

La transmisión de una cadena de bits desde un dispositivo a otro a través de una línea de transmisión implica un alto grado de cooperación entre ambos extremos.

1) TIPOS DE SINCRONISMOS:

Sincronismo: Procedimientos mediante los cuales el receptor sabe la velocidad a la que se están recibiendo los datos, donde comienzan y donde terminan los pulsos, de manera tal que pueda muestrear la línea a intervalos constantes de tiempo y así determinar cuándo cada uno de los bits recibidos es un 1 o un 0.

La sincronización entre transmisor y receptor se puede realizar en tres niveles denominados: sincronismo de bit, de byte y de bloque.

- **Sincronismo de bit:** procedimiento que se usa para determinar exactamente el momento en que se debe empezar a contar un bit. Las alternativas pueden ser con el flanco de subida, el flanco de bajada o instantes intermedios. Se deberá tener un reloj común a todos los componentes del sistema de comunicaciones, con una frecuencia del clock mucho mayor que la velocidad con que llegan los datos, (en general 8 a 10 veces la velocidad de modulación), como para detectar una transición de un 1 a un 0 y viceversa rápidamente.
- **Sincronismo de byte:** procedimiento que se usa para determinar cuando comienza el byte (carácter) y cuando termina. Especialmente importante en la transmisión asincrónica.
- **Sincronismo de bloque:** procedimiento que se usa para determinar el conjunto de caracteres que se considerará a los efectos del tratamiento de los errores. El tipo de bloque más comúnmente utilizado es la trama ("frame"), que al producirse un error obliga a la retransmisión de todo el bloque.

2) MODOS DE TRANSMISIÓN DE LAS SEÑALES:

Existen dos **modos** de transmitir las señales en los medios: modo paralelo y modo serie.

2.1) Transmisión en modo paralelo: aquella en que los n bits que componen cada byte o carácter se transmiten en un solo ciclo de reloj.

- Utilizado por las computadoras para la transferencia interna de los datos.
- Luego de cada n bits de un conjunto transmitido, se tiene un tiempo de separación antes de enviar otro grupo de n bits.
- Permite grandes velocidades de transmisión, midiéndose en bytes o caracteres por seg.
- No es apta para transmisiones más alejadas que una decena de metros, ya que el tiempo de llegada de los bits difiere de una línea a otra, situación que se agrava con el aumento de la distancia.

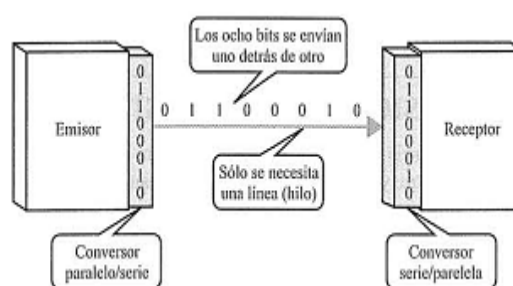
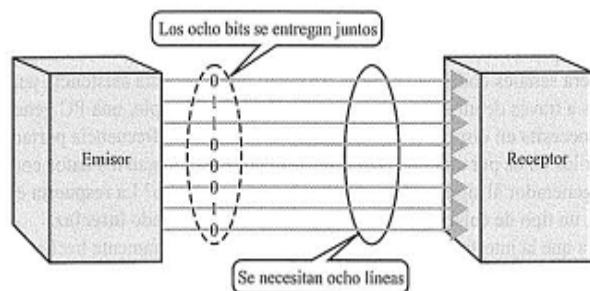


Ilustración 1: (a) modo de transmisión paralelo (b) modo de transmisión serie

2.2) Transmisión en modo serie: aquella en que los bits que componen cada carácter se

transmiten en n ciclos de un bit cada uno.

- Se envía un bit después del otro hasta completar cada carácter.
- Es el típico de los sistemas teleinformáticos.
- A menudo, una señal serie transmitida por un medio, debe ser pasada al modo paralelo al llegar al equipo destino (“deserealización”); cuando se requiere el proceso opuesto se lo llama “serialización”.
- La secuencia de los bits transmitidos se efectúa siempre al revés de cómo se escriben las cifras en el sistema de numeración binario, donde los pesos crecientes, se escriben siempre a la izquierda. (Se transmite siempre el bit menos significativo)
- Cuando se transmite con bit de paridad, éste se transmite siempre en último lugar.

El objetivo de lograr el máximo aprovechamiento del canal de comunicaciones, mediante el modo de transmisión serie, utiliza habitualmente dos técnicas posibles:

2.2.1) Transmisión asíncrona: cada carácter se trata independientemente. La codificación habitual es ASCII con bit de paridad, en NRZL. El primer bit de cada carácter es un bit de comienzo (o de cabecera o de arranque), que alerta al receptor sobre la llegada del carácter (Ilustración 2.a). El receptor muestrea uno a uno los bits del carácter, (el menos significativo es el primero transmitido) y finalmente detecta uno (o dos) bits de parada, que separan un carácter del siguiente.

Esta técnica puede no funcionar correctamente para bloques de datos excesivamente largos debido a que el reloj del receptor podría desincronizarse respecto del reloj del emisor.

El ejemplo (Ilustración 2.c) muestra un error de temporización suficientemente grande como para producir un muestreo incorrecto en el octavo bit del carácter.

Se supone $R = 10$ Kbps, con lo que cada bit dura $100 \mu s$.

Si el receptor muestrea a mitad del intervalo de un bit, pero tiene una asincronía respecto al transmisor del 6%, se puede apreciar que no habrá error de lectura hasta el último bit, que si dará erróneo. (Puede llegar además a producirse un error de delimitación de trama si el bit 7 es un 1 y el bit 8 es un 0, ya que el receptor podría creer que es bit de comienzo siguiente)

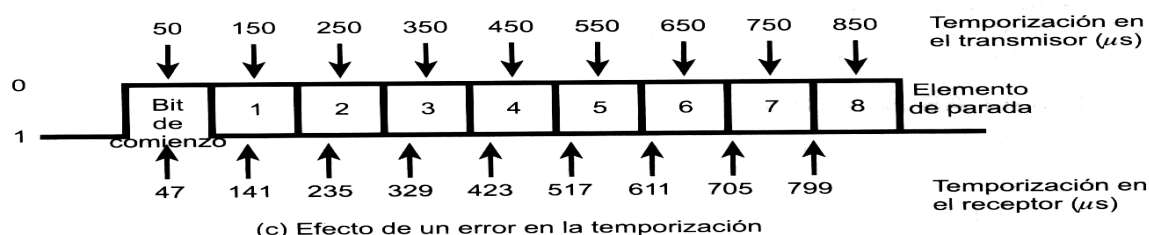
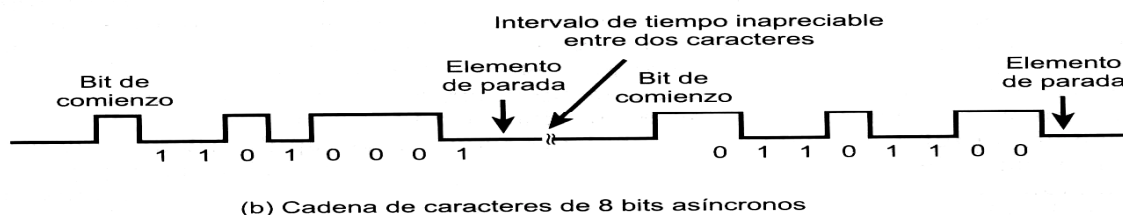
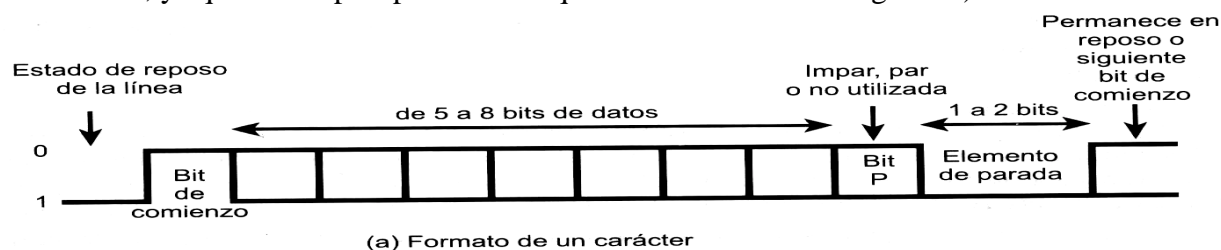


Ilustración 2: Transmisión asíncrona.



Principales características:

- Los ETD que funcionan en modo asincrónico se denominan también *terminales en modo caracter*.
- Es un procedimiento antiguo, usa equipamiento económico y tecnología poco sofisticada.
- La transmisión asincrónica se llama también de “*start-stop*” (arranque-parada).
- Se utiliza a velocidades de modulación hasta 1200 baudios por lo que es apta para transmisiones sin requisitos de altas velocidades.
- Si se utiliza un bit de arranque y dos de parada en la transmisión de una señal codificada con 7 bits, mas uno de paridad, el *rendimiento* es del 72% (8 bits de datos sobre 11 bits transmitidos), lo cual no es un muy buen aprovechamiento del canal.
- Entre dos caracteres consecutivos puede existir cualquier separación de tiempo. (De allí el nombre de “asíncrono” para la técnica. Debe ser síncrona a nivel de bit)
- Se adapta más fácilmente a aplicaciones donde el flujo de datos es irregular.
- En caso de errores, se pierde una cantidad pequeña de caracteres, pues éstos se sincronizan y transmiten de uno en uno.

2.2.2) Transmisión síncrona: Para el envío de bloques grandes se utiliza la *transmisión síncrona*. Cada bloque de datos forma una *trama*, (“frame”), que incluirá entre otros campos, los delimitadores de principio y de fin. En la transmisión síncrona, se transmite un bloque de bits como una cadena estacionaria sin utilizar códigos de comienzo o parada. El bloque puede tener una longitud de muchos bits. Para prevenir la desincronización entre el emisor y el receptor, sus relojes se deberán coordinar de alguna manera. Una posibilidad puede ser proporcionar la señal de reloj a través de una línea independiente. Uno de los extremos (el receptor o el transmisor) enviará regularmente un pulso de corta duración. El otro extremo utilizará esta señal a modo de reloj. Esta técnica funciona bien a distancias cortas, sin embargo a distancias superiores, los pulsos de reloj son susceptibles de las mismas dificultades y defectos que las propias señales de datos, por lo que pueden aparecer errores de sincronización. La otra alternativa consiste en incluir la información relativa a la sincronización en la propia señal de datos. Para la señalización digital, esto se puede llevar a cabo mediante la codificación Manchester o Manchester Diferencial. Para señales analógicas se han desarrollado a su vez diversas técnicas; por ejemplo, se puede utilizar la propia portadora para sincronizar al receptor usando la fase. En la transmisión síncrona se requiere además un nivel de sincronización adicional para que el receptor pueda determinar dónde está el comienzo y el final de cada bloque de datos. Para llevar a cabo esto, cada bloque comienza con un patrón de bits denominado *preámbulo* y generalmente termina con un patrón de bits de *final*. Los datos, más el preámbulo, más los bits de final junto con la información de control se denomina trama. El formato en particular de la trama dependerá del procedimiento de control del enlace que se utilice.

Normalmente, la trama comienza con un preámbulo denominado delimitador (“flag”) de 8 bits. El mismo delimitador se utiliza igualmente como indicador del final de la trama. El receptor buscará la aparición del delimitador que determina el comienzo de la trama. Este delimitador estará seguido por algunos campos de control, el campo de datos (de longitud variable para la mayoría de los protocolos), más campos de control y por último, se repetirá el delimitador indicando el final de la trama.

Principales características:

- Los bloques o tramas que se transmiten tienen tamaños que oscilan entre 128 y 1024 bytes, como resultado de una solución de compromiso en la ingeniería del diseño.
- El sincronismo en la fuente lo puede producir el ETD o el ETCD, pero en cualquier caso, el receptor deberá compartir en su ETD y ETCD la misma señal.
- El rendimiento de la transmisión síncrona, cuando se transmiten tramas de 1024 bytes y se usan no más de 10 bytes de cabecera y cola, supera el 99%. (buen aprovechamiento de líneas de transmisión).
- Los equipamientos necesarios son de tecnologías más complejas y costosas que en la transmisión

asincrónica.

- Son especialmente aptos para transmisiones de altas velocidades (iguales o mayores a 1200 baudios), con transmisiones de datos más regulares (no en ráfagas).
- En caso de errores, la cantidad de bytes a retransmitir puede ser importante. Por éste motivo, es importante hacer una buena elección de la velocidad del enlace.

3) INTERFACES FISICAS:

La mayoría de los dispositivos utilizados para el procesamiento de datos tienen una capacidad limitada de transmisión. Generalmente, generan una señal digital, como, por ejemplo, NRZ-L, pudiendo transmitir a una distancia limitada. Consecuentemente, es extraño que dichos dispositivos (terminales y computadoras) se conecten directamente a la red de transmisión. Los dispositivos finales, normalmente terminales y computadoras, se denominan generalmente equipo terminal de datos (ETD). Un ETD hace uso del medio de transmisión mediante la utilización de un equipo terminación del circuito de datos (ETCD), como, por ejemplo, un módem. (Ilustración 3)

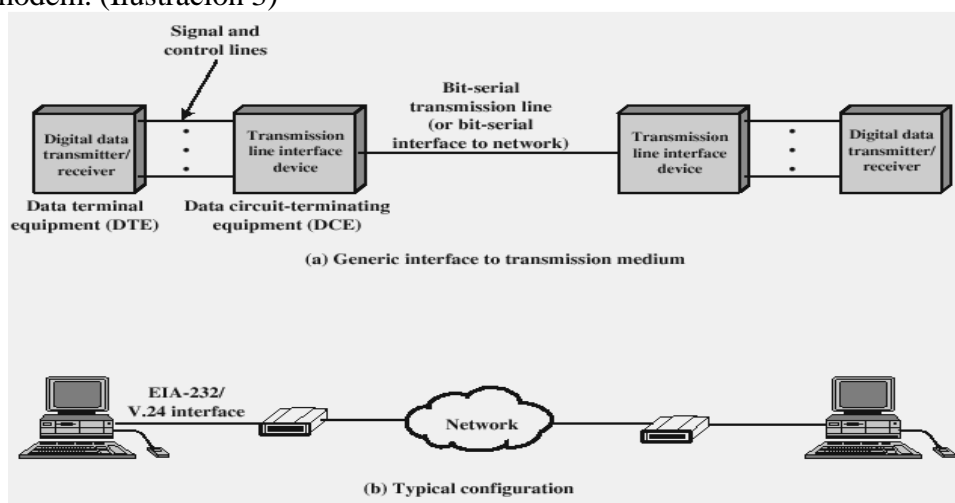


Ilustración 3: Interface de comunicación de datos.

Por un lado el ETCD es responsable de transmitir y recibir bits, de uno en uno, a través del medio de transmisión o red. Por el otro, el ETCD debe interaccionar con el ETD. En general, esto exige que se intercambien tanto datos como información de control. Esto se lleva a cabo a través de un conjunto de cables que se denominan **circuitos de intercambio**. Para que este esquema funcione, se necesita un alto grado de cooperación. Para facilitar las cosas tanto a los usuarios como a los fabricantes de los equipos para el procesamiento de datos, se han desarrollado normalizaciones que especifican exactamente la naturaleza de la interface entre el ETD y ETCD.

La interface física tiene cuatro características importantes o especificaciones:

- ✚ Las **características mecánicas**: tratan de la conexión física entre el ETD y el ETCD. Generalmente, los circuitos de intercambio de control y de datos se embuten en un cable con un conector, macho o hembra, a cada extremo. El ETD y el ETCD deben tener conectores de distinto género a cada extremo del cable. Esta configuración es análoga a los cables de suministro de energía eléctrica. La energía se facilita a través de una toma de corriente o enchufe, y el dispositivo que se conecte debe tener el conector macho (con dos polos, dos polos con polaridad o tres polos) que corresponda a la toma.
- ✚ Las **características eléctricas**: están relacionadas con los niveles de tensión y su temporización. Tanto el ETD como el ETCD deben usar el mismo código (por ejemplo NRZ-L), deben usar los mismos niveles de tensión y deben utilizar la misma duración para los elementos de señal. Estas características determinan la velocidad de transmisión

así como las máximas distancias que se puedan conseguir.

- Las **características funcionales**: especifican las funciones que se realizan a través de cada uno de los circuitos de intercambio. Las funciones a realizar se pueden clasificar en cuatro grandes categorías: datos, control, temporización y masa (o tierra).
- Las **características de procedimiento**: especifican la secuencia de eventos que se deben dar en la transmisión, basándose en las características funcionales de la interface.

Existen varias normalizaciones para la interface. Dos de las más significativas son: V.24/EIA-232-F y la interface física de RDSI.

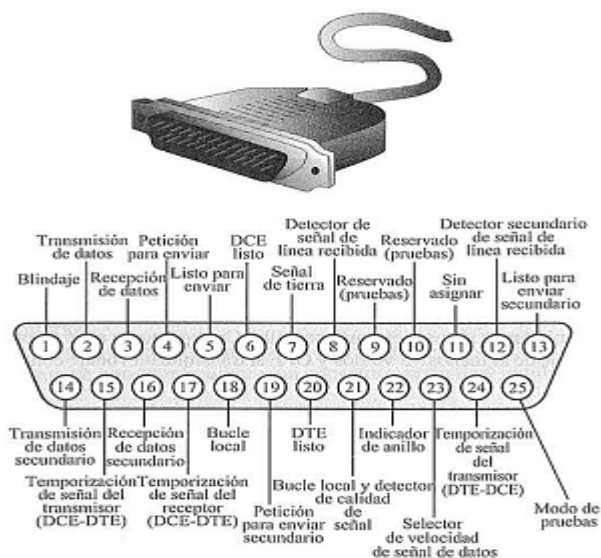
3.1) V.24/EIA-232-F

La interface que más se utiliza es la especificada en el estándar V.24 de la UIT-T.

De hecho, este estándar especifica sólo los aspectos funcionales y de procedimiento de la interface; V.24 hace referencia a otros estándares para los aspectos eléctricos y mecánicos. En los Estados Unidos está publicada la EIA-232-F: una especificación prácticamente idéntica a V.24 que cubre las cuatro características mencionadas:

- **Mecánicas**: ISO 2110
- **Eléctricas**: V.28
- **Funcionales**: V.24
- **De procedimiento**: V.24

EIA-232 fue establecida inicialmente como RS-232 por la EIA (“Electronic Industries Association”) en 1962. Actualmente está en su sexta versión EIA-232-F de 1997. Las versiones actuales de V.24 y V.28 se establecieron en 1996 y 1993 respectivamente. Esta interface se utiliza para la conexión de dispositivos ETD a módems, que a su vez están conectados a líneas de calidad telefónica en sistemas analógicos y públicos de telecomunicación. También se utiliza en otras muchas aplicaciones de interconexión.



3.1.1) Especificaciones mecánicas: En la Ilustración 4 se muestran las especificaciones mecánicas del EIA-232-F, en la que se usa un conector de 25 contactos metálicos distribuidos de una manera específica según se define en el ISO 2110. Este conector es el terminador del cable que va desde el ETD (el terminal) al ETCD (por ejemplo, el modem). Por tanto, en teoría habría que utilizar un cable que tuviera 25 conductores, aunque en la mayoría de las aplicaciones prácticas se usa un número menor de circuitos y, por tanto, de conductores.

Ilustración 4: Asignación de los terminales de contacto para V.24/EIA-232 (conector en el DTE)

3.1.2) Especificaciones eléctricas: Aquí se definen la señalización entre el ETD y el ETCD. Se utiliza señalización digital en todos los circuitos de intercambio. Los valores eléctricos se interpretarán como binarios o como señales de control, dependiendo de la función del circuito de intercambio.

La norma especifica que, respecto a una referencia de tierra común, una tensión más negativa que -3 voltios se interprete como un 1 binario, mientras que una tensión mayor de 3 voltios se interprete como un 0 cero binario, o sea corresponde al código NRZL. La interface se utiliza a 20 Kbps para una distancia menor a 15 metros. Para la señalización de control se aplican los mismos niveles de tensión: menor a -3 volt será ON, mientras que mayor a +3 volt será OFF.

3.1.3) Especificaciones funcionales: Los circuitos se pueden clasificar en:

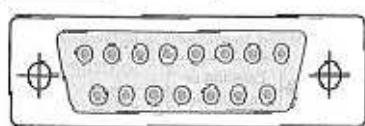
- *De datos:* Hay un circuito en cada dirección, por lo que es posible el funcionamiento full-duplex. Es más, hay dos circuitos de datos secundarios que son útiles cuando el dispositivo funciona en semi-duplex. En el caso de funcionamiento semi-duplex, el intercambio de datos entre dos ETD se realiza en un instante dado en una única dirección.
- *De control:* son 15 en total.
 - Los 10 primeros se utilizan para controlar la transmisión de datos sobre el canal primario, por ejemplo mediante un circuito que monitorea el nivel de ruido en el enlace, y en caso de ruido elevado, activar otro circuito que reduzca la velocidad de transmisión.
 - Los 3 siguientes sobre el canal secundario, que se usa para propósitos auxiliares.
 - Los restantes, para verificaciones de la conexión entre el ETD y el ETCD, tanto en el bucle local como en el bucle remoto, con el fin de diagnosticar fallos.
- *De temporización:* circuitos que proporcionan los pulsos de reloj en la transmisión síncrona, para sincronismo entre transmisor y receptor. Se envían señales de pulsos con transiciones de 0 a 1 o de 1 a 0, a mitad del intervalo de cada elemento de señal que es simultáneamente transmitida por el circuito de datos.
- *De tierra:* señal de tierra común, sirve como retorno para todos los circuitos de datos. O sea que la transmisión es no balanceada, teniendo sólo un cable activo.

3.1.4) Especificaciones de procedimiento: definen la sucesión de cómo se usan los diferentes circuitos en una aplicación determinada, por ejemplo:

- En modalidad de modem de línea privada (ó de distancia limitada), que permite la interconexión entre dos ETCD en un mismo edificio, para intercambiar datos a través de un par trenzado.
- En transmisiones remotas vía modem por dial-up, a través de líneas telefónicas.
- En la modalidad de “modem nulo”, en la que dos ETD están tan próximos, que pueden intercambiar datos directamente sin conectarse a Modems, mediante una adecuada configuración de la interface física, que simula la existencia de los moduladores/demoduladores.

3.2) X-21: LA INTERFACE FÍSICA DE LA RDSI:

La gran variedad de funciones que proporciona el V.24/EIA-232 se llevan a cabo mediante el uso de un gran número de circuitos de intercambio. Ésta es una solución costosa. Una alternativa sería utilizar menos circuitos incorporando más lógica de control entre las interfaces del ETD y el ETCD. De esta forma se reducen los costos de los circuitos, haciendo que esta aproximación sea una alternativa atractiva. Esta filosofía se adoptó en la especificación estándar X.21



Receptáculos DB-15

(conector de 15 contactos) para la interface a redes públicas de conmutación de circuitos. Más recientemente, esta tendencia se ha adoptado de forma más radical en la especificación de un conector de 8 contactos para la Red Digital de Servicios Integrados (RDSI).

3.2.1) Conexión física:

En la terminología RDSI, se establece una conexión física entre el equipo terminal (TE) y el equipo terminador de línea (NT). Estos términos corresponden bastante aproximadamente a ETD y ETCD respectivamente. La conexión física, definida en ISO 8877, especifica que los cables del NT y del TE tengan los conectores correspondientes, cada uno de ellos con 8 contactos.

En la Ilustración 5 se ilustra la asignación de estos contactos para cada una de las 8 líneas, tanto en el NT como en el TE. Para transmitir datos en cada una de las dos direcciones se usan dos contactos.

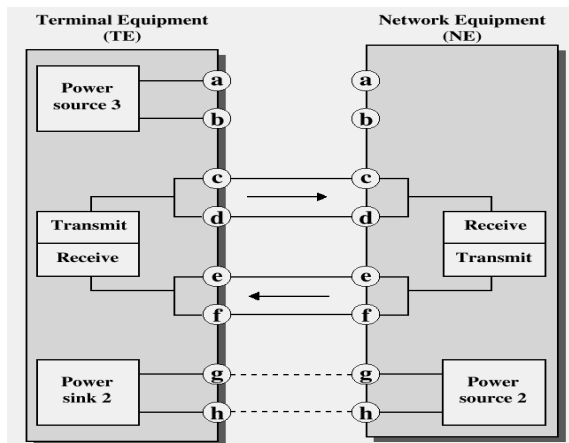


Ilustración 5: Interface para RDSI

Los contactos se utilizan para conectar mediante pares trenzados los circuitos entre el NT y el TE. Debido a que los circuitos no tienen especificaciones funcionales específicas, los circuitos de recepción y transmisión se utilizan para transmitir señales de datos y de control. La información de control se transmite usando mensajes. La especificación prevé la posibilidad de transmitir energía a través de la interface, en cualquiera de los dos sentidos, dependiendo de la aplicación en particular que se trate.

En una aplicación determinada, puede ser deseable la transferencia de energía desde la red hacia el terminal para que, por ejemplo, el servicio de telefonía básica funcione incluso en el caso de fallos del suministro eléctrico local. La transferencia de potencia se puede llevar a cabo usando los mismos cables que se usan para la transmisión de señal digital (c, d, e, f), o en los otros circuitos g, h. Los otros dos circuitos restantes no se usan en la configuración para RDSI pero pueden ser útiles en otras aplicaciones.

3.2.2) Especificaciones eléctricas:

La especificación eléctrica de la RDSI establece que se use transmisión balanceada. En la transmisión balanceada, las señales se transmiten usando dos conductores como, por ejemplo, un par trenzado. Las señales se transmiten como una corriente que va a través de uno de los conductores y retorna por el otro, formando un circuito cerrado. En el caso de señales digitales, esta técnica se denomina señalización diferencial, ya que los valores binarios dependen del sentido de las diferencias de tensión entre los dos conductores. La transmisión no balanceada se usa en interfaces más antiguos como la EIA-232, en la que se utiliza un solo conductor para transportar la señal, siendo el camino de retorno el circuito de tierra.

El modo balanceado tolera más, y produce menos ruido que el modo no balanceado. Idealmente, las interferencias en una línea balanceada afectarán a ambos conductores por igual, por lo que no afectarán a las diferencias de tensión. Debido a que la transmisión no balanceada no posee estas ventajas, su uso se restringe a cables coaxiales. Cuando se usa en circuitos de intercambio, como en EIA-232, las distancias son cortas.

El formato de la codificación de los datos en la interface RDSI depende de la razón de los datos:

- En el enlace básico (192 Kbps) se usa codificación pseudoternaria: unos binarios representados por ausencia de tensión y ceros binarios representados por pulsos negativos o positivos de $750 \text{ mV} \pm 10\%$.
- En el enlace primario (tanto a 1,544 Mbps como a 2,049 Mbps), usa codificación AMI-bipolar.

4) MULTIPLEXACIÓN:

Definición:

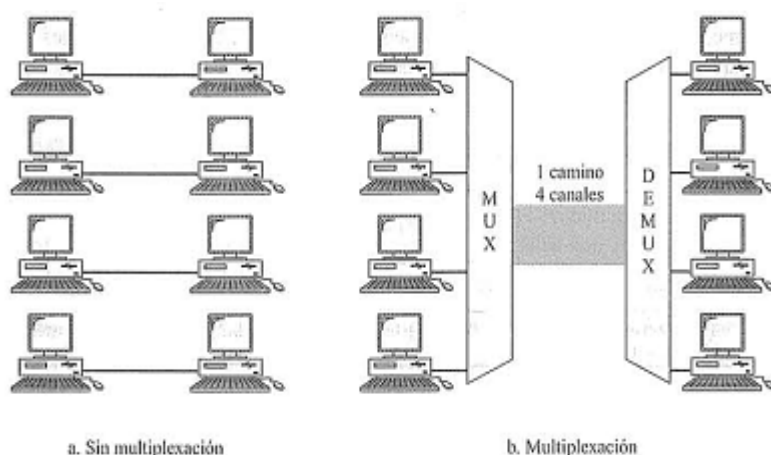
“Repartir según una ley fija en el tiempo, un único canal de comunicaciones, de capacidad C, entre n_i subcanales de entrada de capacidades C_i . La suma de las capacidades de entrada de todos los subcanales no puede superar el valor C (capacidad de salida del multiplexor)”

En efecto:

$$C \geq \sum_{i=1}^n C_i$$

Para hacer un uso eficiente de las líneas de telecomunicaciones de alta velocidad se emplean técnicas de multiplexación, las cuales permiten que varias fuentes de transmisión compartan una capacidad de transmisión superior.

Una aplicación usual de la multiplexación son las comunicaciones de larga distancia. Los enlaces de las redes de larga distancia son líneas de fibra, de cable coaxial o de microondas de alta capacidad, de modo que pueden transportar simultáneamente varias transmisiones de voz y de datos haciendo uso de las técnicas de multiplexación. La Ilustración 6 muestra la función de multiplexación en su forma más simple. Existen n entradas a un multiplexor, que se conecta a un demultiplexor mediante un único enlace físico. El enlace es capaz de transportar n canales de datos independientes.



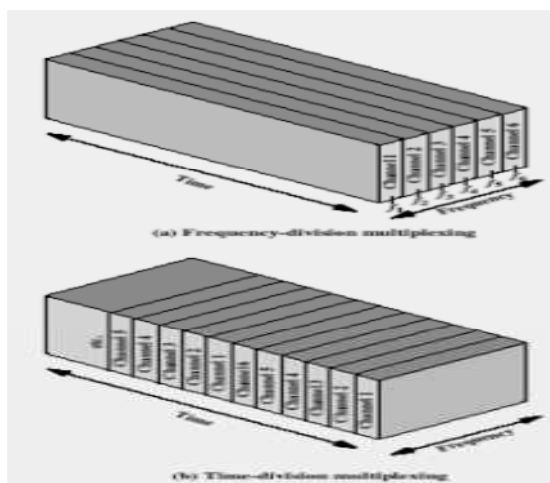
El multiplexor combina (multiplexa) los datos de las n líneas de entrada y los transmite a través de un enlace de datos de capacidad superior. El demultiplexor recibe la secuencia de datos multiplexados, separa (demultiplexa) los datos de acuerdo con el canal y los envía hacia las líneas de salida correspondientes.

Ilustración 6: Esquema de un enlace sin multiplexación y con multiplexación.

Algunas de las razones que justifican efectuar la multiplexación/demultiplexación de enlaces son:

- Utilización plena de los canales analógicos de voz (BW = 3100 Hz), que son comunes.
- Demanda de circuitos de capacidades múltiples, que requieren canales de baja velocidad como también otros de alta velocidad.
- Las bifurcaciones normales sobre circuitos de transmisión en las redes.
- Frecuente necesidad de enviar varios mensajes simultáneos entre dos puntos, entre varios
- ETD de esos puntos.
- Ahorro de costos que se tienen en circuitos de telecomunicaciones de mayor capacidad.

Distintas técnicas:



- 1) Multiplexación por división de frecuencia (**FDM**) ("**F**requency **D**ivision **M**ultiplexing"): cada canal dispone de parte del espectro, todo el tiempo, tenga o no datos para transmitir
- 2) Multiplexación por división de tiempo (**TDM**) ("**T**ime **D**ivision **M**ultiplexing"): cada canal dispone de todo el espectro, parte del tiempo, tenga o no datos para transmitir
- 3) Multiplexación por división de tiempo estadístico (**STDM**) ("**S**tatistical **T**ime **D**ivision **M**ultiplexing"): cada canal dispone de todo el espectro, parte del tiempo (sólo si tiene datos para transmitir)

Ilustración 7: Técnicas de multiplexación.

4.1) Multiplexación por división de frecuencia (FDM) ("Frequency Division Multiplexing")

Técnica que consiste en dividir el ancho de banda de un único canal de comunicaciones en varios subcanales independientes entre sí. A cada subcanal se le adjudica un intervalo de frecuencias diferente, pero comprendido en el ancho de banda total disponible en el canal.

Es posible utilizar FDM cuando el ancho de banda útil del medio de transmisión supera el ancho de banda requerido por las señales a transmitir. Se pueden transmitir varias señales simultáneamente si cada una de ellas se modula con una frecuencia portadora diferente y las frecuencias portadoras están suficientemente separadas para que los anchos de banda de las señales no se solapen de forma importante.

En la Ilustración 7.a, se muestra un caso general de FDM. En él se representa la entrada de seis líneas a un multiplexor, el cual modula cada señal a una frecuencia diferente (f_1, \dots, f_6). Cada señal modulada precisa un cierto ancho de banda centrado alrededor de su frecuencia portadora y conocido como el *canal*. Para evitar interferencias los canales se separan mediante bandas guardas o de seguridad, las cuales son zonas no utilizadas del espectro.

La señal compuesta transmitida a través del medio es analógica. Sin embargo, las señales de entrada pueden ser tanto digitales como analógicas. En el caso de que la entrada sea digital, las señales se deben pasar a través de modems para ser convertidas en analógicas. En cualquier caso, la señal de entrada analógica se debe modular para trasladarla a la banda de frecuencia apropiada.

Un ejemplo típico de FDM es la televisión convencional y por cable.

En la Ilustración 8.a se muestra un esquema general de un sistema FDM en el transmisor. Se multiplexan varias señales analógicas o digitales $[m_i(t), i=1, n]$ a través del mismo medio de transmisión. Cada señal $m_i(t)$ se modula por una portadora f_i . Dado que se usan varias portadoras, cada una de ellas se denomina subportadora. Se puede hacer uso de cualquier tipo de modulación. Las señales moduladas analógicas resultantes se suman para dar lugar a una señal $m_b(t)$ en banda base compuesta.

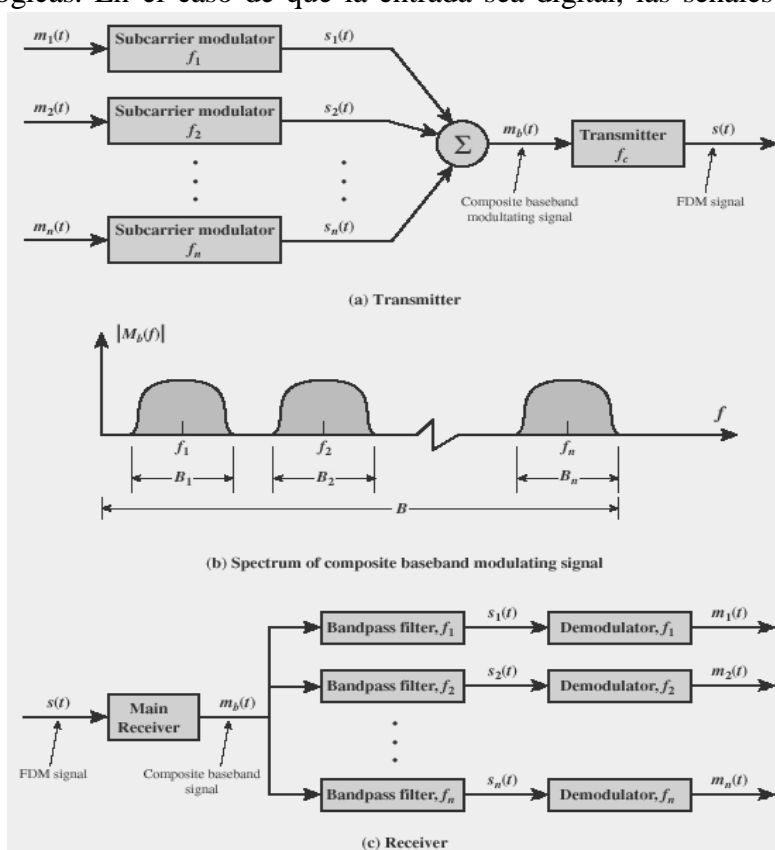


Ilustración 8: Esquema de modulación FDM.

En la Ilustración 8.b se muestra el resultado. El espectro de la señal $m_i(t)$ se desplaza hasta quedar centrado en f_i . Para que este esquema funcione adecuadamente, f_i se debe elegir de modo que los anchos de banda de las distintas señales no se solapen de forma significativa. En caso contrario resultaría imposible recuperar las señales originales.

Tras esto, la señal compuesta puede desplazarse como un todo a otra frecuencia portadora a través

de un proceso adicional de modulación.

La señal FDM $s(t)$ tiene un ancho de banda total B , donde:

$$B > \sum_{i=1}^n B_i$$

Esta señal analógica se puede transmitir a través de un medio adecuado.

En el extremo receptor, se modula la señal FDM para recuperar $m_b(t)$, la cual se hace pasar a través de n filtros paso banda cada uno centrado en torno a f_i con un ancho de banda B_i , para $1 \leq i \leq n$. De esta forma, la señal se divide de nuevo en sus componentes, siendo cada una de ellas demodulada en el receptor, para recuperar la señal original correspondiente. (Ilustración 8.c).

EJEMPLO: sea la transmisión simultánea de tres señales de voz a través de un medio. Como se ha mencionado, el ancho de banda de una señal de voz se considera generalmente igual a 4 kHz, con un espectro efectivo comprendido entre los 300 y los 3.400 Hz. (Ilustración 9). Si una señal de este tipo se usa para modular en amplitud una portadora de 64 kHz, se obtiene el espectro de la Ilustración 9.b. La señal modulada tiene un ancho de banda de 8 kHz, extendiéndose desde los 60 hasta los 68 kHz. Para hacer un uso eficiente del ancho de banda, se elige transmitir sólo la banda lateral inferior (contiene toda la información de los datos). Si ahora las tres señales de voz se usan para modular portadoras a frecuencias de 64, 68 y 72 kHz, y sólo se utiliza la banda lateral inferior de cada una de ellas, se obtiene el espectro de la Ilustración 9.c.

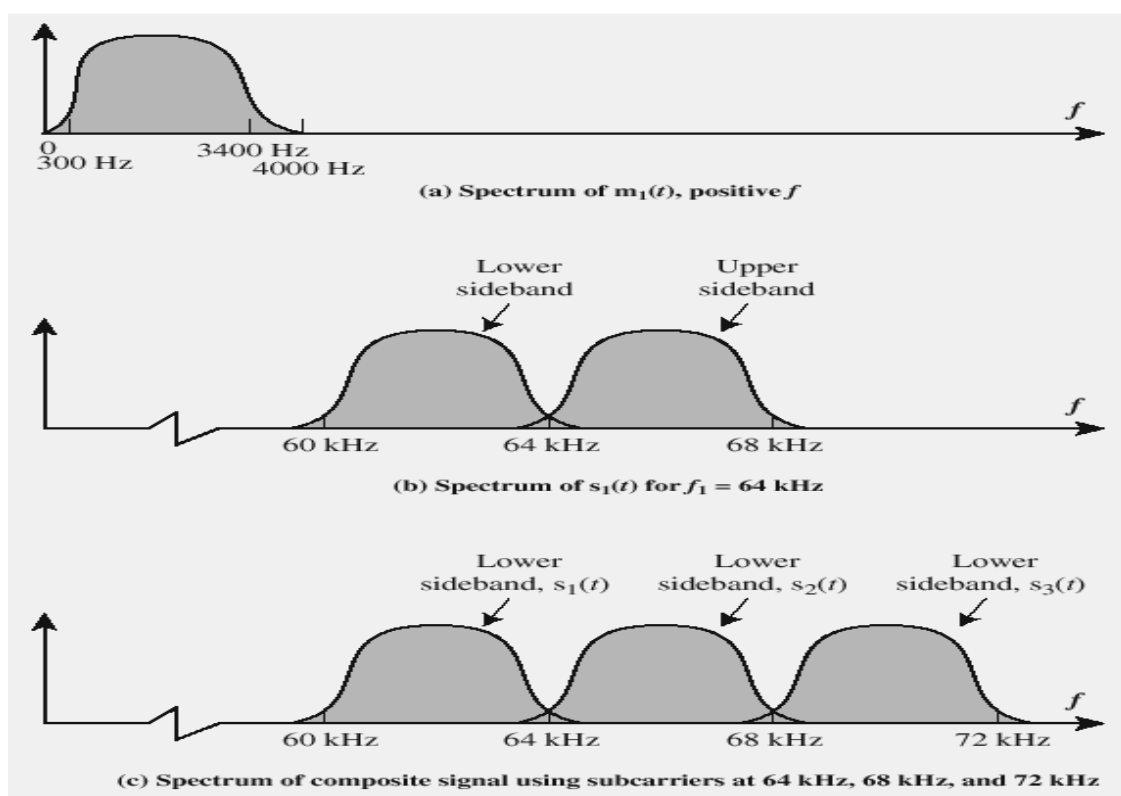


Ilustración 9: FDM de tres canales de voz

Esto pone de manifiesto dos problemas con que se enfrenta un sistema FDM:

El primero es la diafonía, que puede aparecer si los espectros de señales componentes adyacentes se solapan de forma importante. En el caso de señales de voz, con un ancho de banda efectivo de sólo 3.100 Hz (de 300 a 3.400), resulta adecuado un ancho de banda de 4 kHz. El espectro de señales generadas por modems para transmisiones en la banda de voz también cabe bien en este ancho de banda.

Otro problema potencial es el ruido de intermodulación, ya que en un enlace largo, los efectos de las no linealidades de los amplificadores sobre una señal en un canal, pueden dar lugar a componentes en frecuencia en otros canales.

4.2) Multiplexación por División en el Tiempo-TDM-("Time Division Multiplexing")

Técnica que consiste en dividir el tiempo de transmisión de un único canal de comunicaciones, en sub-canales independientes entre sí, donde a cada uno se le asigna un segmento del tiempo de transmisión total.

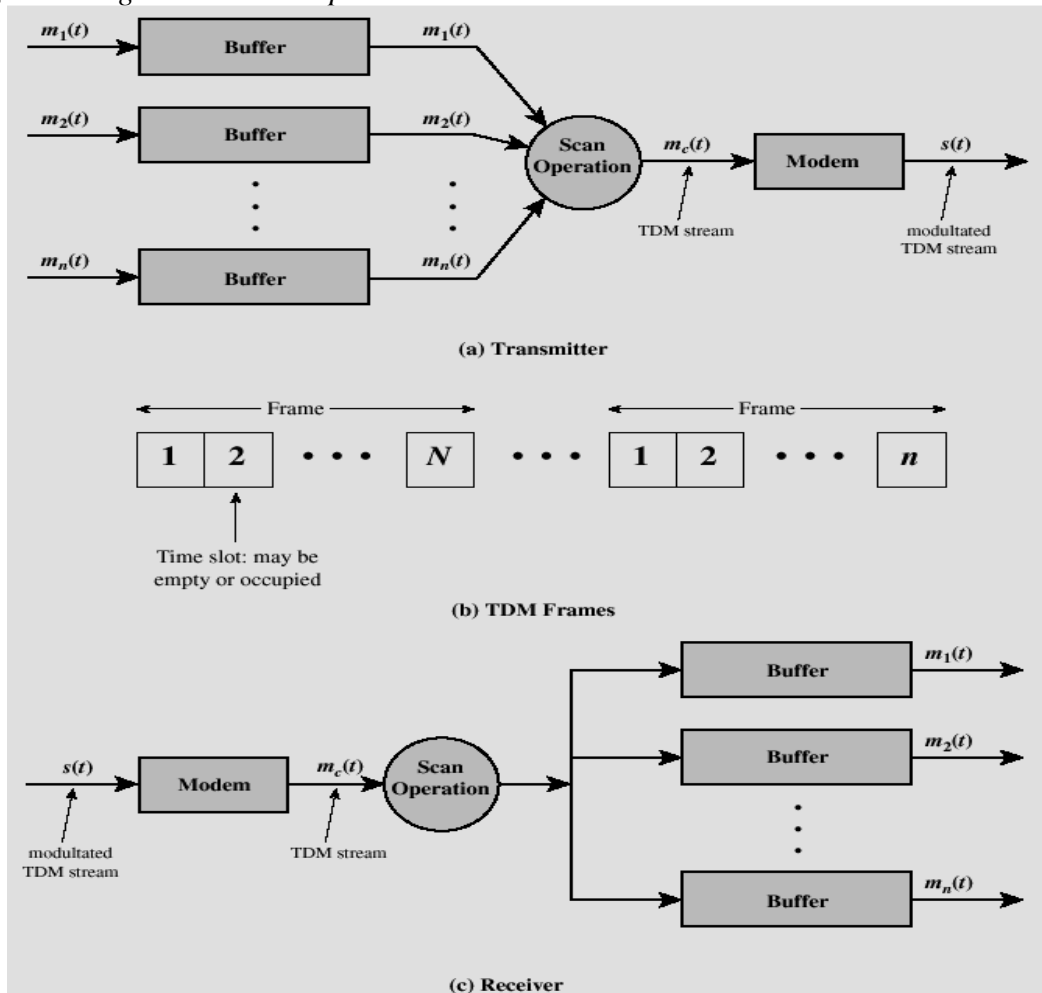


Ilustración 10: Sistema TDM síncrono

En la Ilustración 10 se proporciona un esquema general de un sistema TDM.

Se multiplexan varias señales $[m_i(t), i=1, n]$ a través del mismo medio de transmisión. Las señales transportan datos digitales y son en general señales digitales. Los datos de entrada procedentes de cada fuente se almacenan brevemente en una memoria temporal o "buffer". Cada memoria temporal tiene una longitud típica de un bit o un carácter. Estas memorias temporales se sondean secuencialmente para componer una secuencia de datos digital compuesta $m_c(t)$. El sondeo es lo suficientemente rápido para que cada memoria temporal se vacíe antes de que se reciban nuevos datos. Por tanto, la velocidad de $m_c(t)$ debe ser al menos igual a la suma de las velocidades de las señales $m_i(t)$. La señal digital $m_c(t)$ se puede transmitir directamente o se puede hacer pasar a través de un módem para dar lugar a una señal analógica. En ambos casos la transmisión es generalmente síncrona. Los datos se organizan en tramas, cada una de las cuales contiene un ciclo de ranuras temporales. En cada trama se dedican una o más ranuras a cada una de las fuentes. La



secuencia de ranuras dedicadas a una fuente, de trama en trama, se llama canal. La longitud de la ranura es igual a la longitud de la memoria temporal de transmisión, generalmente un bit o un carácter.

La técnica de mezcla de caracteres se usa con fuentes asíncronas, conteniendo cada ranura temporal un carácter de datos. Usualmente, los bits de principio y de fin de cada carácter se eliminan antes de la transmisión y se reinsertan por parte del receptor, mejorando así la eficiencia. La técnica de mezcla de bits se usa con fuentes síncronas, pudiendo utilizarse también con fuentes asíncronas. Cada ranura temporal contiene un único bit.

Los datos mezclados se demultiplexan en el receptor y se encaminan hacia la memoria temporal de destino apropiada. Para cada fuente de entrada $m_i(t)$ existe una fuente de salida idéntica que recibirá los datos de entrada a la misma velocidad a la que fueron generados.

La técnica TDM síncrona se denomina así no porque se emplee transmisión síncrona, sino porque las ranuras temporales se preasignan y fijan a las distintas fuentes.

Las ranuras temporales asociadas a cada fuente se transmiten tanto si éstas tienen datos que enviar como si no. Esto, por supuesto, también ocurre en FDM. En ambos casos se desaprovecha la capacidad a costa de simplificar la implementación. Sin embargo, un dispositivo TDM síncrono puede gestionar fuentes a distintas velocidades incluso cuando se hacen asignaciones fijas de las ranuras temporales. Por ejemplo, al dispositivo de entrada más lento se le podría asignar una ranura por ciclo, mientras que a los más rápidos se podrían asignar varias ranuras por ciclo.

4.3) Multiplexación por División en el Tiempo Estadística-STDM-("Statistical Time Division Multiplexing")

En un multiplexor por división en el tiempo síncrono es usual que se desaprovechen muchas de las ranuras temporales dentro de una trama. Una aplicación típica de la TDM síncrona es la conexión de varios terminales a un puerto compartido de computador. Incluso en el caso de que todos los terminales se estén utilizando activamente, la mayor parte del tiempo no existe transferencia de datos en ningún terminal.

Una alternativa a la técnica TDM síncrona es TDM estadística. El multiplexor estadístico explota esta propiedad usual en la transmisión de datos mediante la reserva dinámica bajo demanda de las ranuras o divisiones temporales. Al igual que en TDM síncrona, el multiplexor estadístico tiene varias líneas de entrada/salida por un lado y una línea multiplexada de velocidad superior por otro. Cada línea de entrada/salida tiene asociada una memoria temporal. En el caso del multiplexor estadístico hay n líneas de entrada/salida, pero sólo k , con $k < n$, ranuras temporales disponibles en cada trama TDM. La función de entrada del multiplexor consiste en sondear las memorias de almacenamiento de entrada aceptando datos hasta que se complete una trama, enviándola posteriormente. A la salida, el multiplexor recibe la trama y distribuye las ranuras temporales de datos a las memorias temporales de salida correspondientes.

Dado que la técnica TDM estadística presenta la ventaja de que los dispositivos conectados no transmiten durante todo el tiempo, la velocidad de la línea multiplexada es menor que la suma de las velocidades de los dispositivos conectados. Si un multiplexor estadístico y uno síncrono usan un enlace a la misma velocidad, el multiplexor estadístico puede dar servicio a más dispositivos.

En la Ilustración 11, se comparan las técnicas TDM síncrona y estadística. En la figura se consideran cuatro fuentes de datos así como los datos generados en cuatro intervalos de tiempo (t_0, t_1, t_2, t_3). En el caso del multiplexor síncrono se tiene una velocidad de salida efectiva de cuatro veces la velocidad de cualquiera de los dispositivos de entrada. Durante cada intervalo, los datos se toman de las cuatro fuentes y posteriormente se envían. Por ejemplo, en el primer intervalo las fuentes C y D no producen datos, de modo que dos de las cuatro ranuras temporales transmitidas por el multiplexor se encuentran vacías.

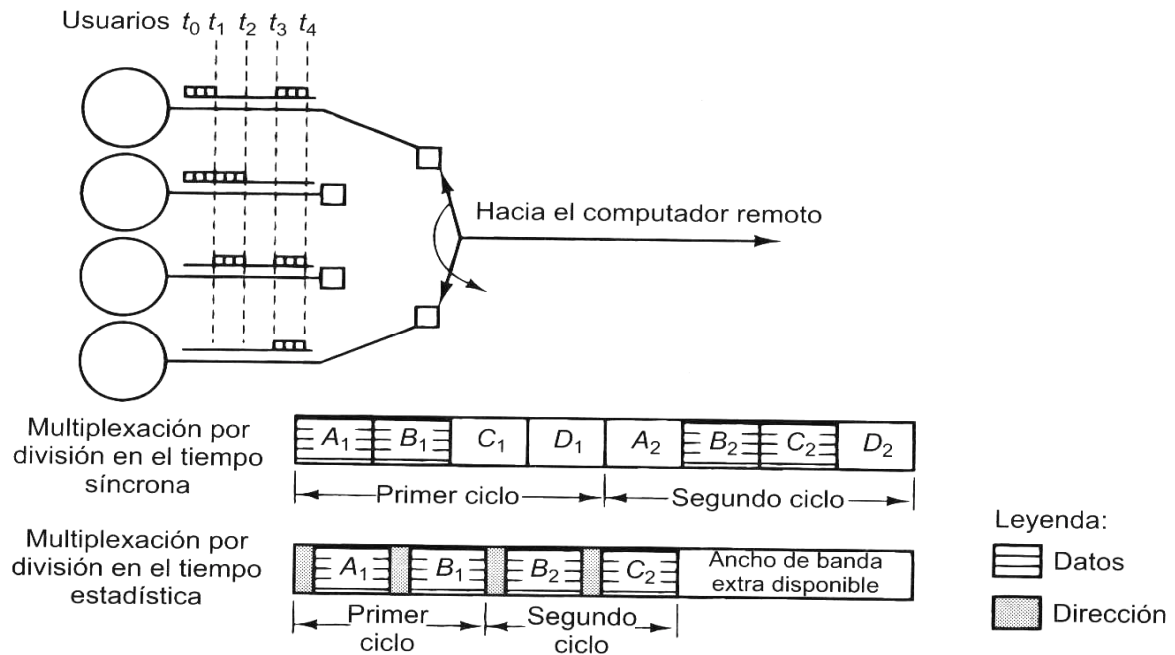


Ilustración 11: Comparación entre TDM síncrona y estadística.

Por el contrario, el multiplexor estadístico no envía ranuras temporales vacías mientras haya datos que enviar. Así, durante el primer intervalo sólo se envían las ranuras de A y B.

La estructura de tramas usada por un multiplexor estadístico repercute en las prestaciones finales del mismo. Es claro que resulta deseable minimizar la cantidad de bits suplementarios con objeto de mejorar la eficiencia. En general, un sistema TDM estadístico usa un protocolo síncrono tal como HDLC. Dentro de una trama HDLC, la trama de datos debe contener bits de control para el proceso de multiplexación.

5) APENDICE: Jerarquías de multiplexación:

Es corriente multiplexar varios sub-canales de comunicación agrupándolos en un canal de orden superior, que a su vez se puede agrupar con otros de su mismo orden. Este proceso se puede repetir sucesivamente, formando un ordenamiento jerárquico de la multiplexación.

Las dos variantes que se usan son las jerarquías plesiócronas y las jerarquías sincrónicas.

5.1) Jerarquías plesiócronas:

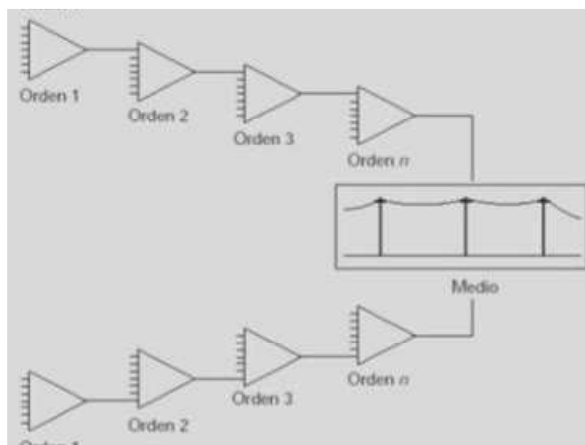


Ilustración 12: Formación de órdenes superiores de multiplexación en una red de alta velocidad

Los sistemas digitales de multiplexación digital de primera generación se denominan técnicamente plesiócronos, y al conjunto de los distintos niveles de multiplexación, Jerarquía Digital Plesiócrona ("Plesyochronous Digital Hierarchy"- PDH).

El concepto de plesiócrono ha sido definido por la UIT-T, en su recomendación G.701, y adoptado por todos los sistemas de multiplexación digital que utilizan éste principio.



El prefijo *plesio* procede del griego, y significa próximo, es decir, casi igual, pero no exactamente igual, con lo que el significado completo se podría tomar como “cuasi sincrónico”.

En éste tipo de multiplexación digital se observa que si bien la cantidad de canales de un orden superior es siempre múltiplo entero de la cantidad de orden inmediato anterior, no ocurre lo mismo con los anchos de banda, medidos en Mbps.

Esa diferencia entre los anchos de banda de un orden inferior, respecto de uno superior, radica en que al pasar de uno a otro es necesario agregar información que es de uso exclusivo del nivel siguiente.

Para acceder a un nivel de orden inferior, es necesario demultiplexar etapa por etapa.

En PDH en el caso de un Grupo Maestro E2, por tomar un ejemplo, corresponde una cantidad de 120 canales que están en relación directa con los cuatro grupos primarios que lo forman, de 30 canales cada uno. Pero si multiplicamos por cuatro el ancho de banda de cada uno de los Grupos Primarios E1, tendremos:

$$2,048 \text{ Mbps} \times 4 = 8,192 \text{ Mbps}$$

Y si restamos éste valor del ancho de banda que corresponde al nivel superior, tendremos:

$$8,448 \text{ Mbps} - 8,192 \text{ Mbps} = 0,256 \text{ Mbps}$$

En ésta expresión se observa que los valores son **casi iguales, pero no iguales**; de ahí el concepto de **plesiócrono**.

Las velocidades de cada orden son ligeramente superiores al producto de la velocidad que corresponde al nivel anterior multiplicada por el número de grupos que forman el nivel superior. Esta diferencia se debe a la necesidad de agregar información adicional al formar cada grupo de nivel superior, para compensar las diferencias que existen que existen en el sincronismo de cada nivel. Por ese motivo, por ejemplo en la norma europea, para transmitir los 30 canales de 64 Kbps de los grupos básicos, se deben usar anchos de banda equivalentes a 32 canales. Las mismas razones hacen que en los casos de orden superior se deba agregar información que es uso exclusivo de ese nivel. Por otra parte, y esto resulta relevante en éste tipo de jerarquía, los relojes usados en un nivel son independientes de los usados en los otros niveles. Ésta característica es fundamental, por lo cual todo el sistema *considerado integralmente* no es sincrónico, pero sí lo son cada uno de los órdenes de multiplexación en particular. En la multiplexación plesiócrona, el sistema de transmisión es siempre sincrónico en el último nivel de transmisión sobre el medio que se esté analizando, pero plesiócrono en los demás niveles superiores. En la digitalización de señales de voz para telefonía mediante las técnicas de muestreo, cuantificación y digitalización, se utilizaron tanto los sistemas basados en las normas de la UIT-T como las normas de los Laboratorios BELL, ambas trabajando a una velocidad de muestreo de 8000 muestras por segundo (+/- 50 ppm), utilizando para la codificación las denominadas Ley A y Ley μ con 7 u 8 dígitos binarios por muestra respectivamente.

De la misma manera que en el caso de la multiplexación por división de frecuencia, existen dos formas para obtener un grupo básico. Una es la recomendación G.732 UIT-T, que se la suele conocer como *norma europea*, que multiplexa 30 canales de voz, más dos de servicio, a una velocidad de 64000 bps por canal. La otra norma, desarrollada por los Laboratorios BELL, pero también estandarizada como Recomendación G.733 UIT-T, consiste en un sistema de 24 canales de voz, transmitidos a una velocidad de 56000 bps. Ésta norma es usada en los EEUU, Canadá, Japón y otros países asiáticos.

GRUPO BASICO PDH- E1: La norma de la UIT-T distribuye los 32 canales que forman la trama del grupo básico

La distribución de los canales es la siguiente:

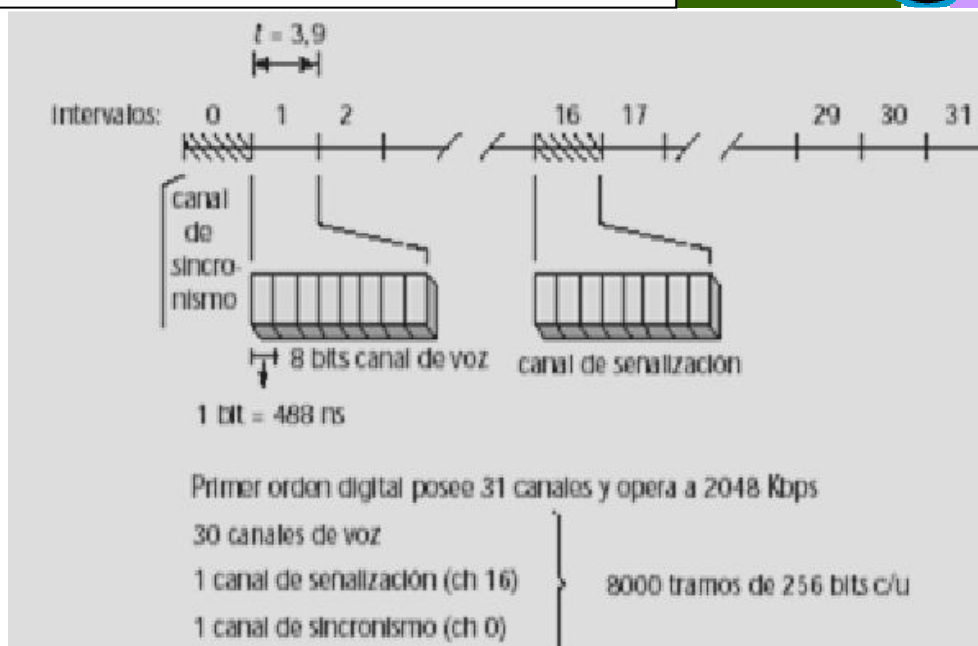


Ilustración 13: Distribución de canales-Sistema PCM 30

Las características principales de esta norma son:

Frecuencia de muestreo: 8000 Hz.

Número de bits/muestra: 8

Número de canales telefónicos: 30 (numerados del 1 al 30) Número de canales para señalización y sincronismo: 2

Velocidad de transmisión en el canal del grupo básico: 2,048 Mbps. Duración de la trama: 125 μ seg

Número de bits por trama: 256

Ley de compresión: Ley A

Número de segmentos de compresión: 13

Número de intervalos de tiempo por trama: 32

Valor del slot de tiempo del canal de 8 bits \Rightarrow 3,9 μ seg.

GRUPO BASICO PDH- T1: La norma de Laboratorios BELL conocida como sistema PCM 24, presenta la característica de que la información de señalización y sincronismo está incluida en el interior de la trama. Es la norma usada en los EEUU con canales que usan velocidades de 56000 bps.

Las características principales de esta norma son:

Frecuencia de muestreo: 8000 Hz.

Número de bits/muestra: 7

Número de canales telefónicos: 24

Velocidad de transmisión en el canal del grupo básico: 1,544 Mbps.

Duración de la trama: 125 μ seg.

Número de bits por trama: 193

Ley de Compresión: Ley μ .

Número de segmentos de compresión: 15

Número de intervalos de tiempo por trama: 24

Valor del slot de tiempo del canal de 8 bits \Rightarrow 5,2 μ seg.

Formato de la trama: 193 bits organizados en 24 conjuntos de 8 bits por canal, siete de datos y uno de señalización, lo que hace un total de 192 bits, más un bit (el bit 193), al final de la trama, denominado código de trama.

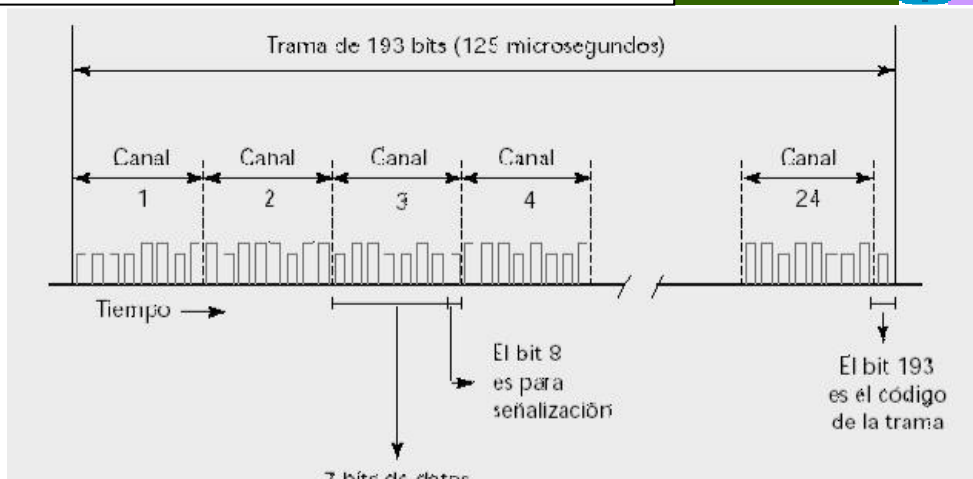


Ilustración 14: Distribución de canales- Sistema PCM 24

En particular se usan tres tipos de jerarquías de multiplexación, que se suelen conocer como norma europea, norma americana y norma japonesa. En la tabla siguiente se indican los primeros órdenes de multiplexación de la llamada norma europea, usada también en la mayoría de los países iberoamericanos.

Orden ¹	Velocidad de transmisión	Cantidad de bits por trama	Duración de la trama en μs
1	2,043 Mbps	256	125,00
2	8,443 Mbps	848	100,38
3	34,363 Mbps	1536	44,68
4	139,264 Mbps	2904	20,85
5	564,992 Mbps	2688	4,70

Ilustración 15: Jerarquía digital- Norma europea

En ésta norma, el grupo primario tiene una velocidad cuyo valor resulta una potencia del numero 2; el grupo de orden dos es generado por cuatro grupos de orden uno; el grupo de orden tres, por cuatro grupos de orden uno; y el grupo de orden cuatro se genera de forma similar.

Estos grupos u órdenes de multiplexación se suelen llamar E1, E2, etc., que significan *estándar europeo*.

También se ilustran los primeros órdenes de las normas americana y japonesa.

Se puede observar que la norma japonesa respeta en sus dos primeros órdenes la norma americana, pero difiere en la forma de armar los órdenes tres y cuatro. En estas normas, se suelen llamar a los distintos órdenes u grupos como T1, T2, T3, etc.

FIGURA 4.63 Jerarquía digital —Norma americana			
Orden ²	Velocidad de transmisión	Grupos de orden inferior	Nº de canales
1	1,544 Mbps		24
2	5,312 Mbps	4	96
3	44,735 Mbps	7	672
4	139,264 Mbps	3	2016

FIGURA 4.64 Jerarquía digital —Norma japonesa			
Orden ²	Velocidad de transmisión	Grupos de orden inferior	Nº de canales
1	1,544 Mbps		24
2	5,312 Mbps	4	96
3	32,064 Mbps	5	480
4	97,728 Mbps	3	1440

Ilustración 16: Jerarquía digital- Norma americana y norma japonesa



5.2) Los Sistemas de Multiplexación Sincrónica:

La concepción moderna de los sistemas de transmisión es adoptar un solo reloj para toda la red, y ello es posible con la denominada **Jerarquía Digital Sincrónica** (“**Synchronous Digital Hierarchy**”-SDH). También se conoce como **SONET** (“**Synchronous Optical Network**”), nombre originalmente propuesto por la firma de EEUU, Bell Communication ya que el uso que en principio se planeó para éste sistema, eran redes basadas en fibra óptica. Tanto en PDH como en SDH, el primer nivel corresponde al Grupo Básico de 2,048 Mbps. Las diferencias aparecen en los niveles superiores. En los sistemas plesiócronicos, la duración de las tramas varía en valores que van desde 4,7576 μ seg. para el caso de un sistema que funciona a 564,992 Mbps (correspondiente a un grupo quinario), hasta el valor de 125 μ seg. para el Grupo Básico.

En los sistemas sincrónicos, puesto que todas las tramas tienen una duración de 125 μ seg., al aumentar la cantidad de información que éstas deben transportar, la velocidad en bps. irá aumentando progresivamente según el nivel N de multiplexación que se esté usando. Al mantener constante en todos los casos la duración de la trama, el sistema estará siempre sincronizado en todos los niveles jerárquicos.

En PDH, debido a la naturaleza del propio sincronismo de éste tipo de multiplexación, si se quiere acceder por ejemplo desde un orden superior a una señal del Grupo Primario de 2,048 Mbps, toda la estructura de la señal de línea debe demultiplexarse etapa por etapa, hasta llegar al nivel deseado antes señalado. (Ésta característica se conoce como ausencia de “flexibilidad” en la multiplexación). Es una gran limitación de los sistemas plesiócronicos la imposibilidad de pasar directamente de por ejemplo, la velocidad de un Grupo Cuaternario, a la de un Grupo Primario.

Otras limitaciones de los sistemas plesiócronicos:

- Alto costo por la falta de flexibilidad.
- La multiplexación es asincrónica (distintos relojes, según el nivel de multiplexación).
- Baja capacidad de control y mantenimiento.
- Distintas estructuras de tramas para cada orden jerárquico.
- Sistemas propietarios, dado que las informaciones que transporta la trama, tales como datos para la operación, control de la tasa de errores (BER), canales de servicios, entre otros, dependen del diseño de la empresa que fabrica los equipos multiplexores.
- Solamente tienen aplicación en redes interurbanas e internacionales de largo recorrido.

En SDH/SONET, las principales ventajas respecto a PDH son:

- Procedimientos simplificados para multiplexación y demultiplexación; incluso poseen capacidad para llegar con bajas velocidades al propio domicilio de un usuario.
- Poseen sincronización única en toda la red.
- Transportan sus propias señales (sincrónicas), y las señales asincrónicas multiplexadas mediante la Jerarquía Digital Plesiócrona, en todas las normas (europeas, japonesas y americanas).
- Incluyen información en sus tramas que le permiten realizar funciones de control, administración, gestión, etc. En toda la red; y hasta poseen capacidad sobrante en las tramas para futuras aplicaciones.
- Pueden transportar señales de banda ancha, tales como las que corresponden a otros tipos de sistemas de transmisión, como ATM (“Asynchronous Transfer Mode”- Modo de Transferencia Asíncrono), DQDB (“Dual Queue Dual Bus”-Doble Cola sobre Doble Bus), FDDI (“Fiber Distributed Data Interface”-Interface de Datos Distribuidos por Fibra), entre otros posibles.
- Se pueden usar en redes interurbanas e internacionales de largo recorrido, y también en redes urbanas por su capacidad de poder formar redes en anillo.