



Capítulo 6

Utilización del ancho de banda: Multiplexación y Ensanchado



Nota

La utilización del ancho de banda es el buen uso del ancho de banda disponible para conseguir unos objetivos específicos.

La eficiencia se puede conseguir mediante la multiplexación; la intimidad y la eliminación de las interferencias se puede conseguir mediante el ensanchado.

6-1 MULTIPLEXACIÓN

Siempre que el ancho de banda de un medio que enlaza dos dispositivos es mayor que el ancho de banda que necesitan los dispositivos, el enlace se puede compartir. La multiplexación es el conjunto de técnicas que permiten la transmisión simultánea de múltiples señales a través de un único enlace de datos.

A medida que se incrementa el uso de los datos y las telecomunicaciones, se incrementa también el tráfico.

Temas a tratar en esta sección:

Multiplexación por división de frecuencia.

Multiplexación por división de longitud de onda (WDM)

Multiplexación síncrona por división del tiempo

Figura 6.1 *División de un enlace en canales.*

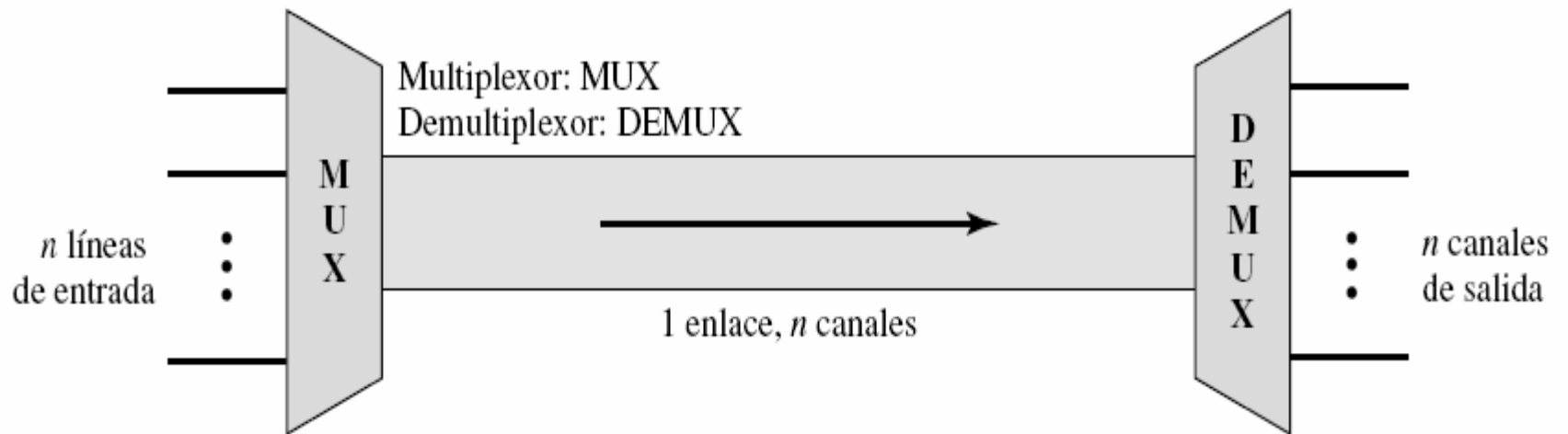


Figura 6.2 *Categorías de multiplexación.*

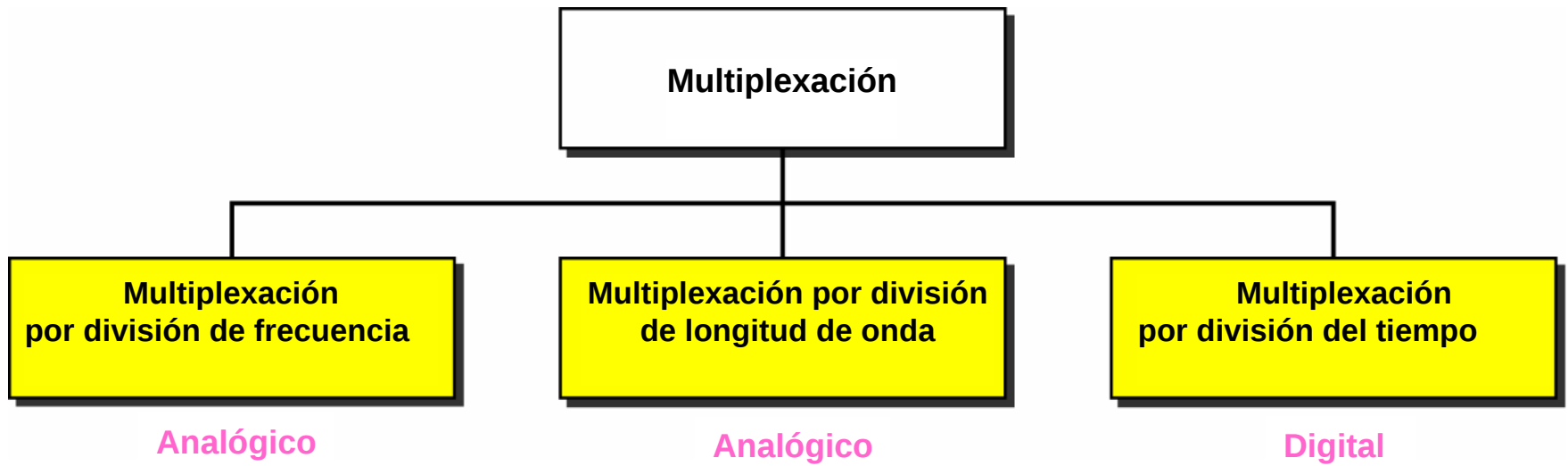
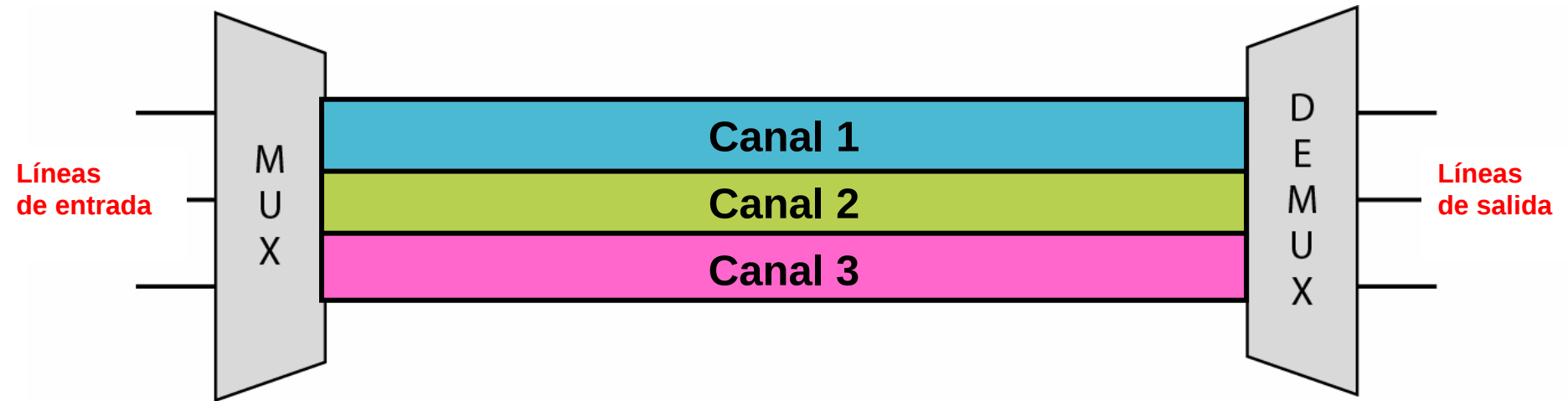


Figura 6.3 *Multiplexación por división de frecuencia.*





Nota

FDM es una técnica de multiplexación analógica que combina señales analógicas.

Figura 6.4 *Proceso de multiplexación FDM*

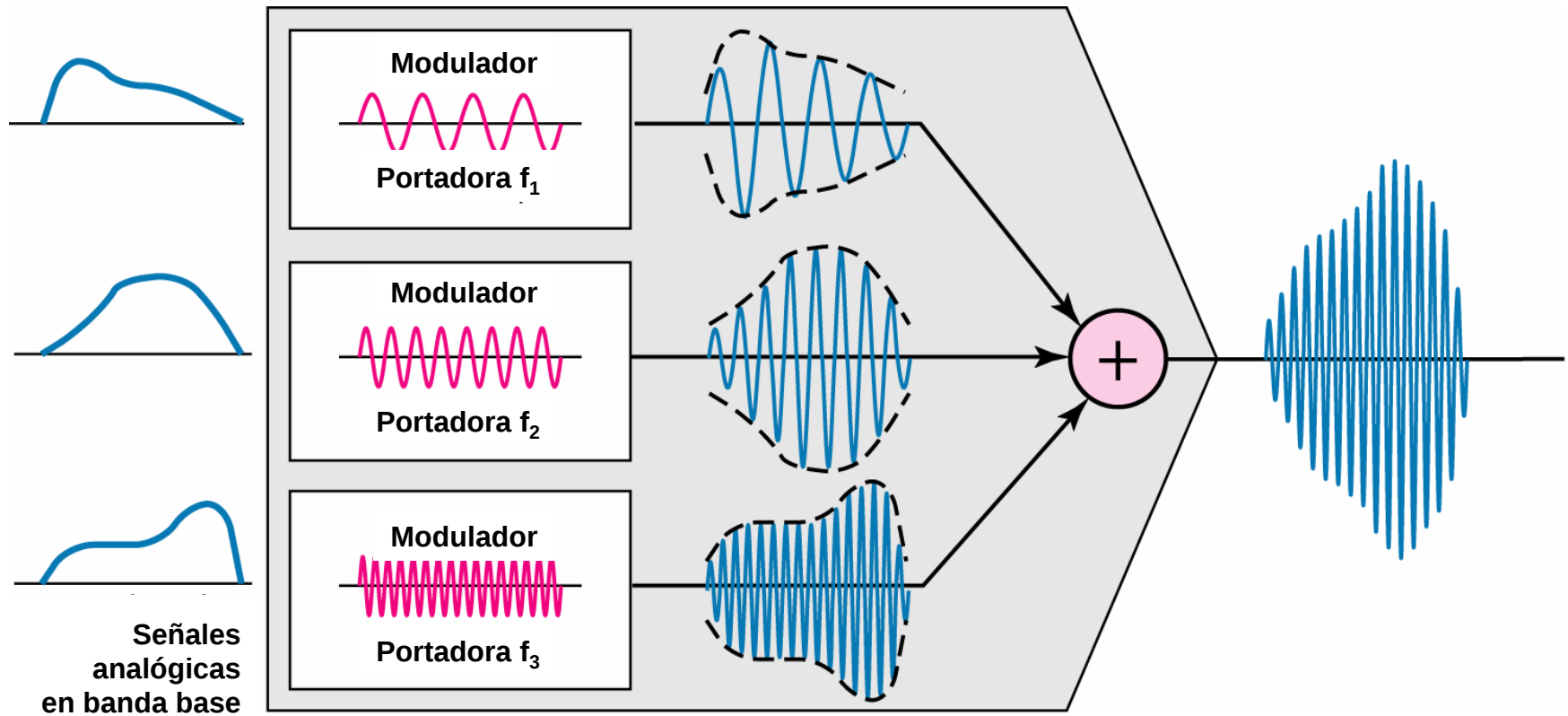
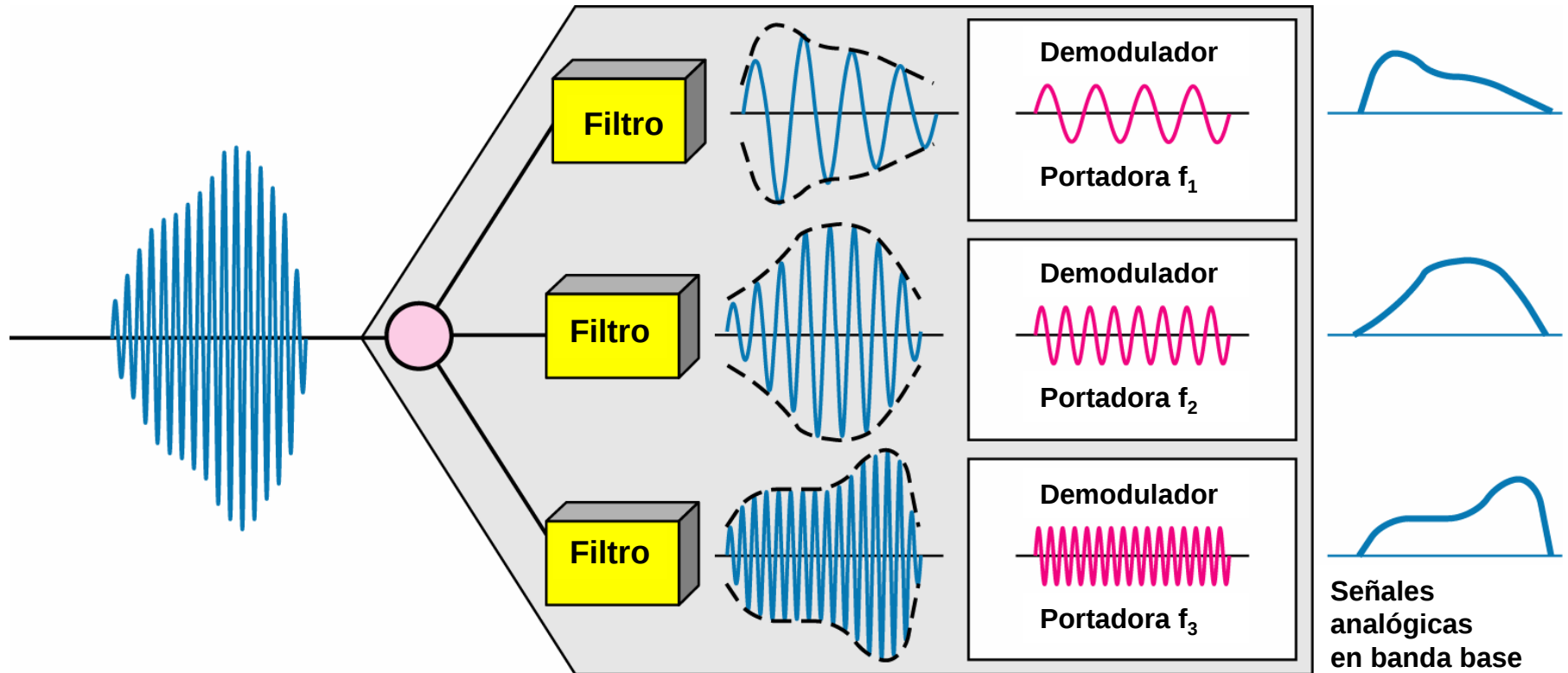


Figura 6.5 *Ejemplo de demultiplexación FDM*





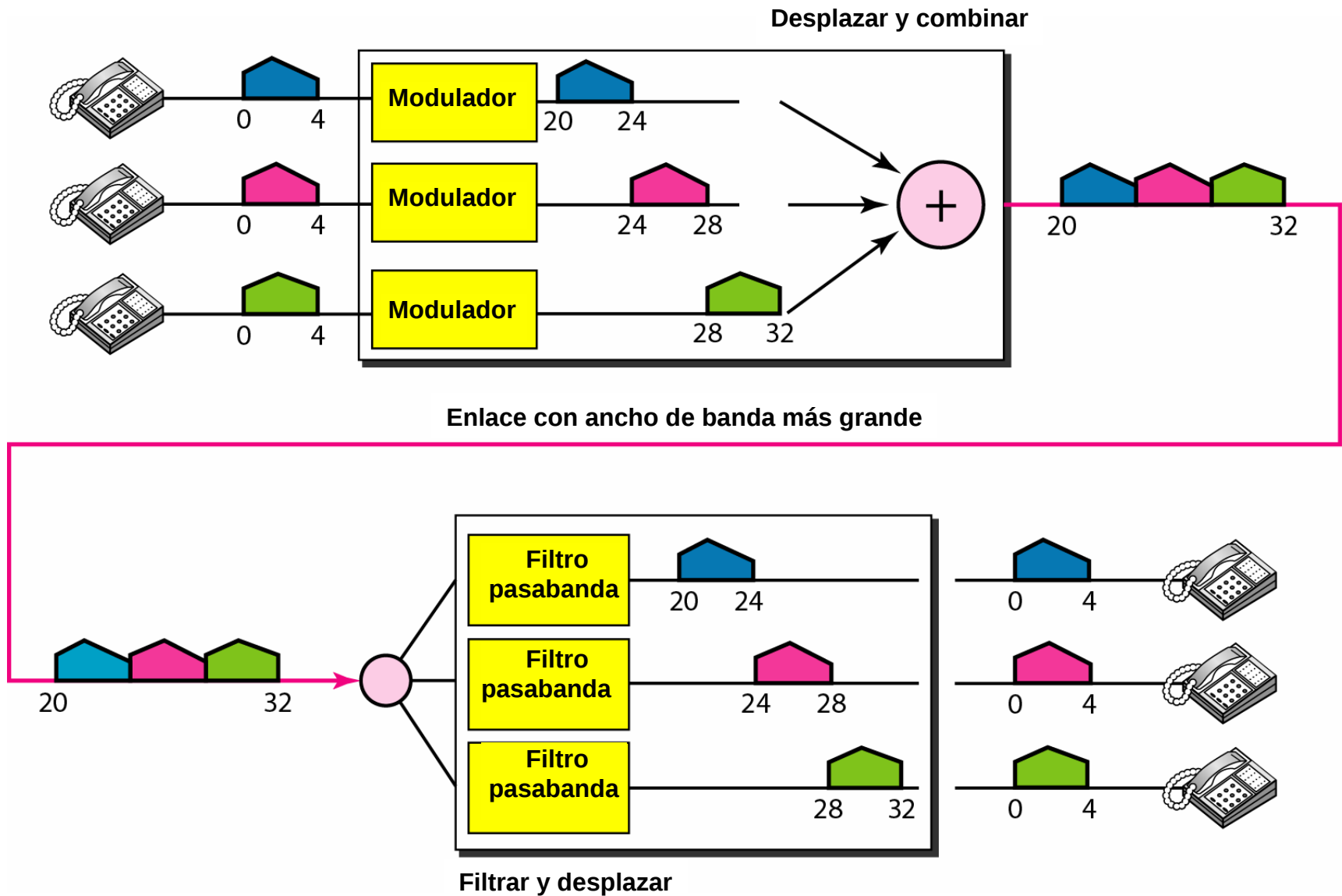
Ejemplo 6.1

Asuma un canal de voz que ocupa un ancho de banda de 4 KHz. se necesita combinar tres canales de voz en un enlace con un ancho de banda de 12 KHz, de 20 a 32 KHz. Muestre la configuración utilizando el dominio de frecuencia. Asuma que no hay bandas de guarda.

Solución

Se desplaza (modula) cada uno de los tres canales de voz a un ancho de banda diferente como se muestra en la Figura 6.6. Se utiliza el ancho de banda de 20 a 24 KHz para el primer canal, el ancho de banda de 24 a 28 KHz para el segundo y el ancho de banda de 28 a 32 KHz. Luego se combinan como se muestra en la figura 6.6.

Figura 6.6 *Ejemplo 6.1*





Ejemplo 6.2

Cinco canales, cada uno con un ancho de banda de 100 KHz, son multiplexados juntos. ¿Cuál es el ancho de banda del enlace si se necesita una banda de guarda de 10 KHz entre los canales para evitar interferencias?

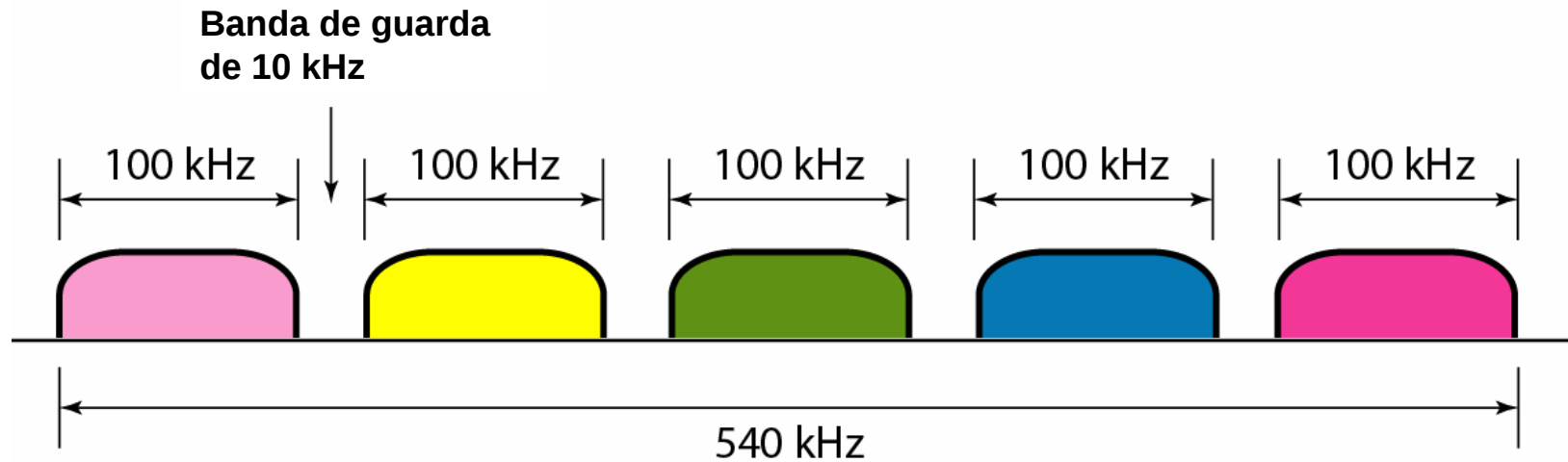
Solución

Para cinco canales, se necesitan al menos cuatro bandas de guarda. Esto significa que el ancho de banda requerido es al menos

$$5 \times 100 + 4 \times 10 = 540 \text{ KHz,}$$

como se muestra en la Figura 6.7.

Figura 6.7 *Ejemplo 6.2*





Ejemplo 6.3

Para cuatro canales de datos (digitales), cada uno transmitido a 1 Mbps, se utiliza un canal de satélite de 1 MHz. Diseñe una configuración apropiada utilizando FDM.

Solución

El canal de satélite es analógico. se divide en cuatro canales, cada uno de 250 KHz de ancho de banda. Cada canal digital de 1 Mbps es modulado de forma que 4 bits se modulen a 1 Hz. Una solución es utilizar la modulación 16-QAM. La Figura 6.8 muestra una configuración posible.

Figura 6.8 *Ejemplo 6.3*

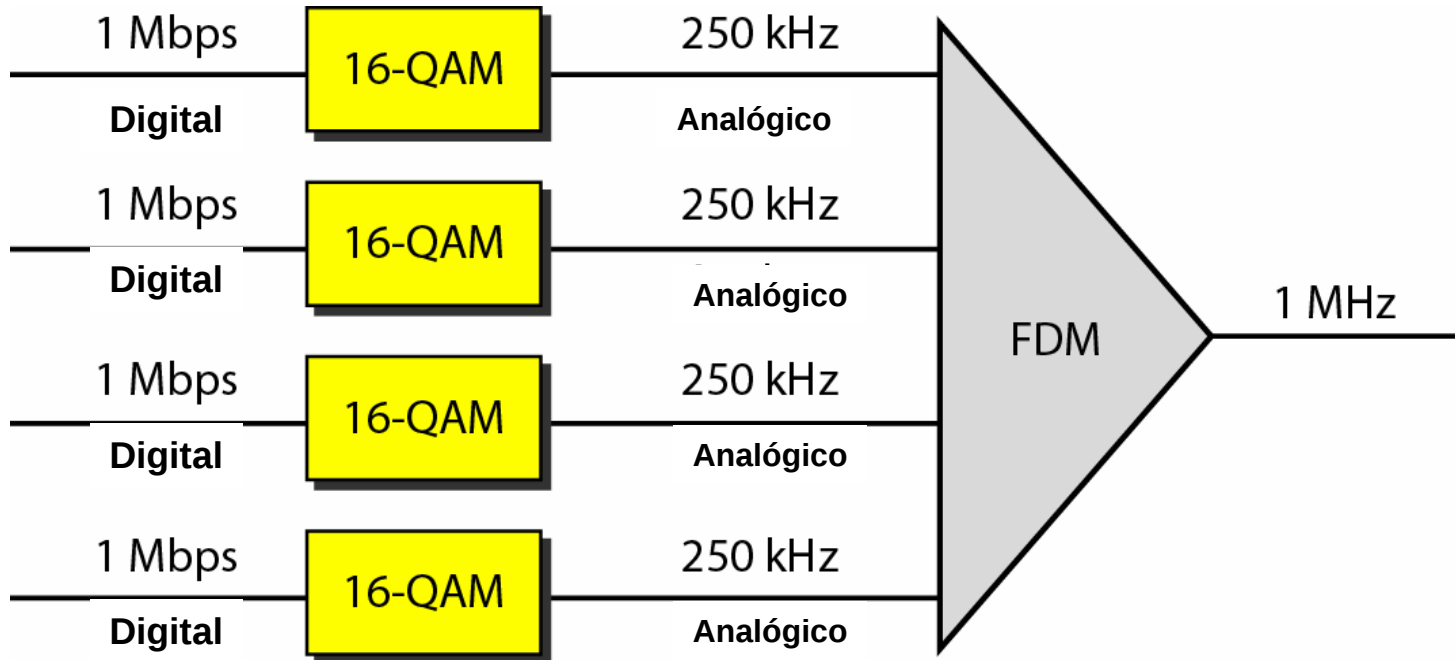
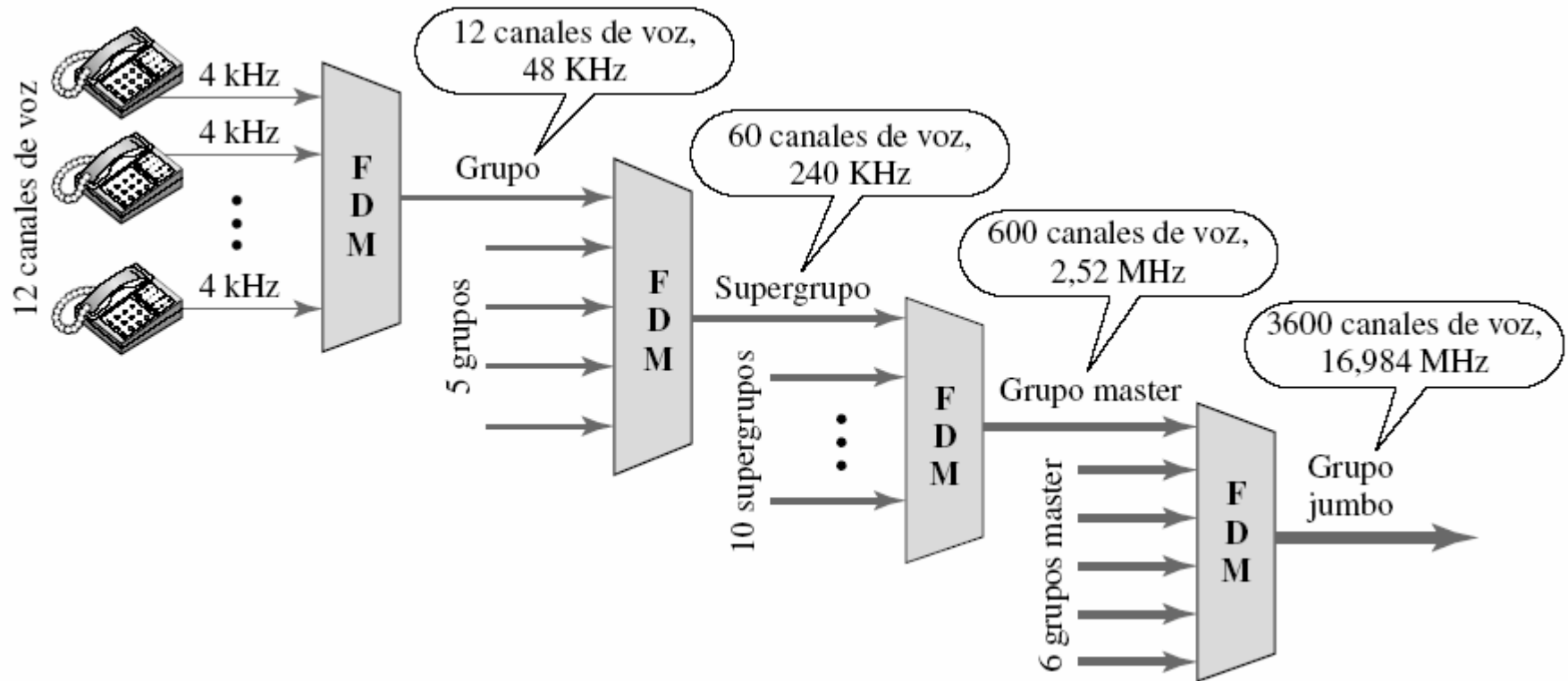


Figura 6.9 *Jerarquía analógica.*





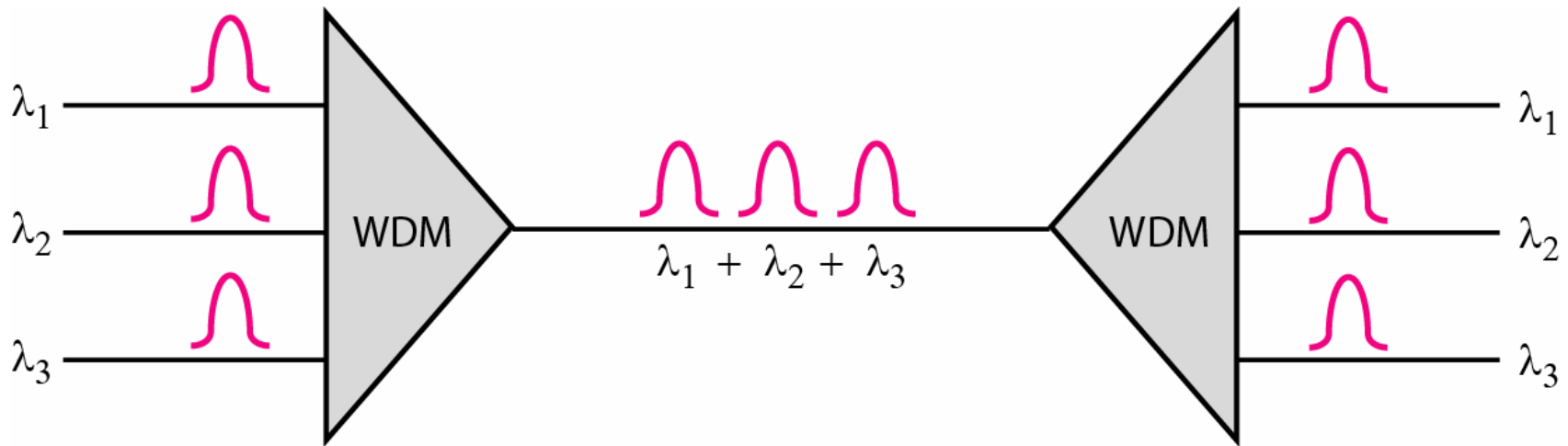
Ejemplo 6.4

El sistema de teléfonos móviles avanzado (AMPS) utiliza dos bandas. la primera banda de 824 a 849 MHz se utiliza para el envío, y la de 869 a 894 MHz para la recepción. Cada usuario tiene un ancho de banda de 30 KHz en cada dirección. La voz de 3 KHz se modula utilizando FM, que crea una señal modulada de 30 KHz. ¿Cuánta gente puede utilizar sus teléfonos móviles simultáneamente?

Solución

Cada banda es de 25 MHz. Si se divide 25 MHz entre 30 KHz, se obtiene 833.33. En realidad, la banda se divide en 832 canales. De estos, 42 canales se utilizan para control, lo que significa que sólo 790 canales están disponibles para los usuarios AMPS se tratará en detalle en el capítulo 16.

Figura 6.10 *Multiplexación por división de longitud onda.*





Nota

WDM es una técnica de multiplexación analógica que combina señales ópticas.

Figura 6.11 *Los prismas en la multiplexación y demultiplexación WDM.*

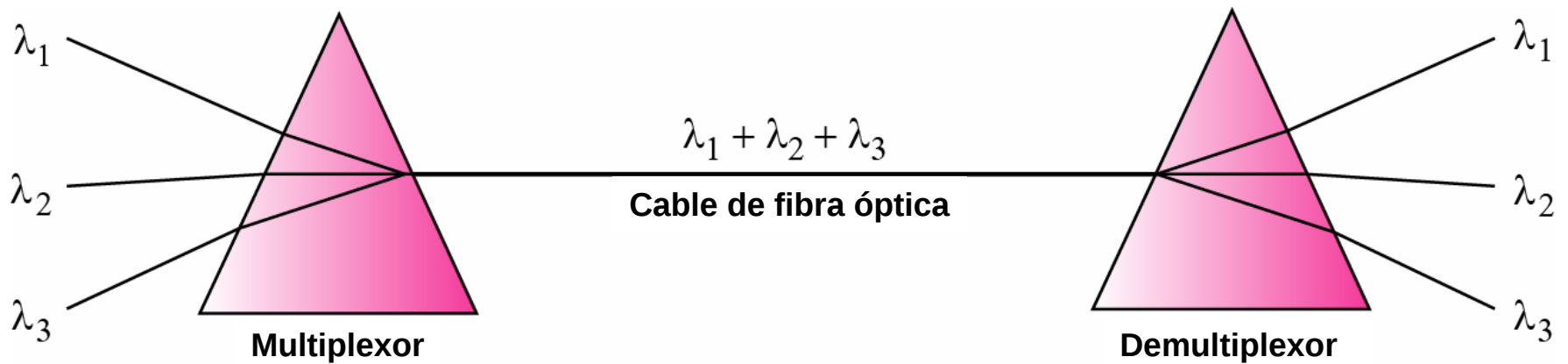
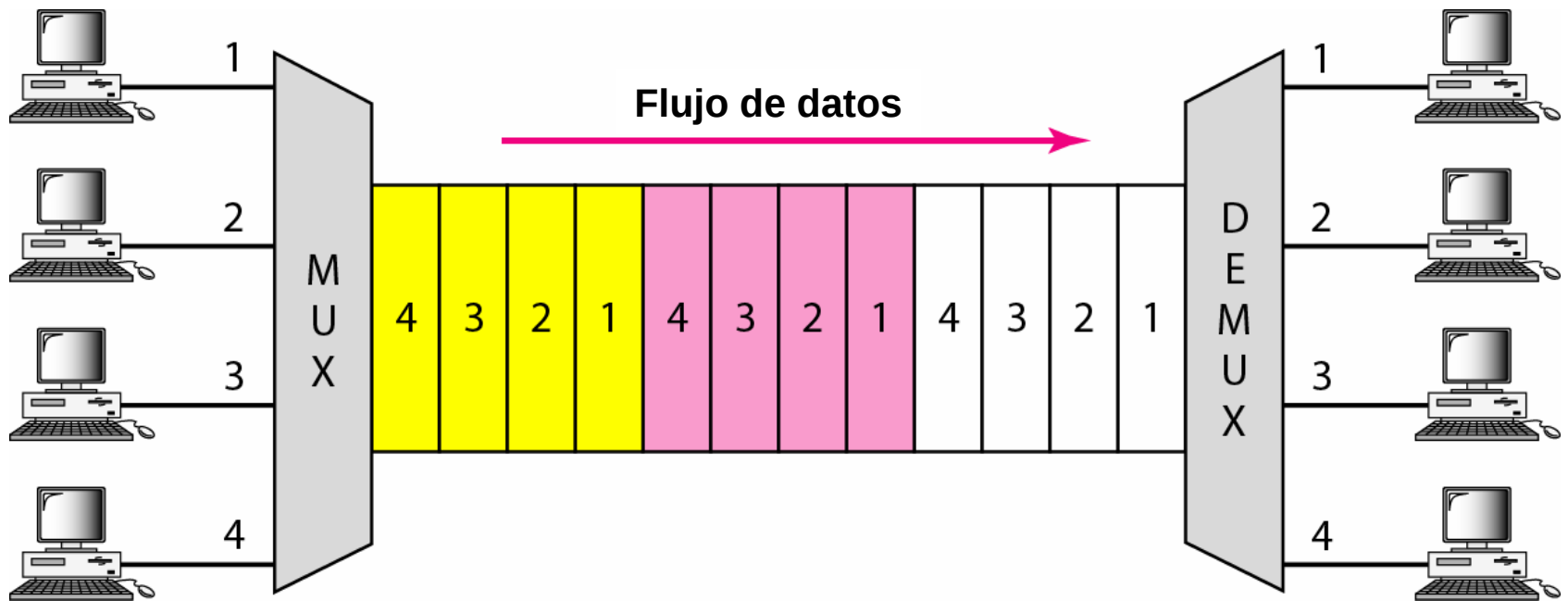


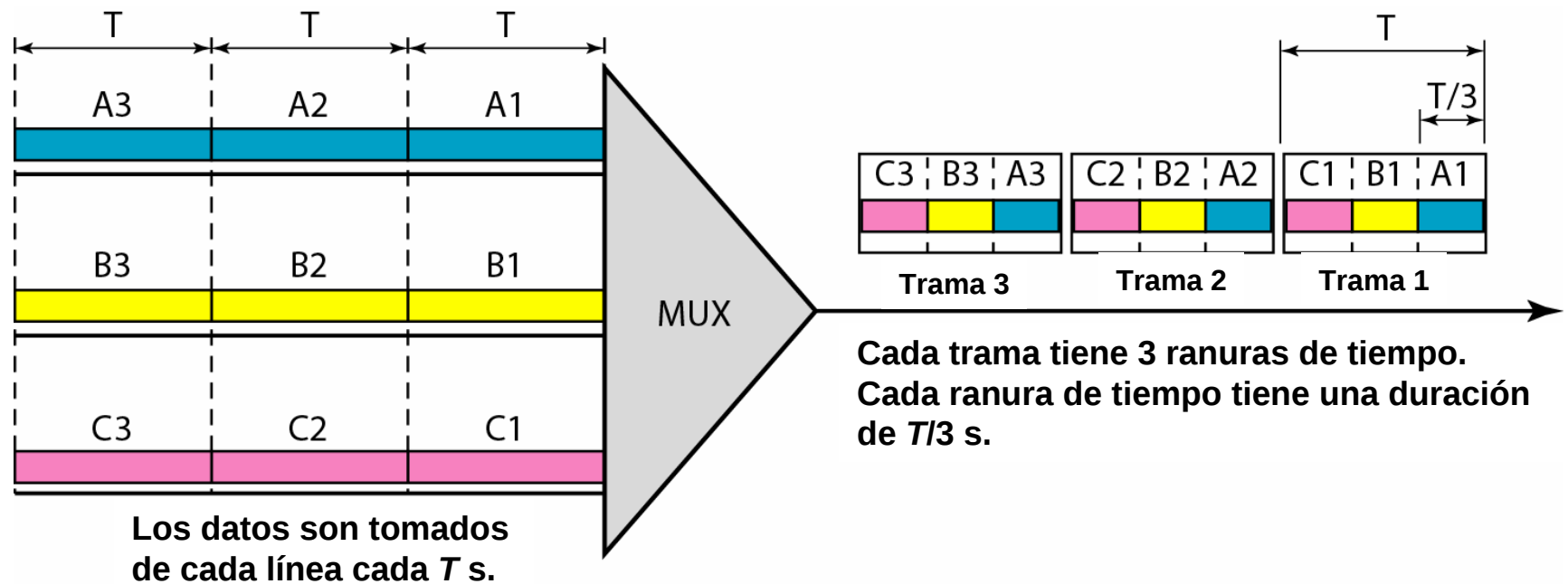
Figura 6.12 *TDM*



Nota

TDM es una técnica de multiplexación digital que combina varios canales de baja tasa en uno de alta tasa..

Figure 6.13 *Multiplexación síncrona por división del tiempo.*



Nota

En TDM síncrona, la tasa de datos en el enlace es n veces más rápida, y la duración de la unidad es n veces más corta.



Ejemplo 6.5

En la Figura 6.13, la tasa de datos para cada conexión de entrada es de 3 kbps. si la unidad de multiplexación es 1 bit, ¿Cuál es la duración de (a) cada ranura de tiempo, (b) cada ranura de salida y (c) cada trama??

Solución

Se puede responder a estas preguntas de la siguiente forma:

- a.** *La tasa de datos para cada entrada es de 1 kbps. Esto significa que la duración de un bit es $1/1000$ s o 1 ms. La duración de la ranura de tiempo de entrada es 1 ms (la misma que la duración de 1 bit).*



Ejemplo 6.5 (continuación)

- b. La duración de cada ranura de tiempo en la salida es la tercera parte de la ranura de tiempo en la entrada. Esto significa que la duración de la ranura de tiempo en la salida es $1/3$ ms.***
-
- c. Cada trama transporta tres ranuras de tiempo. Por tanto, la duración de una trama es $3 \times 1/3$ ms o 1 ms. la duración de una trama es la misma que la duración de una unidad de entrada.***



Ejemplo 6.6

La Figura 6.14 muestra TdM síncrona con un flujo de datos para cada entrada y un flujo de datos para la salida. La unidad de datos es 1 bit. Encuentre: (a) la duración de un bit en la entrada, (b) la duración de un bit en la salida, (c) la tasa de bits de salida y (d) la tasa de tramas de salida.

Solución

Se puede responder a estas preguntas de la siguiente forma:

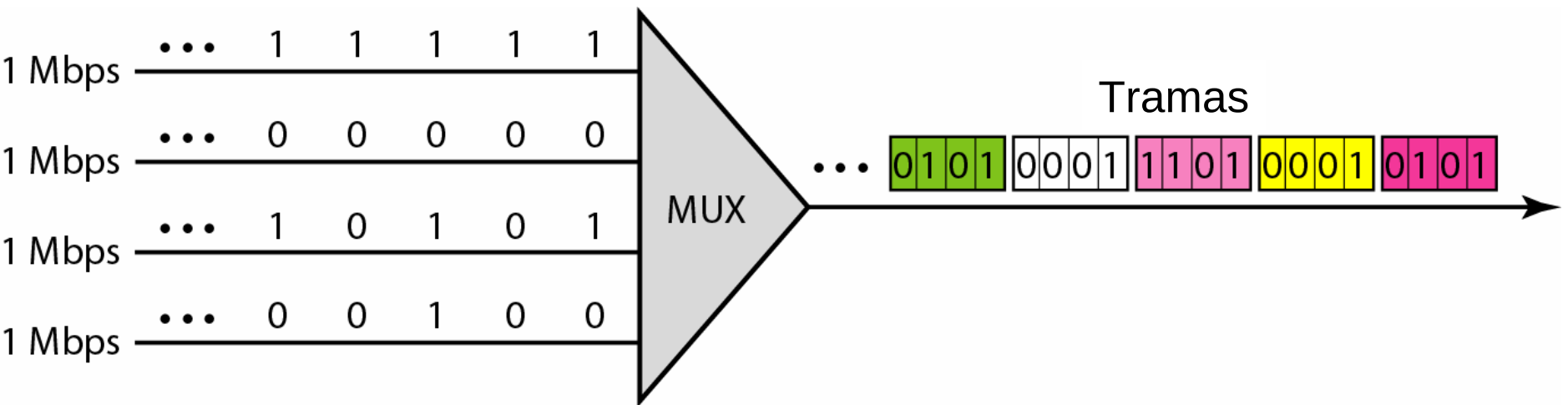
- a.** La duración de un bit de entrada es el inverso de la tasa de bits: $1/1 \text{ Mbps} = 1 \text{ microsegundo}$.*
- b.** La duración de un bit de salida es la cuarta parte de la duración del bit de entrada $\frac{1}{4} \text{ microsegundo}$.*



Ejemplo 6.6 (continuación)

- c.** *La tasa de bits de salida es la inversa de la duración del bit de salida o 1/4 microsegundos o 4 Mbps. Esto se puede deducir también del hecho de que la tasa de salida es 4 veces mayor que la tasa de entrada; por tanto la tasa de salida es $4 \times 1 \text{ Mbps} = 4 \text{ Mbps}$.*
- d.** *La tasa de tramas siempre es la misma que la tasa de entrada. Por tanto la tasa de tramas es 1.000.000 tramas por segundo. Debido a que se envían 4 bits en cada trama, se puede verificar el resultado de la pregunta anterior multiplicando la tasa de tramas por el número de bits por trama.*

Figura 6.14 *Ejemplo 6.6*





Ejemplo 6.7

Cuatro conexiones de 1 kbps se multiplexan juntas. Una unidad es 1 bit. Encuentre (a) la duración de 1 bit antes de la multiplexación, (b) la tasa de transmisión del enlace, (c) la duración de una ranura de tiempo y (d) la duración de la trama.

Solución

Se puede responder a las preguntas anteriores de la siguiente forma:

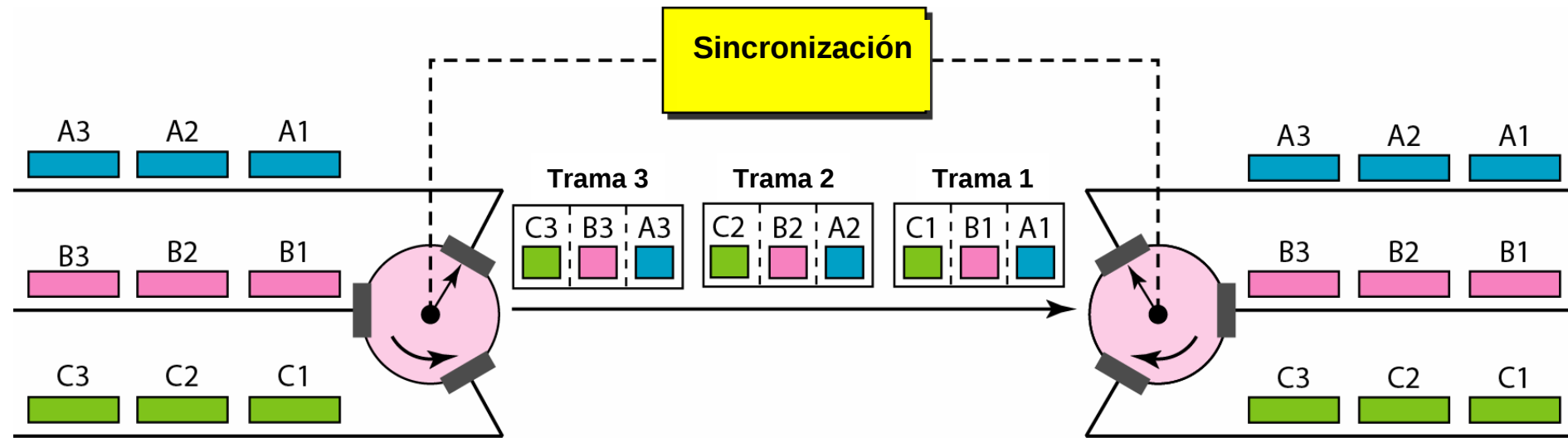
- a.** La duración de 1 bit antes de la multiplexación es 1/1 kbps o 0,001 s (1 ms).*
- b.** La tasa del enlace es 4 veces la tasa de una conexión o 4 kbps.*



Ejemplo 6.7 (continuación)

- c.** *La duración de cada ranura de tiempo es la cuarta parte de la duración de cada bit antes de la multiplexación, o $1/4$ ms o 250 microsegundos. observe que también se puede calcular esto a partir de la tasa de datos del enlace, 4 kbps. la duración del bit es la inversa de la tasa de datos o $1/4$ ms o 250 microsegundos.*
- d.** *La duración de una trama es siempre la duración de una unidad antes de la multiplexación o 1 ms. También se puede calcular esto de otra forma. Cada trama en este caso tiene cuatro ranuras de tiempo. Por tanto la duración de una trama es 4 veces 250 microsegundos o 1 ms.*

Figura 6.15 *Entrelazado*





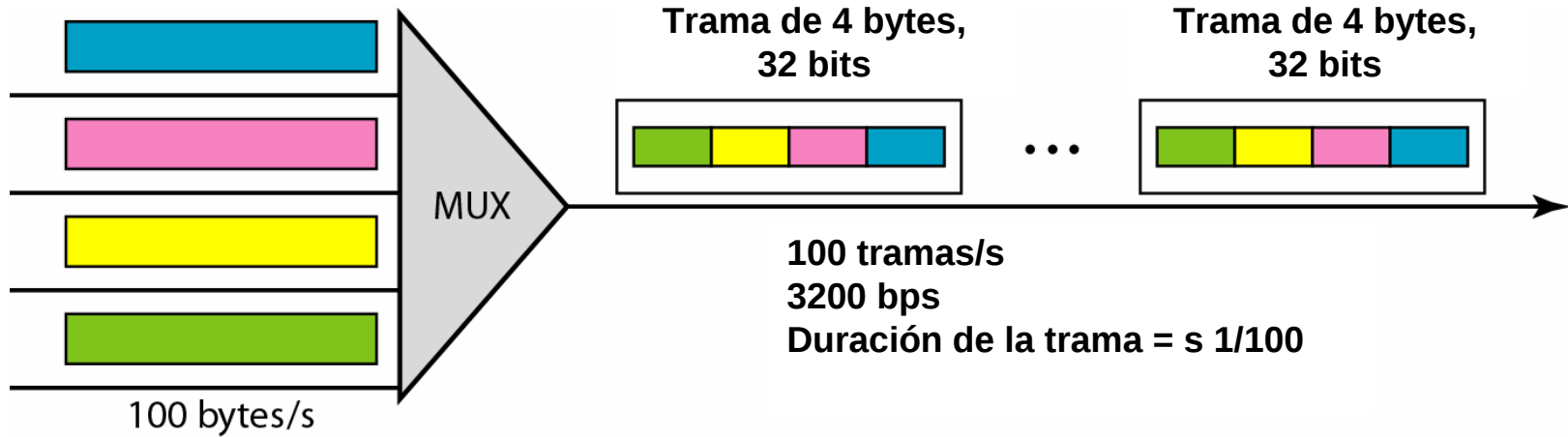
Ejemplo 6.8

Se multiplexan cuatro canales utilizando TDM. si cada canal envía 100 bytes/s y se multiplexa 1 byte por canal, muestre la trama que viaja por el enlace, el tamaño de la trama, la duración de la trama, la tasa de tramas y la tasa de bits para el enlace.

Solución

El multiplexor se muestra en la Figura 6.16. Cada trama transporta 1 byte de cada canal; el tamaño de cada trama es, por tanto, de 4 bytes o 32 bits. debido a que cada canal envía 100 bytes/s y una trama transporta 1 byte para cada canal, la tasa de tramas debe ser 100 tramas por segundo. la duración de una trama es, por tanto, $1/100$ s. El enlace transporta 100 tramas por segundo, y puesto que cada trama contiene 32 bits, la tasa de bits es de $100 \times 32 = 3200$ bps. Esto es cuatro veces la tasa de bit de cada canal, que es $100 \times 8 = 800$ bps.

Figura 6.16 *Ejemplo 6.8*





Ejemplo 6.9

Un multiplexor combina cuatro canales de 100 kbps utilizando una ranura de tiempo de 2 bits. Muestre la salida con cuatro entradas cualesquiera. ¿Cuál es la tasa de tramas? ¿Cuál es la duración de la trama? ¿Cuál es la tasa de bits? ¿Cuál es la duración del bit?

Solución

La Figura 6.17 muestra la salida para cuatro entradas cualesquiera. El enlace transporta 50.000 tramas por segundo. La duración de la trama es por tanto $1/50.000$ s o 20 microsegundos. La tasa de tramas es de 50.000 tramas por segundo y cada trama transporta 8 bits; la tasa de bits es de $50.000 \times 8 = 400.000$ bits o 400 kbps. La duración de un bit es de $1/400,000$ s o 2.5 microsegundos.

Figura 6.17 *Ejemplo 6.9*

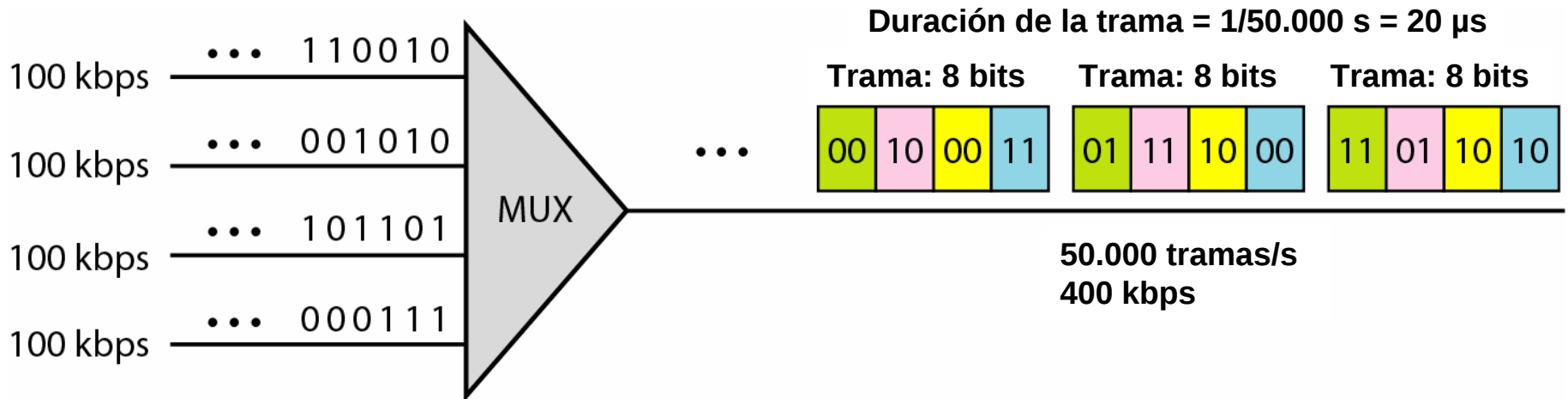


Figura 6.18 *Ranuras vacías*

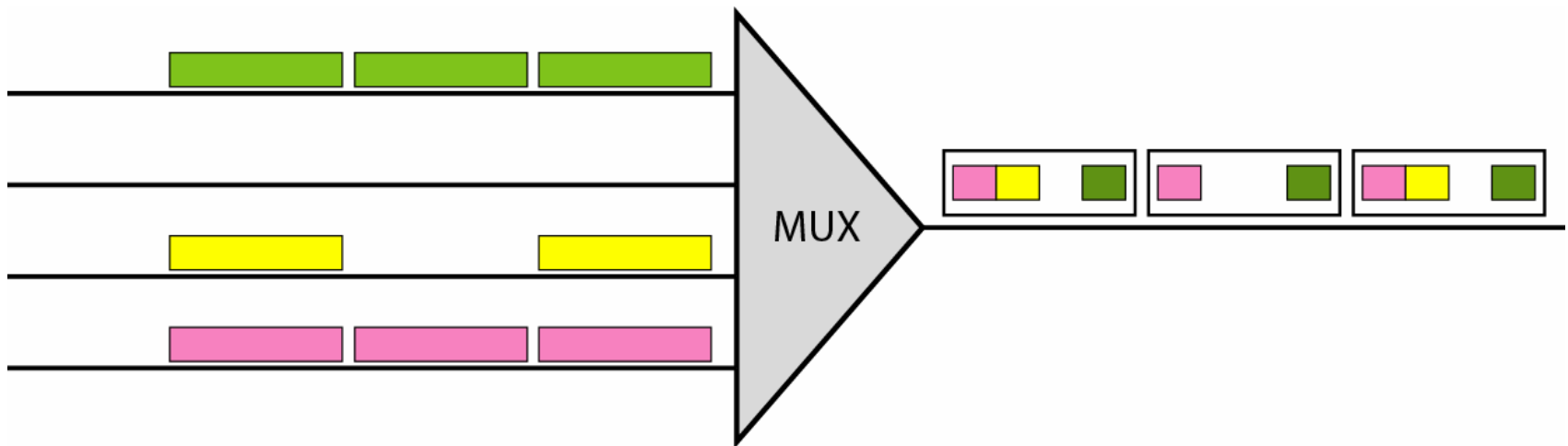


Figura 6.19 *Multiplexación multinivel.*

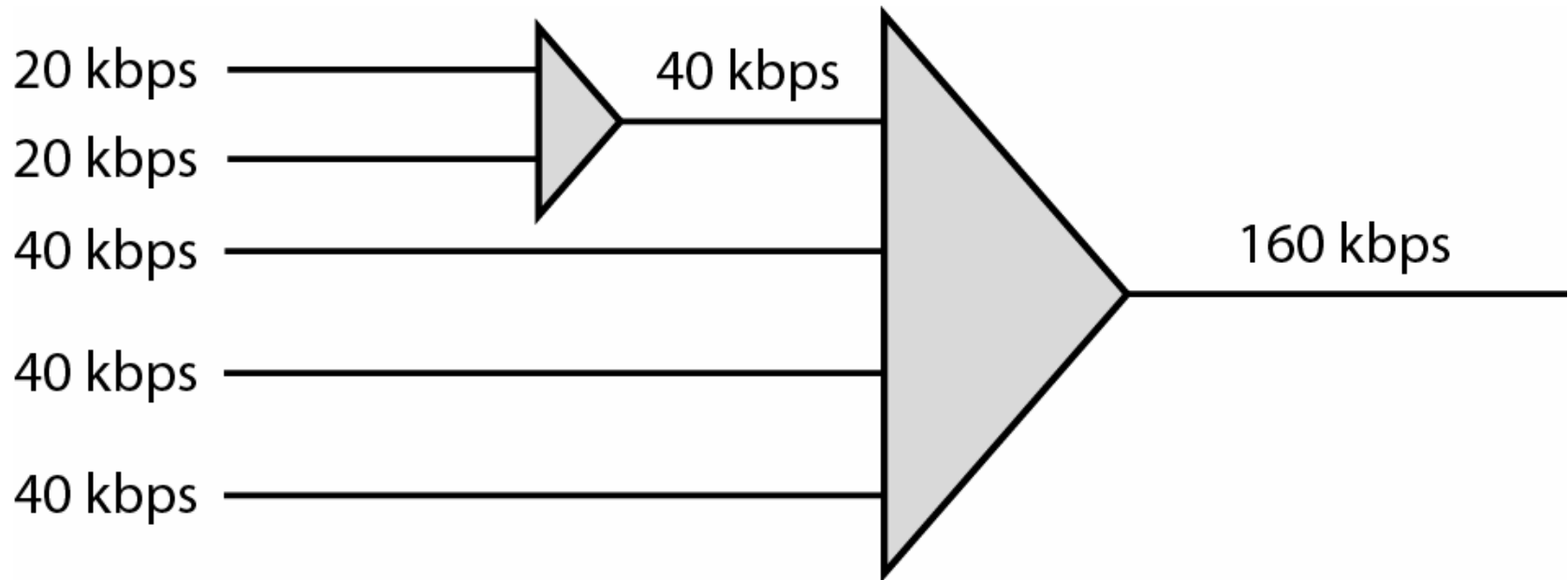


Figura 6.20 *Multiplexación con múltiples ranuras*

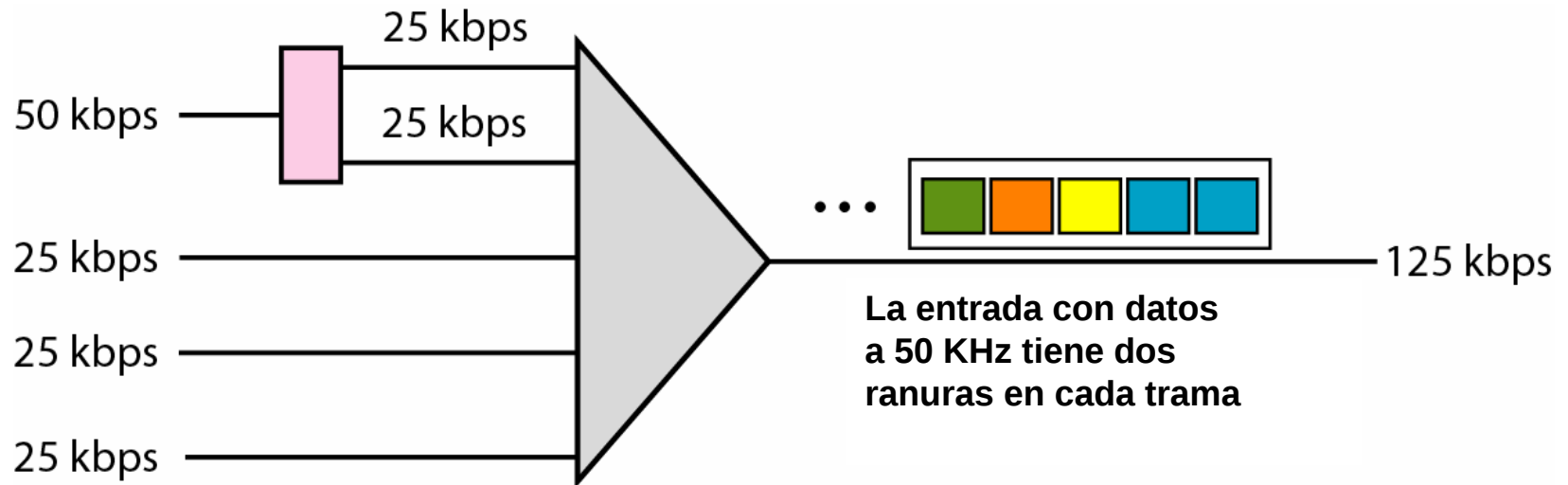


Figura 6.21 *Inserción de pulsos*

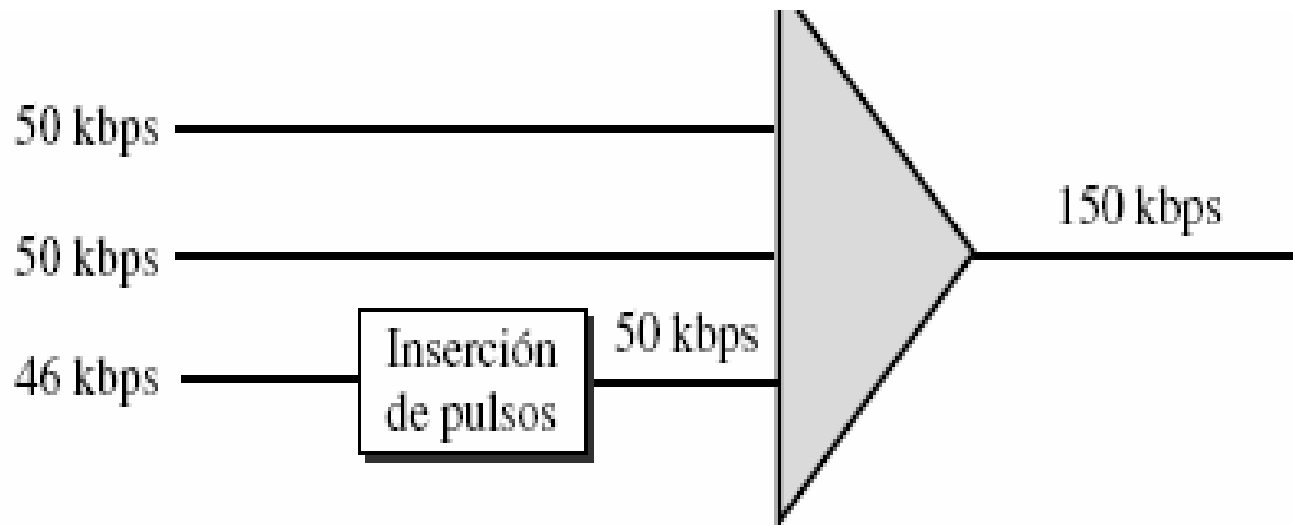
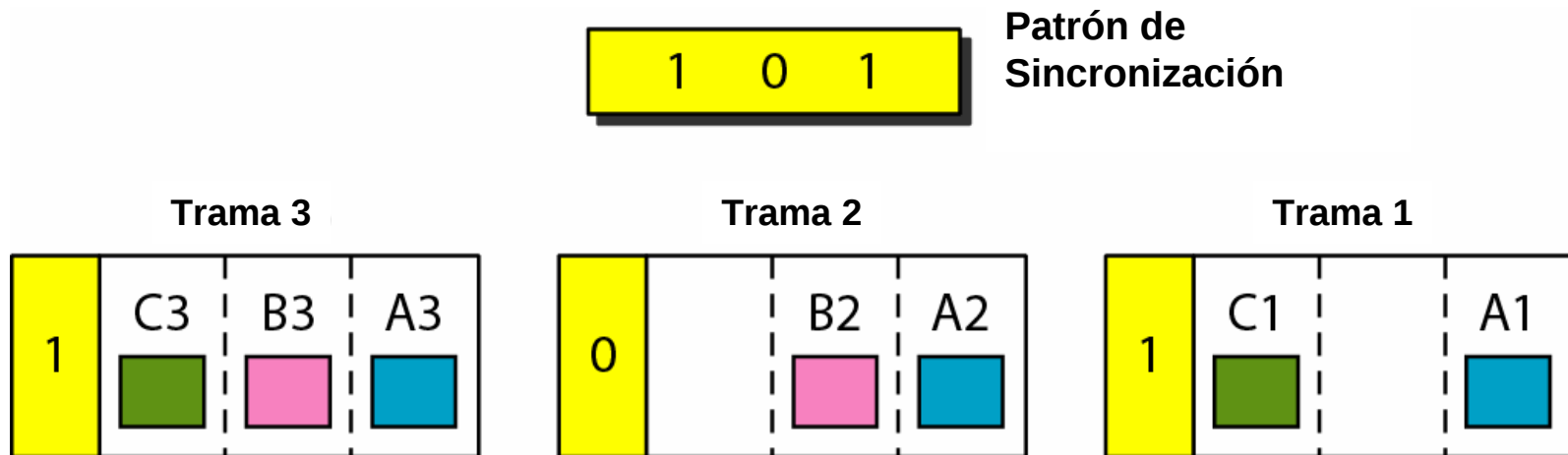


Figura 6.22 *Bits de tramado*





Ejemplo 6.10

*Hay cuatro fuentes, cada una de las cuales crea 250 caracteres por segundo. si la unidad de entrelazado es un carácter y se añade un bit de sincronización a cada trama, encuentre(**a**) la tasa de datos de cada fuente, (**b**) la duración de cada carácter en cada fuente, (**c**) la tasa de tramas, (**d**) la duración de cada trama, (**e**) el número de bits en cada trama (**f**) la tasa de datos del enlace.*

Solución

Se puede responder a las preguntas de la siguiente forma:

a. *La tasa de datos para cada fuente es $250 \times 8 = 2000$ bps = 2 kbps.*

Ejemplo 6.10 (continuación)

- b.** *Cada fuente envía 250 caracteres por segundo, por tanto, la duración de un carácter es $1/250$ s o 4 ms.*
- c.** *Cada trama tiene un carácter de cada fuente, lo que significa que el enlace necesita enviar 250 tramas por segundo para asegurar la tasa de transmisión de cada fuente..*
- d.** *La duración de cada trama es $1/250$ s o 4 ms. Observe la duración de cada trama es la misma que la duración de cada carácter procedente de cada fuente.*
- e.** *Cada trama transporta 4 caracteres y 1 bit extra de sincronización. Esto significa que cada trama tiene:
 $4 \times 8 + 1 = 33$ bits.*



Ejemplo 6.11

Se multiplexan dos canales, uno con una tasa de 100 kbps y otro con una tasa de 200 kbps. ¿Cómo se puede conseguir? ¿Cuál es la tasa de tramas? ¿Cuál es la duración de la trama? ¿Cuál es la tasa de bits del enlace?

Solución

Se puede asignar una ranura al primer canal y dos ranuras al segundo canal. Cada trama transporta 3 bits. La tasa de trama es de 100.000 tramas por segundo porque transporta 1 bit del primer canal. la duración de la trama es $1/100.000$ s o 10 ms. la tasa de bits es 100.000 tramas/s $\times$ 3 bits por trama, o 300 kbps.

Figura 6.23 *Jerarquía digital*

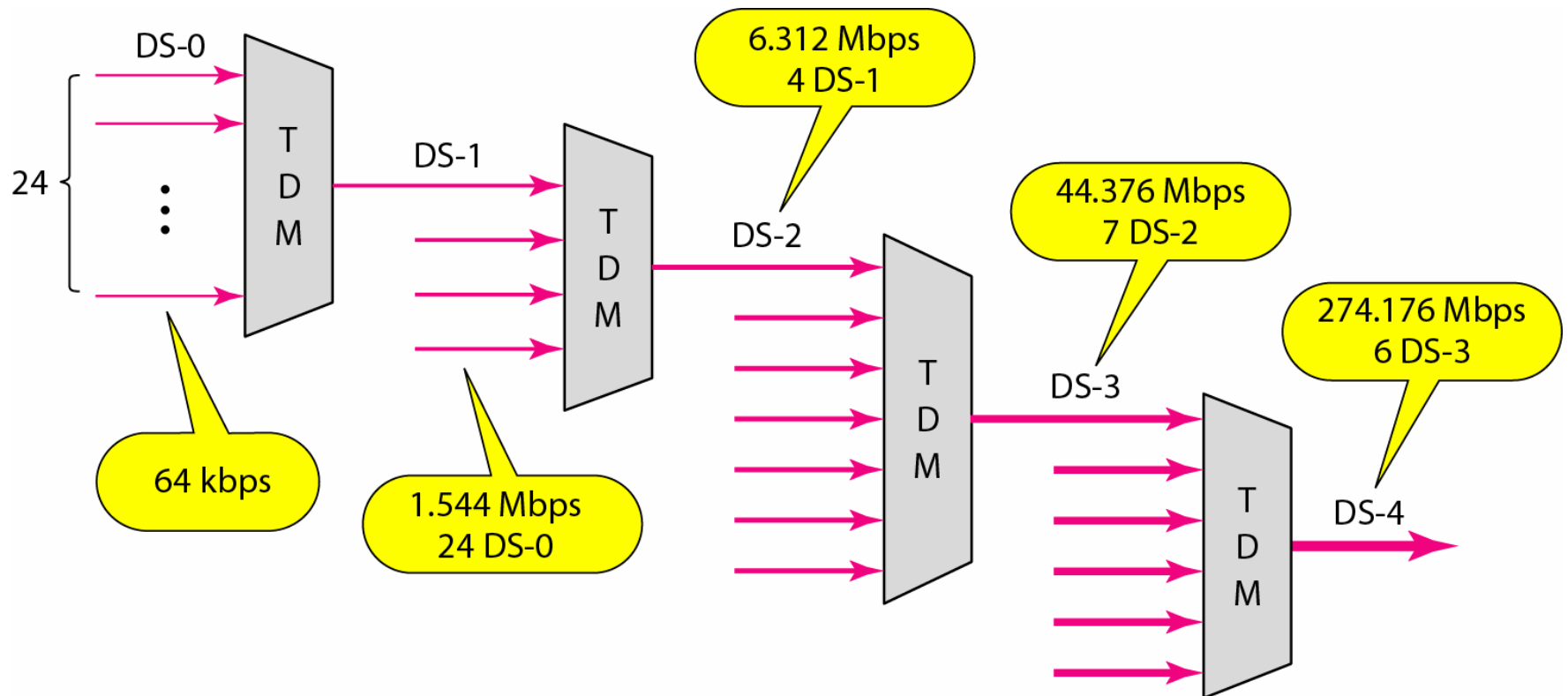


Tabla 6.1 *DS y tasas de líneas T*

<i>Servicio</i>	<i>Línea</i>	<i>Tasa (Mbps)</i>	<i>Canales de voz</i>
DS-1	T-1	1,544	24
DS-2	T-2	6,312	96
DS-3	T-3	44,736	672
DS-4	T-4	274,176	4032

Figura 6.24 *Línea T-1 para multiplexar líneas telefónicas*

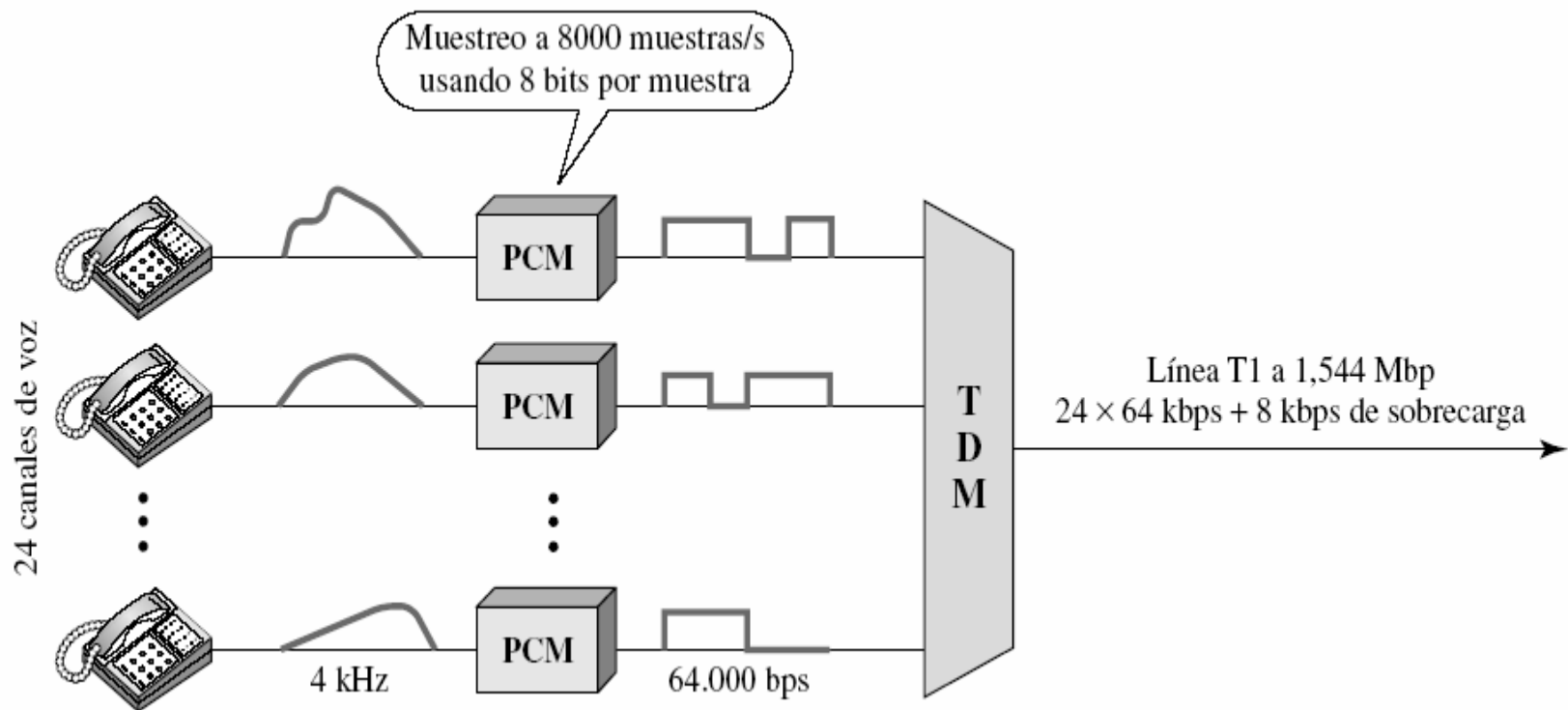


Figura 6.25 *Estructura de la trama T-1*

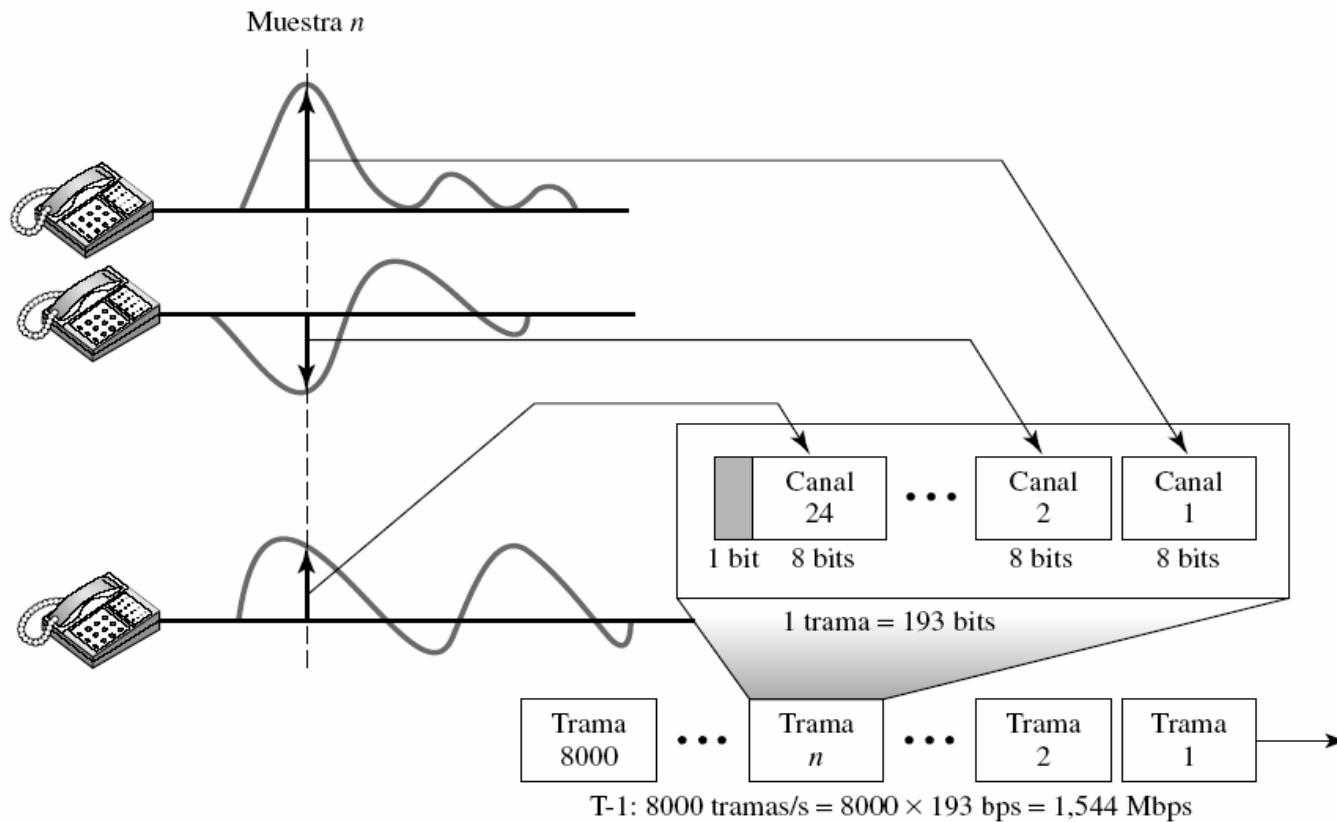
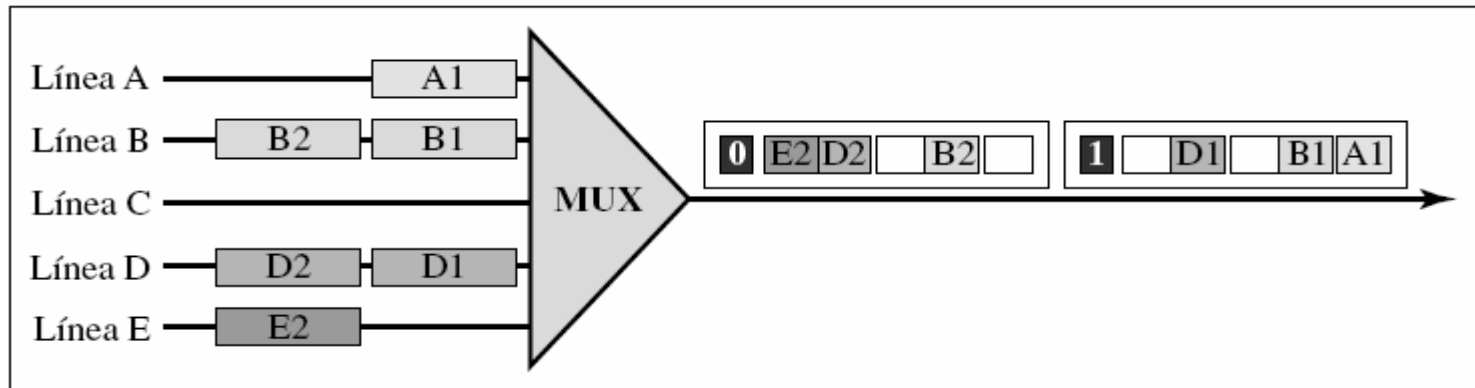


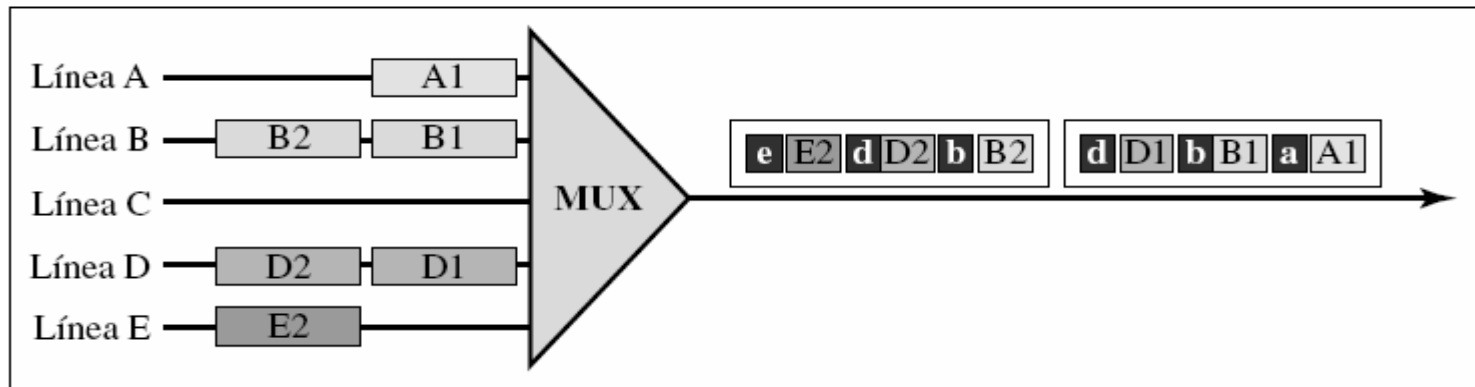
Tabla 6.2 *Tasas de la línea E*

<i>Línea</i>	<i>Tasa (Mbps)</i>	<i>Canales de voz</i>
E-1	2,048	30
E-2	8,448	120
E-3	34,368	480
E-4	139,264	1920

Figura 6.26 *Comparación de las ranuras en TDM*



a. TDM síncrona



b. TDM estadística

6-2 ESPECTRO ENSANCHADO

La multiplexación combina señales de varias fuentes para conseguir un uso eficiente del ancho de banda. En el espectro ensanchado se combinan señales de varias fuentes para tener un ancho de banda mayor, pero el objetivo es algo diferente. Hay dos técnicas para ensanchar el ancho de banda.

Temas a tratar en esta sección:

Espectro ensanchado por salto de frecuencia (FHSS)

Espectro ensanchado por secuencia directa (DSSS)

Figura 6.27 *Espectro ensanchado*

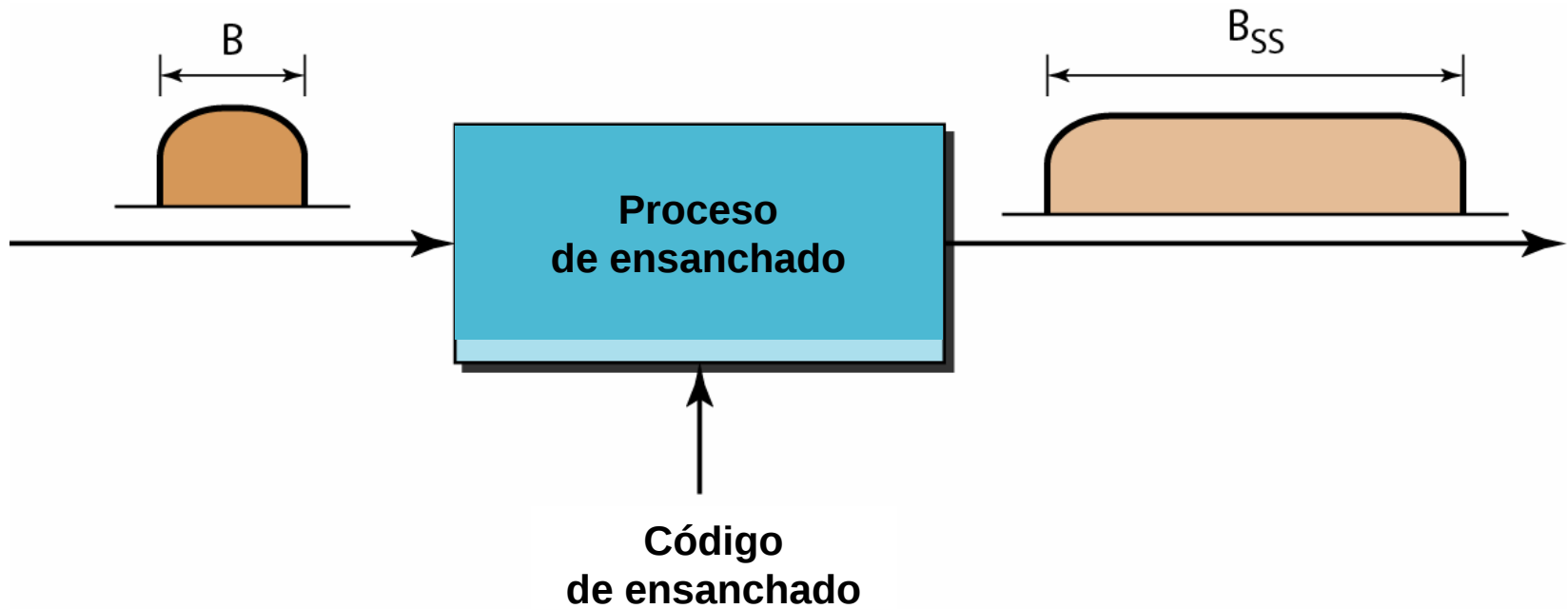


Figura 6.28 *Espectro ensanchado por salto de frecuencias (FHSS)*

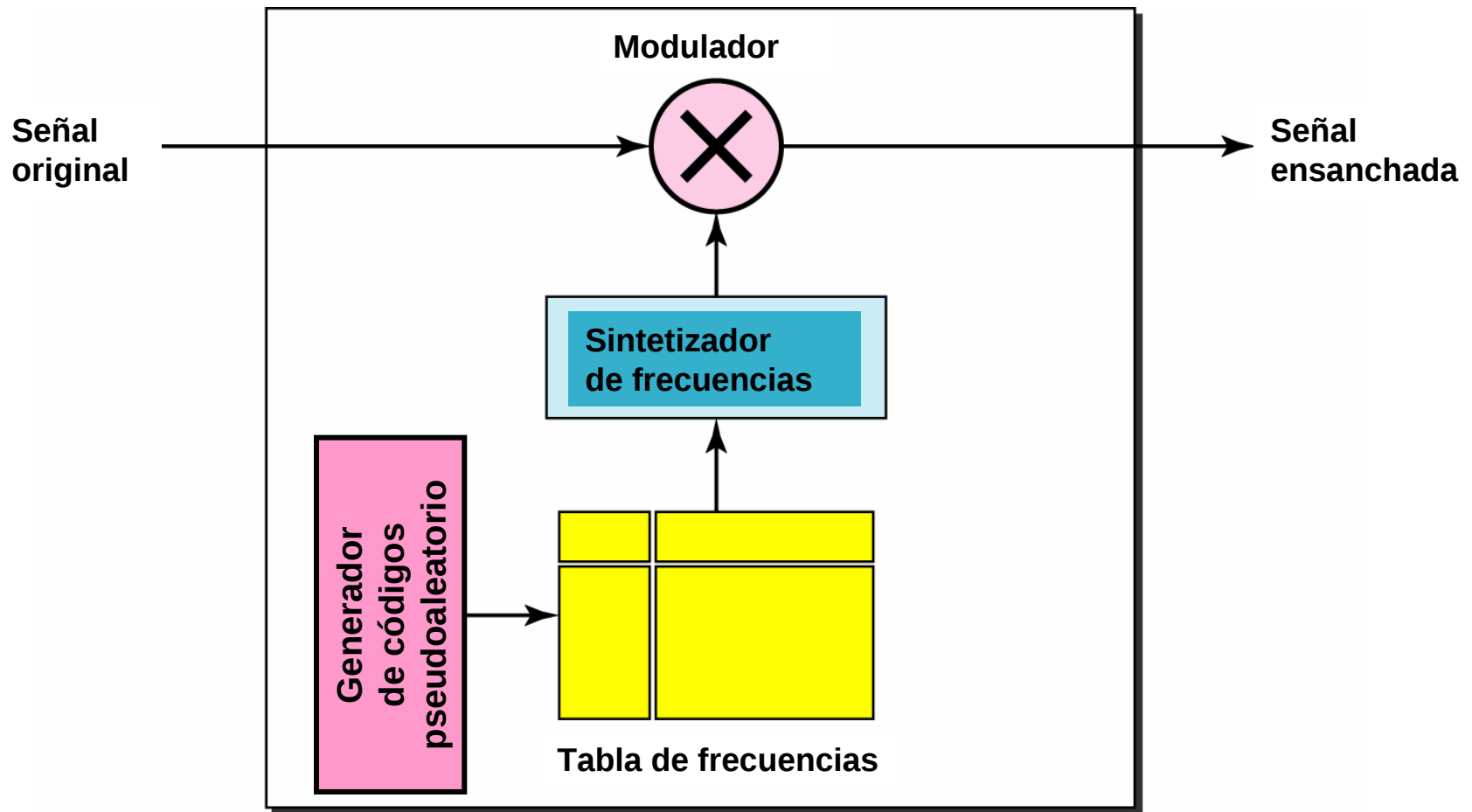


Figura 6.29 *Selección de frecuencias en FHSS*

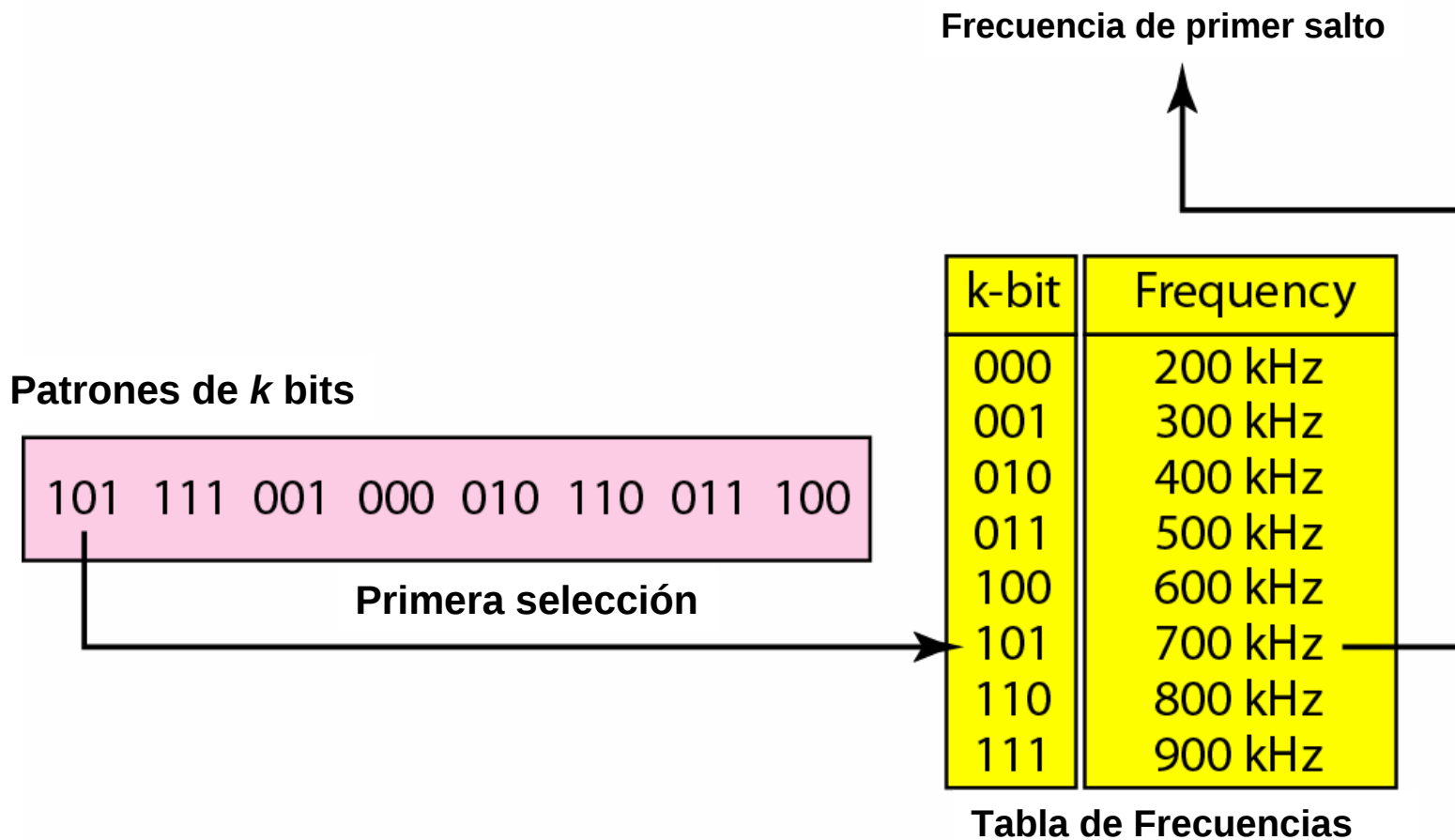


Figura 6.30 Ciclos *FHSS*

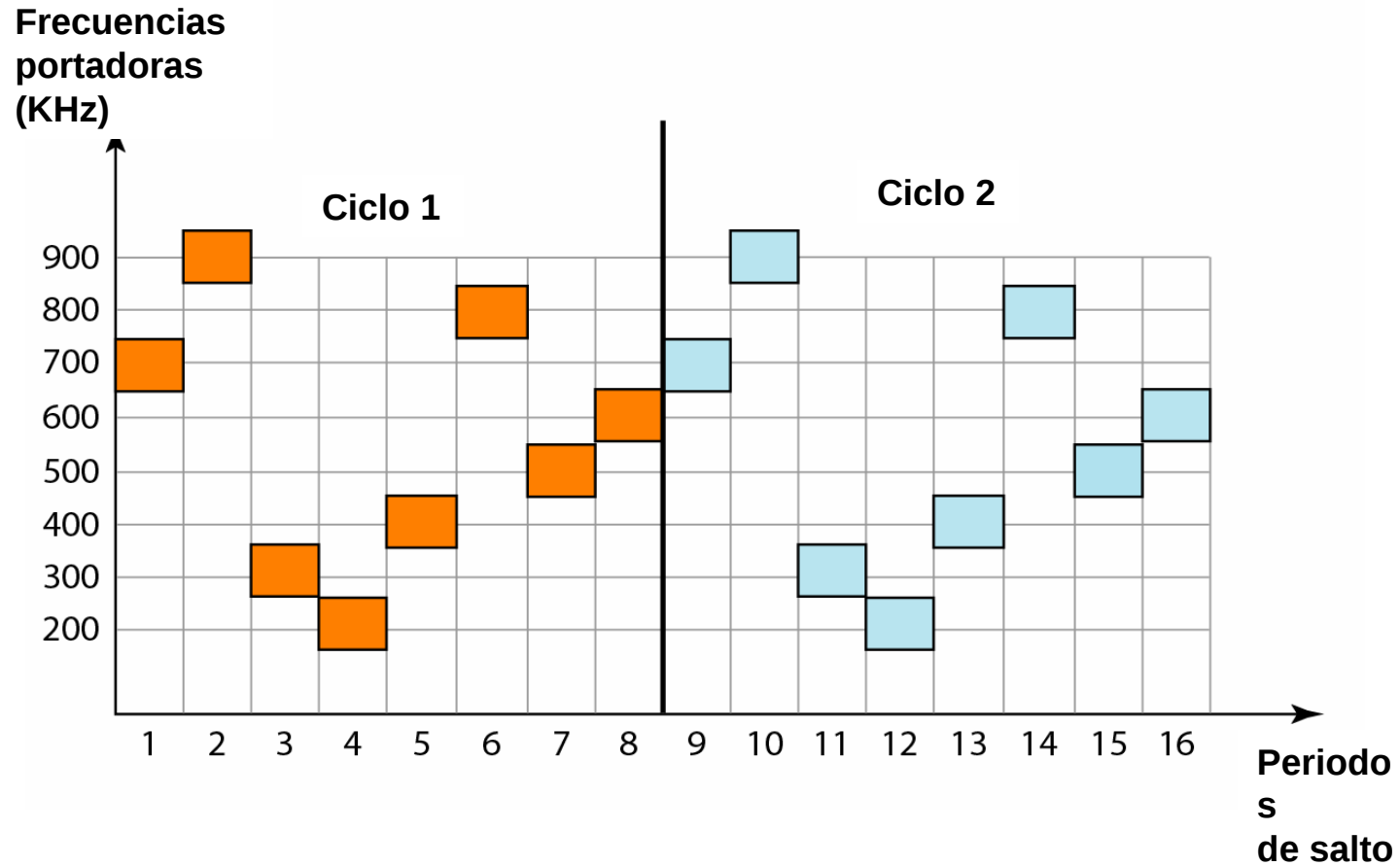
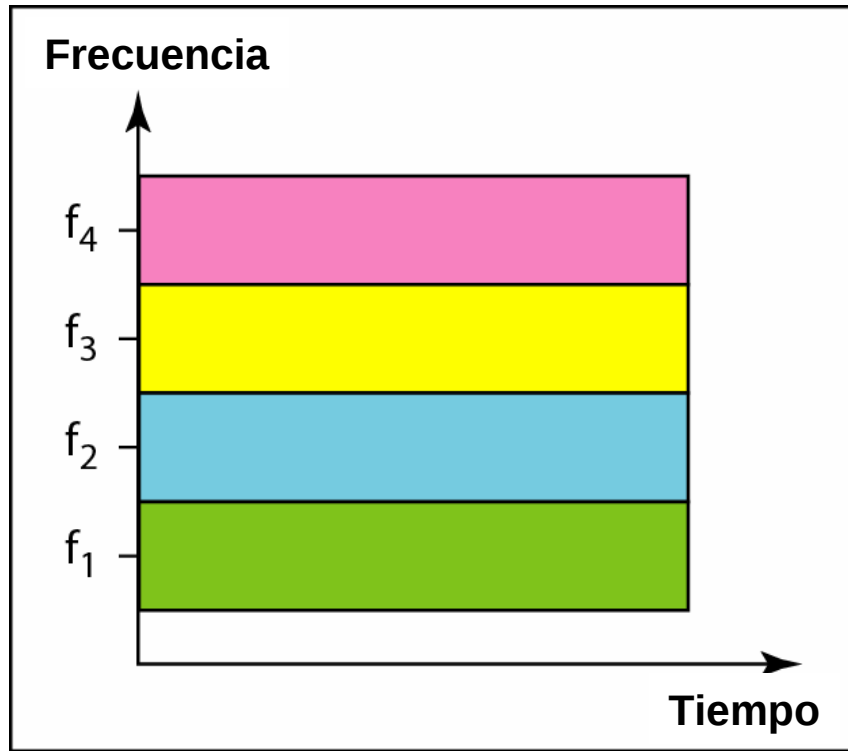
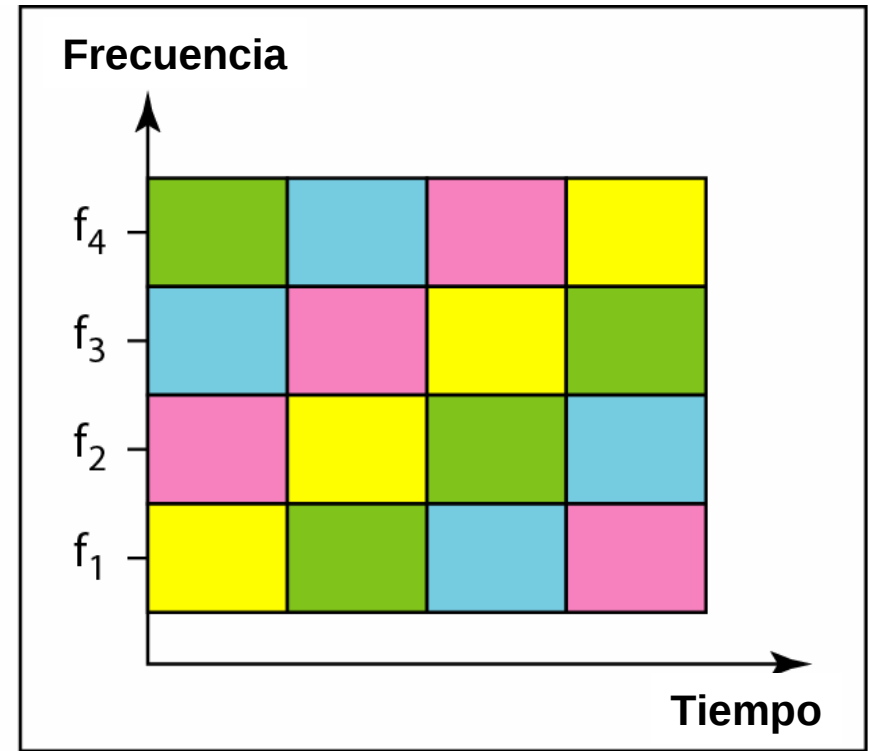


Figura 6.31 *Compartición del ancho de banda*



a. FDM



b. FHSS

Figura 6.32 *DSSS*

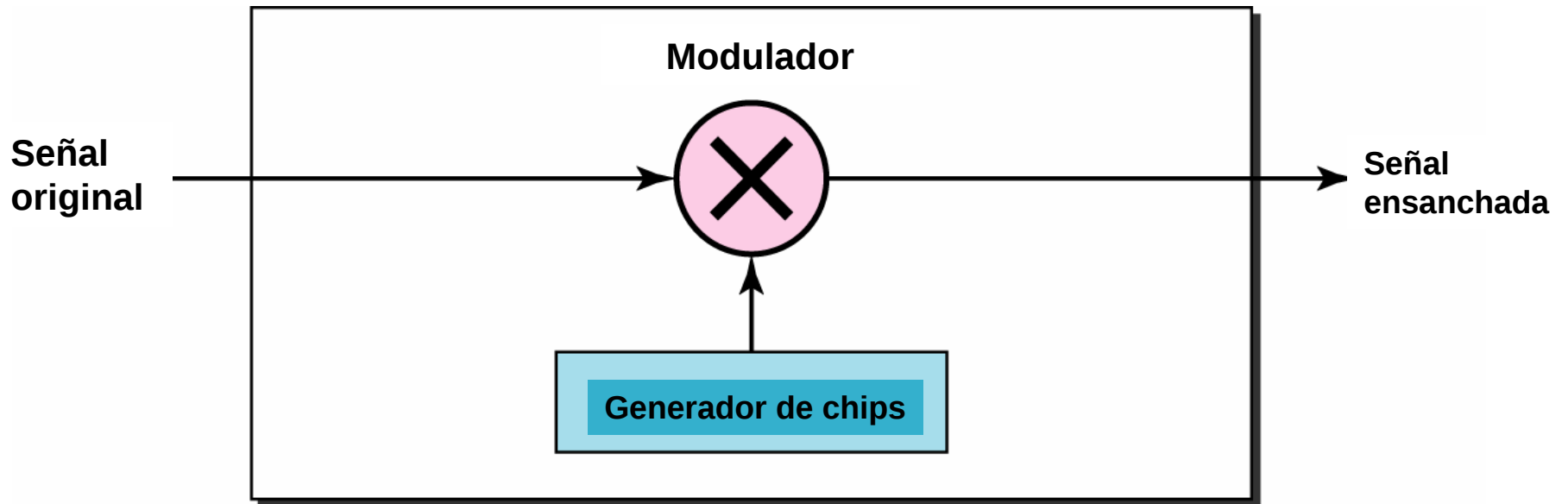


Figura 6.33 *Ejemplo DSSS*

