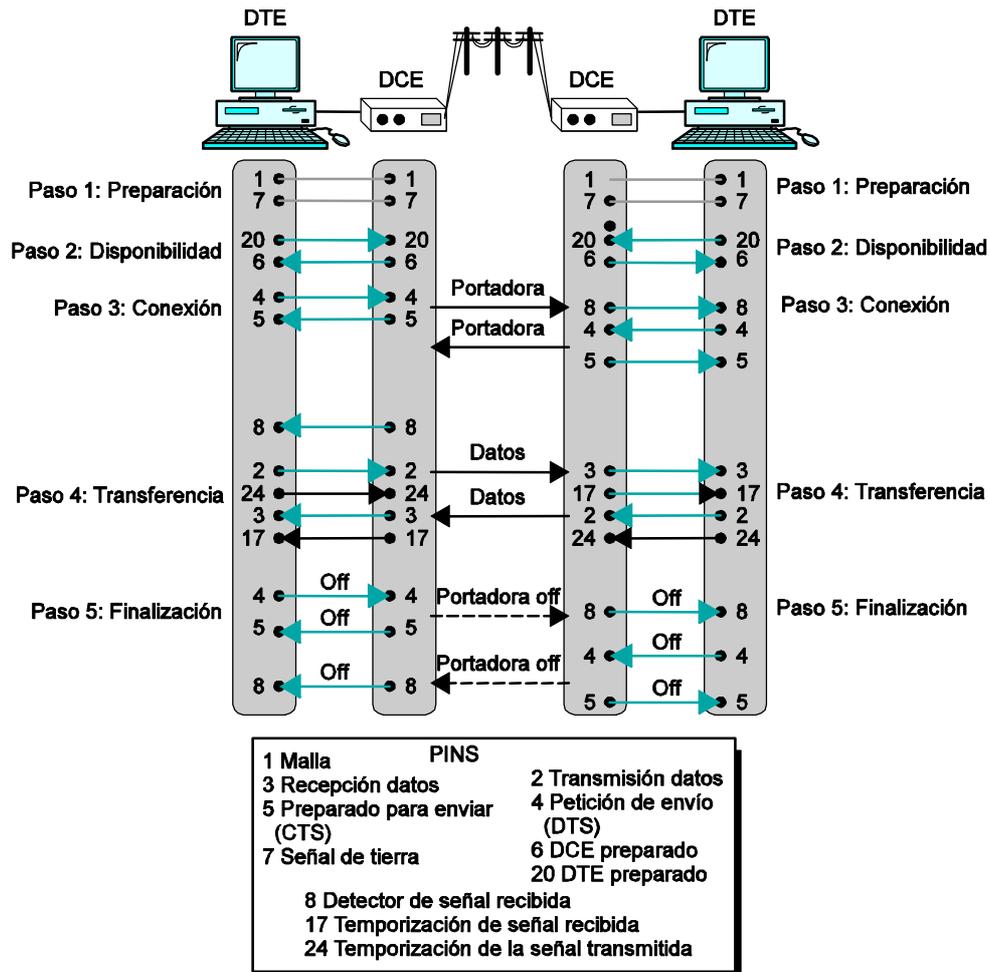


Figura 4-12. Transmisión full-dúplex asíncrona.

PASO 1: Preparación de los interfaces para la transmisión. Las dos líneas de tierra (pins 1 y 7) están activas tanto entre en DTE-DCE emisor como en el DTE-DCE receptor.

PASO 2: Preparación. Preparar los cuatro dispositivos para la transmisión. Primero el DTE emisor activa el pin 20 y envía un mensaje "DTE preparado" a su DCE. El DCE responde activando el pin 6 y devolviendo un mensaje "DCE preparado". Esta misma secuencia se lleva a cabo entre el módem y ordenador del otro lado.

PASO 3: Conexión física entre modems. Este es el primer paso en que interviene la red. Primero, el DTE emisor activa el pin 4 y manda a su DCE un "petición de envío" (RTS, "Request To Send"). El DCE transmite la señal portadora hasta el otro módem, que cuando la detecta activa su pin 8 ("detector de señal recibida") informando a su DTE que va a comenzar la transmisión. Después de transmitir la señal portadora, el DCE emisor, activa su pin 5 enviando a su DTE un mensaje "preparado para enviar" (CTS, "Clear to Send"). En el otro extremo sucede lo mismo entre el DTE-DCE.

PASO 4: Transmisión de datos. El DTE transfiere su secuencia de datos a su módem a través del circuito 2, acompañando la secuencia con los pulsos de reloj en el pin 24. El módem convierte los datos digitales a una señal analógica y los envía por la línea. El módem del otro extremo va recibiendo la señal analógica y convirtiéndola a datos digitales que envía por el circuito 3, junto con los pulsos de reloj en el pin 17. Sin embargo, al mismo tiempo podría estarse transmitiendo información en sentido contrario usando los pins 2 y 24 de ese lado y los circuitos 3 y 17 en el lado opuesto.

PASO 5: Desconexión. Cuando ambos lados han completado su transmisión, ambos DTEs desactivan su circuito 4 "petición de envío". Al mismo tiempo, los modems ponen en OFF la señal de portadora, el pin 8 "señal recibida" y el circuito 5 "preparado para enviar".

4.3.1.5. Módem nulo

Supongamos que se necesitan conectar dos DTEs en el mismo edificio, por ejemplo, dos workstations o un terminal a una workstation. En este caso, no es necesario el uso del módem para conectar dos dispositivos digitales compatibles directamente; en este caso, la transmisión no necesita cruzar líneas analógicas, como líneas telefónicas, y por lo tanto, no necesita ser modulada. Pero se necesita una interface que realice las operaciones de intercambio (establecimiento, transmisión, recepción, desconexión, etc.), tal y como realiza el estándar EIA 232 entre DTE-DCE.

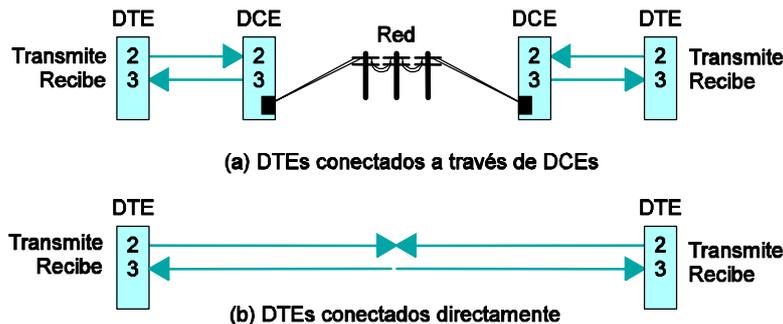


Figura 4-13. Utilización de EIA-232 con y sin DTEs.

La solución aportada por el estándar EIA-232 se denomina módem nulo. Una solución de módem nulo proporciona una interface DTE-DCE/DCE-DTE pero sin los DCEs. Pero surge la cuestión: *¿Por qué utilizar el módem nulo?, ¿Por qué utilizar el estándar EIA-232?*. Examinando la Figura 4-13, nos resuelve la duda. La Figura 4-13 a) muestra una conexión utilizando la red telefónica. Los DTEs intercambian información a través de los DCEs. Cada DTE envía datos por el pin 2 y el DCE recibe datos por el pin 2; cada DTE recibe datos por el pin 3 que ha enviado el DCE por el pin 3. Por lo tanto, el estándar EIA-232 conecta el pin 2 del DTE con el pin 2 del DCE, y el pin 3 del DTE con el pin 3 del DCE. El tráfico de datos por el pin 2 siempre es partiendo desde el DTE, y el tráfico por el pin 3 siempre es llegando al DTE. La Figura 4-13 b) muestra lo que sucede cuando se utiliza la misma conexión pero entre DTEs, eliminando los DCEs. Sin los DTEs que conmutan las señales a los pins apropiados, sucede que ambos DTE intentan transmitir sobre el mismo pin 2, y ambos DTEs esperan recibir por el mismo pin 3.

Para resolver el problema, hay que realizar el denominado “**cruzado de hilos**”. Los hilos más importantes que hay que cruzar son los pins 2 y 3, de forma que, el pin 2 del primer DTE conecte con el pin 3 del segundo DTE, y que el pin 3 del primer DTE conecte con el pin 2 del segundo DTE.

El dispositivo null-módem es un interface EIA-232 que completa los circuitos necesarios para hacer creer al DTE que está conectado a un DCE y que existe una red entre ellos. Se puede conseguir el null-módem, directamente cruzando las líneas del cable o bien utilizando una caja de interconexión, donde se realiza el cruzado de líneas. (Figura 4-14). Otra diferencia con el estándar EIA-232 es que en el cable módem-nulo ambos conectores son hembra, para conectar por el puerto EIA-232 del DTE, que es macho.

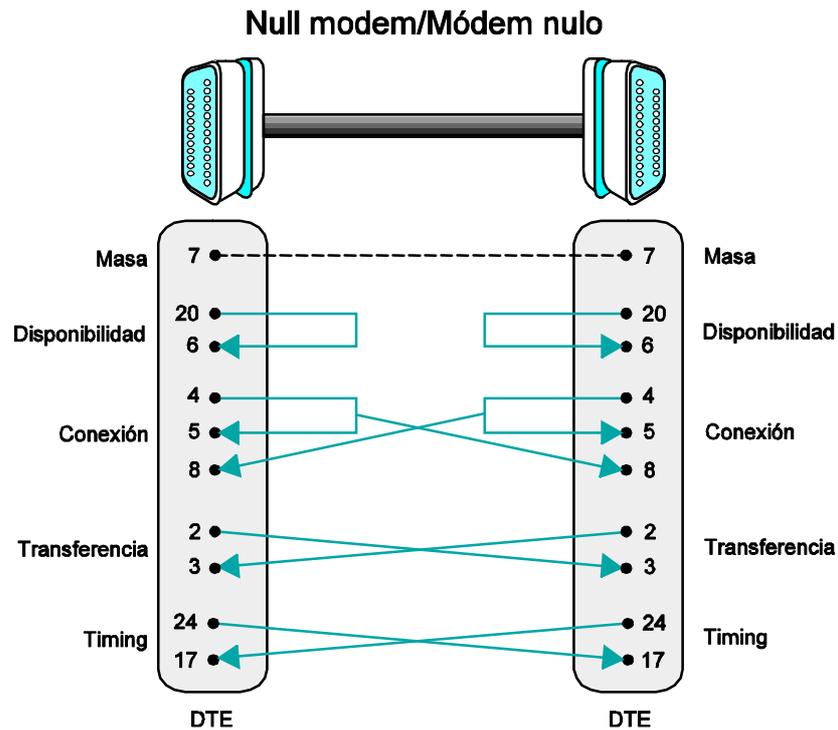


Figura 4-14. Conexionado de pines en Null-módem.

4.4. Modems

El DCE más usual es el **módem** que conectado a un computador convierte la señal digital generada por éste, en una señal analógica que se transmite por una línea telefónica. El módem también es quien convierte la señal recibida por la línea telefónica en una señal digital manejable por el computador. El término módem es una composición referida a las dos funcionalidades que realiza: **MO**dulador y **DE**Modulador de la señal. El modulador convierte la señal digital en analógica. El demodulador convierte una señal analógica en digital.

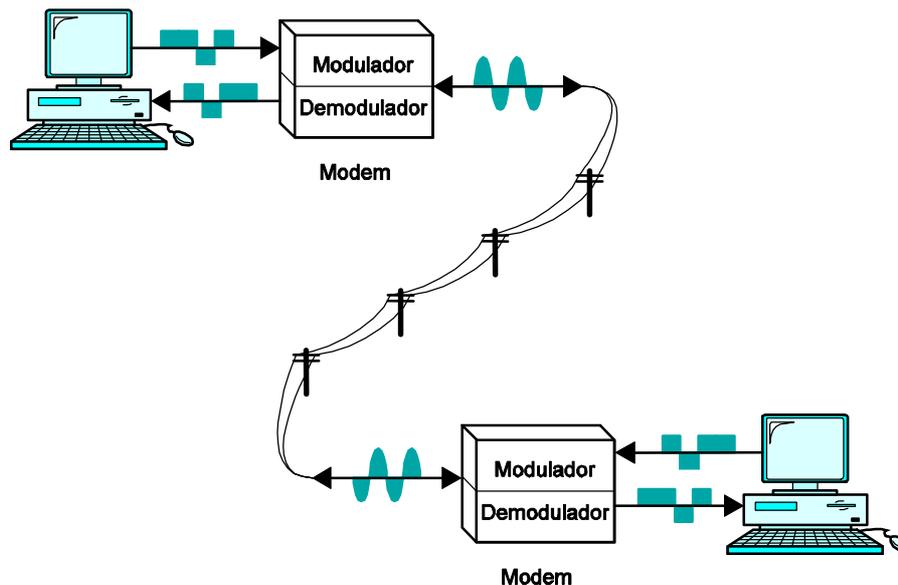


Figura 4-15. El concepto de módem.

Tanto el modulador como el demodulador utilizan las mismas técnicas de codificación digital-analógica: Los moduladores codifican y los demoduladores decodifican. Un modulador trata una señal como una cadena de 1s y 0s y los transforma en una señal analógica utilizando los mecanismos de conversión digital-analógico: ASK, FSK, PSK y QAM.

La *Figura 4-15* muestra la relación entre el módem y el enlace de comunicaciones. Los DTEs son PCs y están situados en los extremos; los DCEs son modems. El DTE genera datos digitales y los envía al DCE a través de una interface (por ejemplo, EIA-232). El primer DCE recibe los datos digitales y los modula, convirtiéndolos en una señal analógica, según algún esquema de modulación: ASK, FSK, PSK o QAM. La señal viaja por el medio hasta alcanzar el DCE destino, éste demodula la señal analógica, obteniendo una señal digital que envía al DTE a través de su interface (por ejemplo, EIA-232). Cada DCE debe ser compatible tanto con su DTE y con el otro DCE. El modem debe utilizar el mismo tipo de codificación (por ejemplo, NRZ-L), mismos niveles de voltaje y temporización que su DTE. Además, debe ser compatible con otros modems.

4.4.1. Ancho de banda

Al hablar de modems se puede decir que un módem es de alta/baja velocidad para indicar su capacidad en bps o su capacidad para transmitir o recibir datos. No obstante, hay que precisar que las tasas de velocidad de los modems están fuertemente condicionadas por las limitaciones y características de los medios de transmisión utilizados.

En temas anteriores se trató el concepto de ancho de banda y las características de los diferentes medios de transmisión, viendo que estaban íntimamente relacionados. La tasa de datos de un enlace depende del tipo de codificación utilizada, la duración de la señal, voltajes utilizados y las propiedades físicas del medio de transmisión. De todos estos factores, es el último el que impone fuertes limitaciones. Una forma de incrementar la velocidad en la transmisión de datos es incrementar la velocidad (frecuencia) de la señal portadora. Teóricamente, cuanto más rápida la señal, más rápida es la transmisión de datos. Pero incrementar la velocidad de una señal significa incrementar el número de cambios por segundo (baudios) de la señal, y cada medio de transmisión tiene sus limitaciones en el número de cambios de señal de la señal. Estas limitaciones, son tanto en el límite inferior (una señal debe superar la capacitancia de la línea) como en el superior (problemas de inductancia). Este rango es el denominado Ancho de banda.

Las líneas de teléfono tradicionales pueden transportar frecuencias entre los 300 Hz. y 3300 Hz, dando por tanto, un ancho de banda de 3000 Hz, utilizado para transmisión de voz, pues aunque se produzca interferencia o distorsión, la señal puede ser aceptable. Sin embargo, las señales de datos requieren un mayor grado de exactitud para asegurar su integridad. Así, para mayor seguridad, no se usan los extremos de este ancho de banda, quedando limitado el rango de frecuencias válidas para la transmisión de datos en una línea telefónica desde 600 Hz a 3000 Hz, dando un total de 2400 Hz (Figura 4-16). Aunque hoy en día muchas líneas pueden soportar anchos de banda mayores sin problemas, los modems comerciales siguen asumiendo esa capacidad por motivos de compatibilidad.

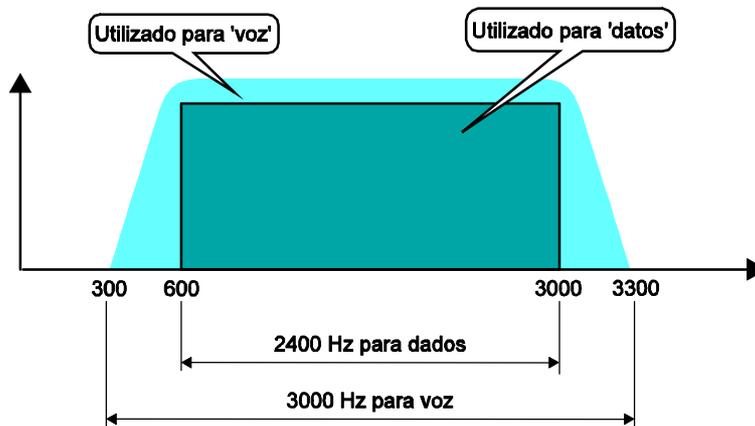


Figura 4-16. Ancho de banda en línea telefónica.

4.4.1.1. Velocidad del módem

Como se ha visto anteriormente, cada tipo de codificación analógica manipula la señal de diferentes formas: ASK manipula la amplitud; FSK manipula la frecuencia; PSK manipula la fase; y QAM manipula tanto la fase como la amplitud.

4.4.1.2. Modulación ASK

El ancho de banda necesario para una transmisión ASK es igual a la velocidad de modulación de la señal. Asumiendo que se utiliza la totalidad del enlace para una señal, por ejemplo, en transmisión símplex o half-dúplex, la máxima velocidad de modulación para la codificación ASK es igual a la totalidad del ancho de banda del medio de transmisión.

Como se ha visto, el ancho de banda efectivo de una línea telefónica es de 2400 Hz , por tanto, la velocidad de modulación máxima es de 2400 baudios . Y, además, como la velocidad de modulación es igual a la velocidad de transmisión, corresponde a una velocidad de transmisión máxima de 2400 bps (Figura 4-17).

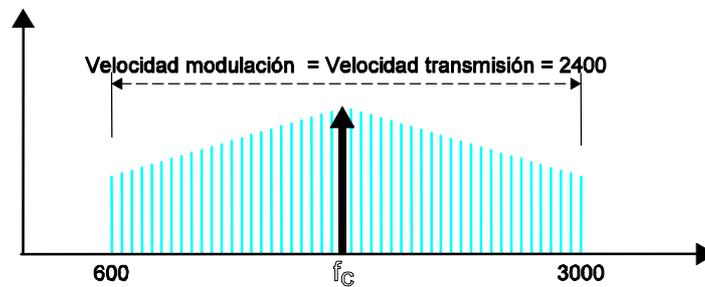


Figura 4-17. Modulación ASK half-duplex.

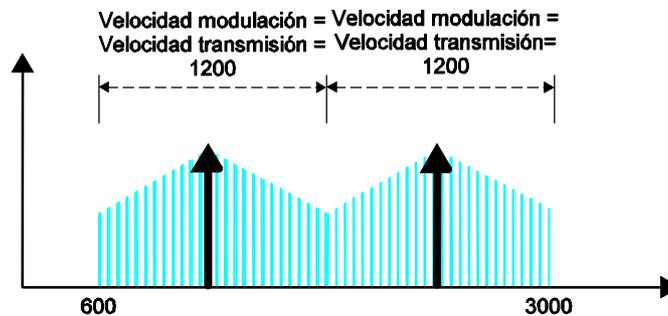


Figura 4-18. Modulación ASK full-duplex.

Para el caso de transmisión full-dúplex, sólo se puede utilizar la mitad del ancho de banda total en cada dirección. Por lo tanto, la máxima velocidad para una transmisión ASK en modo full-dúplex es de 1200 bps (Figura 4-18). El ancho de banda total disponibles es de 2400 Hz , cada dirección dispone de 1200 Hz centrados en torno a la frecuencia de su portadora. Actualmente, la codificación ASK no se utiliza en modems, por su alta sensibilidad a ruido.

NOTA: Algunas especificaciones de modems indican half-dúplex mediante la abreviatura HDX, y full-dúplex mediante FDX.

4.4.1.3. Modulación FSK

El ancho de banda necesario para una transmisión FSK es igual a la velocidad de modulación de la señal más el desplazamiento de frecuencias. En modo de transmisión símplex o half-dúplex, la velocidad de modulación máxima para una codificación FSK es igual al ancho de banda del medio de transmisión menos el desplazamiento en frecuencias. En el sistema telefónico, con un ancho de banda efectivo de 2400 Hz, la velocidad de modulación máxima es de 2400 menos el desplazamiento en frecuencias. Y además, como la velocidad de modulación y la velocidad de transmisión son igual en FSK, se obtiene que la velocidad de transmisión máxima es de 2400 menos el desplazamiento en frecuencias (*Figura 4-19*).

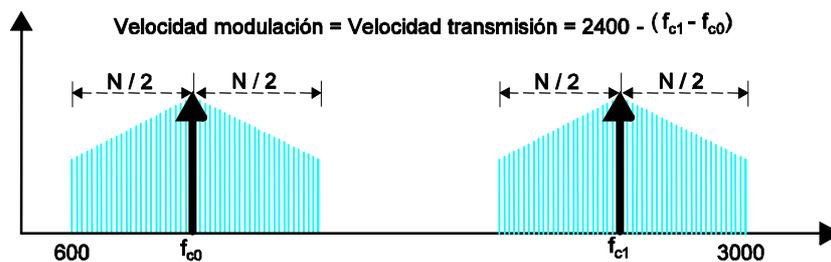


Figura 4-19. Modulación FSK half-duplex.

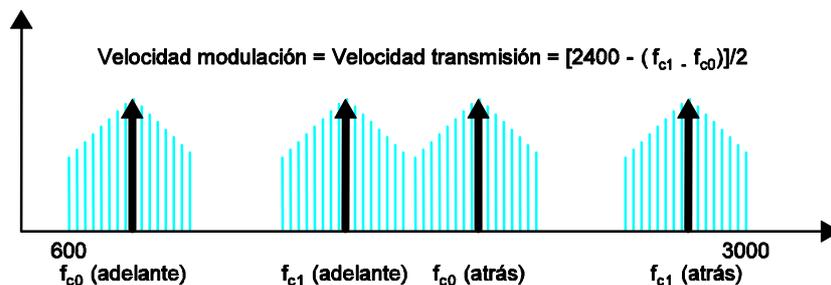


Figura 4-20. Modulación FSK full-duplex.

Para transmisión full-dúplex, sólo la mitad del ancho de banda total del enlace se puede utilizar en cada dirección. Además, la velocidad de modulación para una señal FSK en full-dúplex es la mitad del ancho de banda total menos el desplazamiento en frecuencias (*Figura 4-20*).

4.4.1.4. Modulación PSK y QAM

El ancho de banda necesario para transmisiones PSK y QAM es el mismo que para transmisiones ASK, pero la velocidad de transmisión puede ser mayor, dependiendo del número de bits que puedan ser representados en cada estado de señal.

4.4.1.5. Comparativa

A continuación se muestra una tabla comparativa de la máxima velocidad de transmisión sobre líneas telefónicas estándar de par trenzado, utilizando los diferentes mecanismos de codificación. Se asume el uso de líneas tradicionales de 2 hilos trenzados. Si se utilizan 4 hilos, la transmisión de datos en modo full-dúplex se puede duplicar. En este caso, dos hilos se pueden utilizar para emitir y los otros dos hilos para recibir.

4.4.2. Estándares de módem

En esta sección vamos a estudiar y comparar los dos estándares en cuanto a modems: los modems de Bell y los de ITU-T.

Codificación	Half-Duplex	Full-Duplex
ASK, FSK, 2-PSK	2400	1200
4-PSK, 4-QAM	4800	2400
8-PSK, 8-QAM	7200	3600
16-QAM	9600	4800
32-QAM	12000	6000
64-QAM	14400	7200
128-QAM	16800	8400
256-QAM	19200	9600

4.4.2.1. Modems Bell

El primer módem comercial fue fabricado por la Compañía Telefónica Bell a finales de los 70. Por ser los primeros, durante mucho tiempo, Bell definió el desarrollo de la tecnología y proporcionó estándares de hecho que copiaban otros fabricantes. Hoy en día ya hay muchos fabricantes que comercializan modems de distintos tipos.

Vamos a examinar brevemente las características de los modems de Bell para ver la evolución que han ido teniendo estos.

- **Serie 103:** operan en modo full-dúplex sobre líneas telefónicas conmutadas de dos hilos. La transmisión es asíncrona y uso codificación FSK. La velocidad de transmisión es 300 bps. La serie 113 es una variación de la 103 con algunas características de prueba adicionales.
- **Serie 202:** opera en modo semi-dúplex sobre líneas telefónicas conmutadas de dos hilos. La transmisión es asíncrona y también usa codificación FSK. Utiliza un canal con codificación ASK, para que el receptor pueda interrumpir. La velocidad de transmisión de un módem de la serie 202 es de 1200 bps.
- **Serie 212:** pueden funcionar a dos velocidades: 300 bps y 1200 bps. A 300 bps funciona en modo síncrona usando FSK. A 1200 bps puede funcionar en modo síncrono o asíncrono y usa codificación 4-PSK. En ambas velocidades la transmisión es full-dúplex.
- **Serie 201:** puede funcionar en modo semi-dúplex sobre líneas conmutadas de dos hilos o full-dúplex si la línea es de cuatro hilos. Usa transmisión síncrona con codificación 4-PSK. La velocidad de transmisión es de 2400 bps.
- **Serie 208:** funcionan en modo full-dúplex sobre líneas de 4 hilos trenzados. La transmisión es síncrona y usa codificación 8-PSK. Este módem tiene una velocidad de

modulación de 1600 baudios y a 3 bits por baudio obtiene una velocidad de transmisión de 4800 bps.

- **Serie 209:** funcionan en modo full-dúplex sobre líneas con 4 hilos. La transmisión es síncrona y usa codificación 16-QAM. Tiene una velocidad de modulación de 2400 baudios y consigue una velocidad de transmisión de 9600 bps.

Podemos ver una representación gráfica de las especificaciones de las distintas series de los modems Bell (*Figura 4-21*).

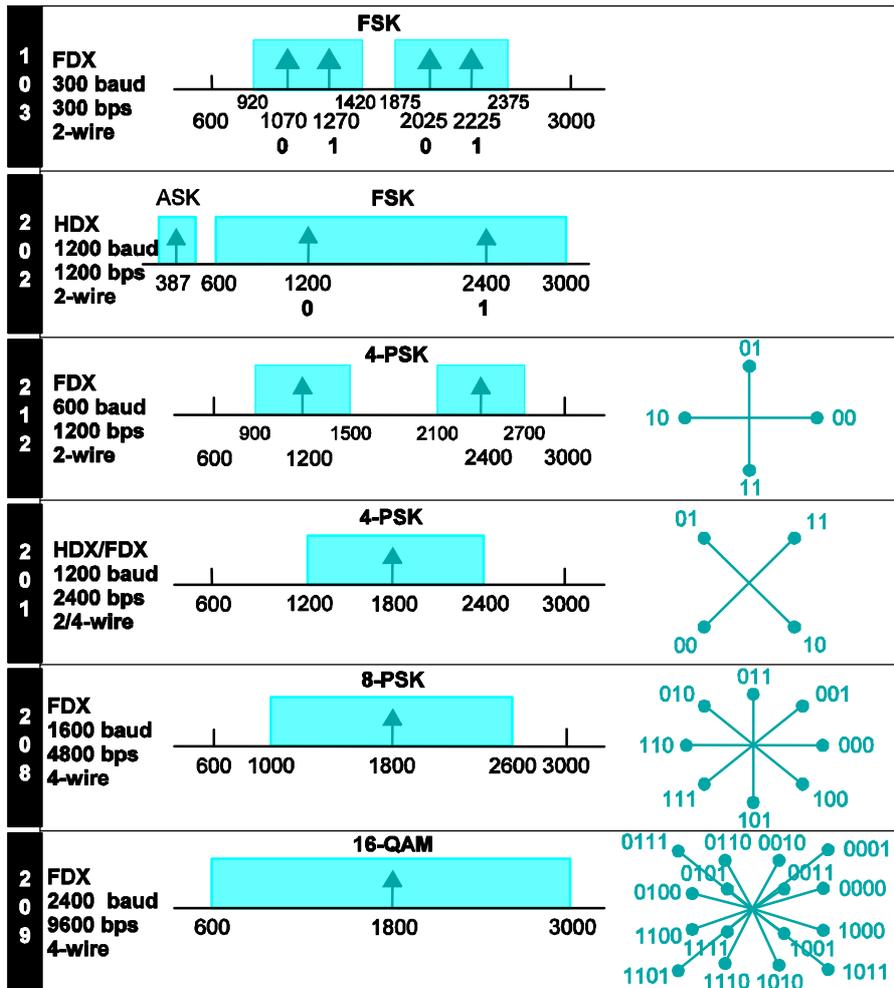


Figura 4-21. Modems Bell.

4.4.2.2. Modems ITU-T

Hoy en día la mayoría de los modems más populares disponibles están basados en los estándares publicados por la ITU-T. Para nuestros propósitos, estos modems pueden dividirse en dos grupos: los que son equivalentes a los modems de Bell y los que no lo son. Los modems ITU-T que son equivalentes con los modems Bell se relacionan en la tabla siguiente:

ITU-T	Bell	Baudios	Bps	Modulación
V.21	103	300	300	FSK
V.22	212	600	1200	4-PSK
V.23	202	1200	1200	FSK
V.26	201	1200	2400	4-PSK
V.27	208	1600	4800	8-PSK
V.29	209	2400	9600	16-QAM

Y los modems ITU-T que no son equivalentes en la serie Bell son descritos en la Fig 4-22.

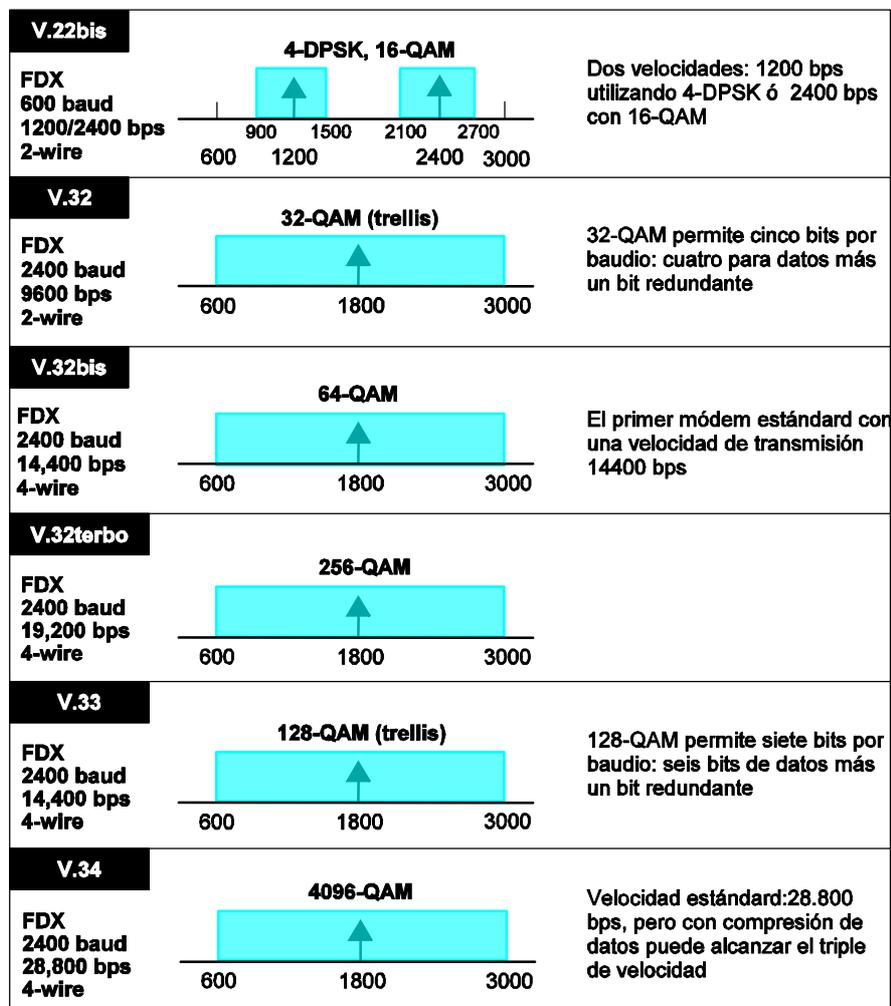


Figura 4-22. Modems ITU-T.

- **V.22bis:** es la segunda generación de los módem V.22. Puede funcionar a 1200 bps o 2400 bps. Tiene una velocidad de modulación de 600 baudios y a 1200 bps utiliza 4-PSK y a 2400 bps usa 16-QAM.
- **V.32:** es una mejora del V.29. Utiliza una variante de la codificación 32-QAM llamada **trellis** que añade un bit extra a los datos, de forma que de los 5 bits por señal sólo 4 son de datos. Con una velocidad de modulación de 2400 baudios consigue una velocidad de transmisión de 9600 bps en un cable de dos hilos. Con su sistema de codificación tiene la posibilidad de detección y corrección de errores.
- **V.32bis:** fue el primer módem de la ITU-T en soportar velocidades de 14400 bps. Utiliza codificación 64 QAM (6 bits por baudio) con una velocidad de modulación de 2400 baudios.
- **V.33:** también está basado en el V.32. Utiliza codificación trellis basada en 128-QAM a 2400 baudios. Cada cambio de señal representa un patrón de siete bits: seis de datos y uno de redundancia, lo que da una velocidad de transmisión de 14400 bps.
- **V.34:** consigue una velocidad de transmisión de 28800 bps representando 12 bits por cada cambio de señal. Además está preparado para proporcionar compresión de datos, en cuyo caso podría alcanzar dos o tres veces su velocidad normal.

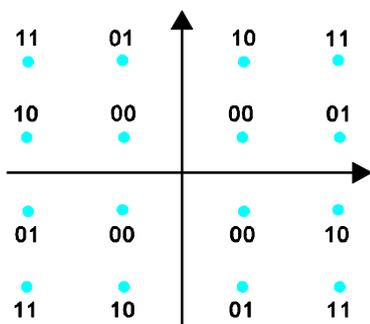


Figura 4-23. V.22bis constelación 16-QAM.

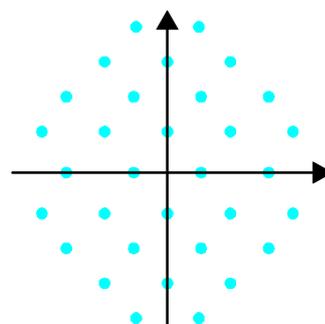


Figura 4-24. Constelación V.32

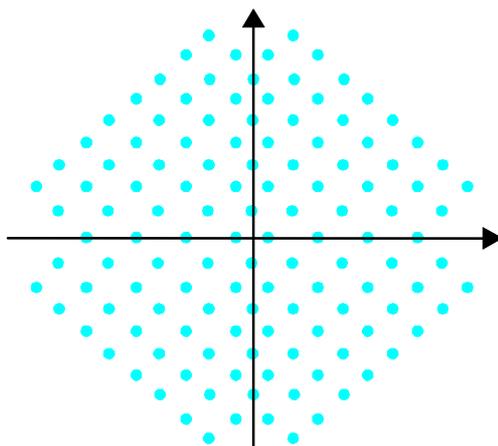


Figura 4-25. Constelación V.33.

4.4.2.3. Modems inteligentes

Como ya se ha mencionado, el propósito del Módem es modular y demodular la señal. Muchos de estos modems, además, hacen otras funciones. En particular, un tipo de modems, denominados, '*modems inteligentes*', contienen software para soportar un número de funciones adicionales, por ejemplo, respuesta y marcación automática. Los modems inteligentes fueron introducidos por Hayes *Microcomputer Products, inc.* Actualmente, infinidad de modems se refieren como modems compatibles Hayes, proporcionados por multitud de fabricantes.

Las instrucciones en los modems compatibles Hayes se denominan comandos AT (abreviatura de *Attention*). El formato de un comando AT es:

AT comando [parámetro] comando [parámetro] ...

Cada comando empieza con las letras AT seguidas por uno o más comandos, cada uno de los cuales puede tener uno o más parámetros. Por ejemplo, para marcar el nº 589, la instrucción Hayes completa es:

AT TD589