

Introducción y Conceptos Básicos (I)

La transmisión de datos entre un emisor y un receptor siempre se realiza a través de un **medio de transmisión**. Estos pueden clasificarse en:

- ***Guiados***. Estos pueden a su vez, ser:
 - Punto a punto.
 - Multipunto.
- ***No Guiados***

Los medios de transmisión pueden clasificarse, según la forma en que transmiten las señales, en:

- ***Simplex***.
- ***Half-Duplex***
- ***Full-Duplex***

Introducción y Conceptos Básicos (II)

El éxito de la transmisión de los datos depende de dos factores fundamentales:

- De la calidad de la señal que se transmite.
- De las características del medio de transmisión.

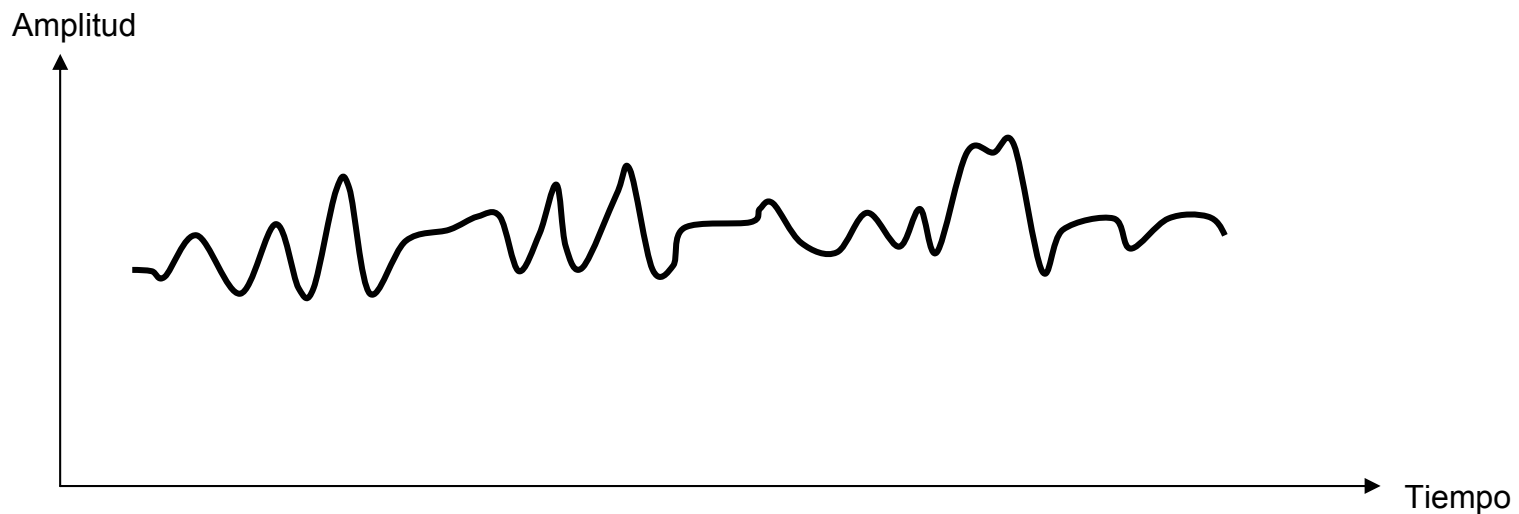
Las transmisiones se realizan mediante señales electromagnéticas de diferente tipo. Estas señales pueden ser *continuas* (analógicas) o *discretas* (digitales).

Introducción y conceptos básicos (III)

Se define una señal continua como aquella en la que la intensidad de la señal varía suavemente en el tiempo. Matemáticamente, una señal $s(t)$ es continua si:

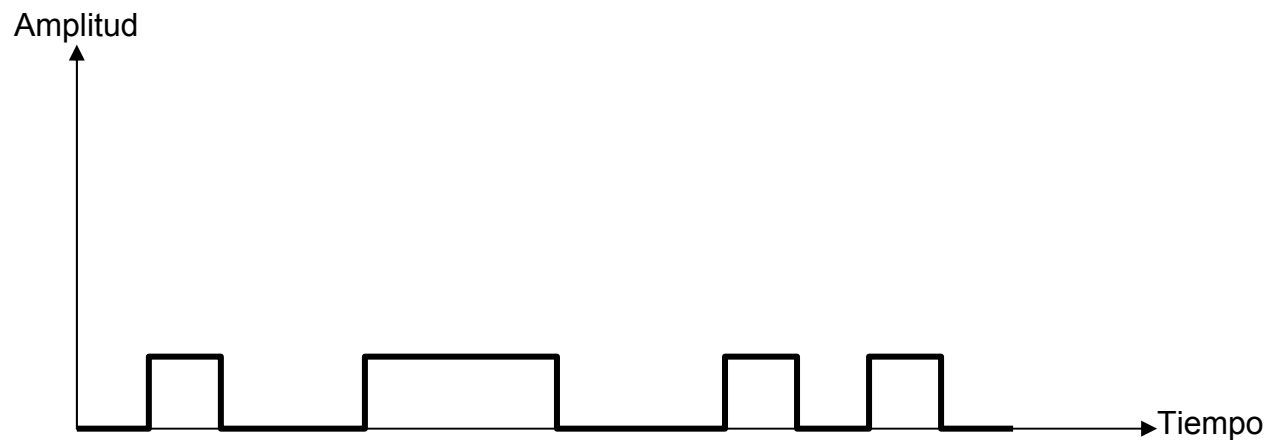
$$\lim_{t \rightarrow a} s(t) = s(a) \text{ para todo } a.$$

Un ejemplo de señal continúa puede ser la voz.



Introducción y conceptos básicos (IV)

Se define una señal discreta como aquella en que la intensidad de la señal se mantiene constante durante un determinado intervalo de tiempo, tras el cual la señal cambia a otro valor constante. Una señal discreta puede representar, por ejemplo, valores binarios.



Introducción y conceptos básicos (V)

Las señales más sencillas que pueden considerarse son las periódicas, que se caracterizan por tener un patrón que se repite a lo largo del tiempo. Matemáticamente, una señal $s(t)$ es periódica si:

$$s(t + T) = s(t) \quad -\infty < t < \infty$$

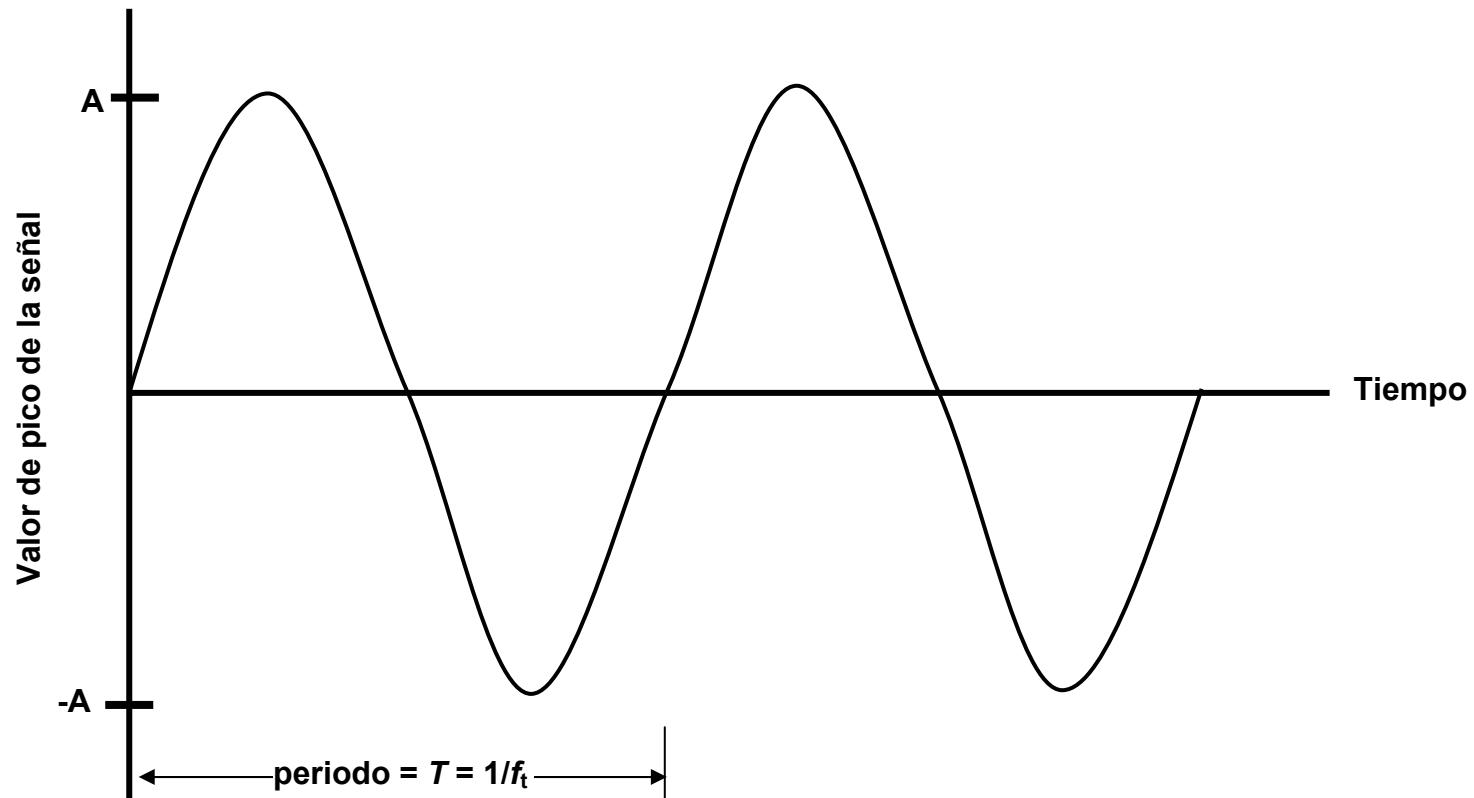
donde T es el periodo de la señal, que se define como la cantidad de tiempo transcurridos entre dos representaciones consecutivas de la señal.

La frecuencia es la razón (en ciclos por segundo o Hertzios) a la que la señal se repite. La frecuencia es la inversa del periodo.

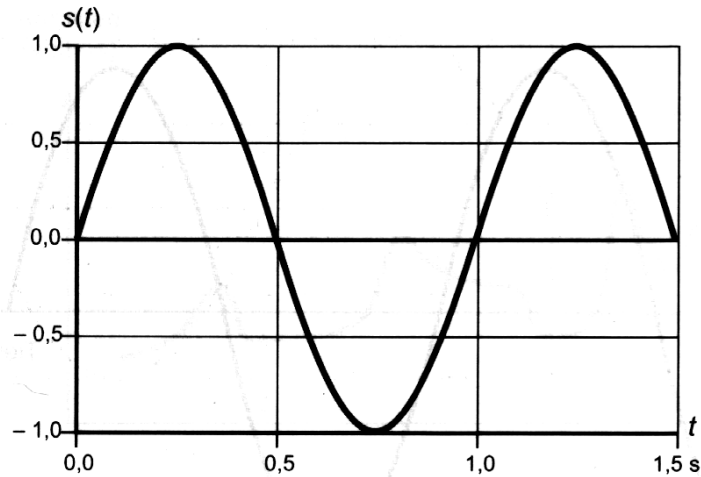
La fase es una medida de la posición relativa de la señal dentro de un periodo de la misma.

Introducción y conceptos básicos (VI)

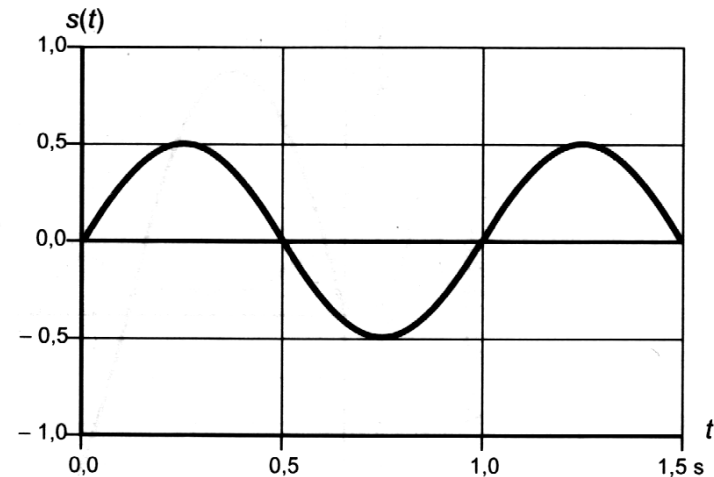
Una onda senoidal es la señal continua por excelencia. Viene expresada como $s(t) = A \sin(2\pi f t + \phi)$.



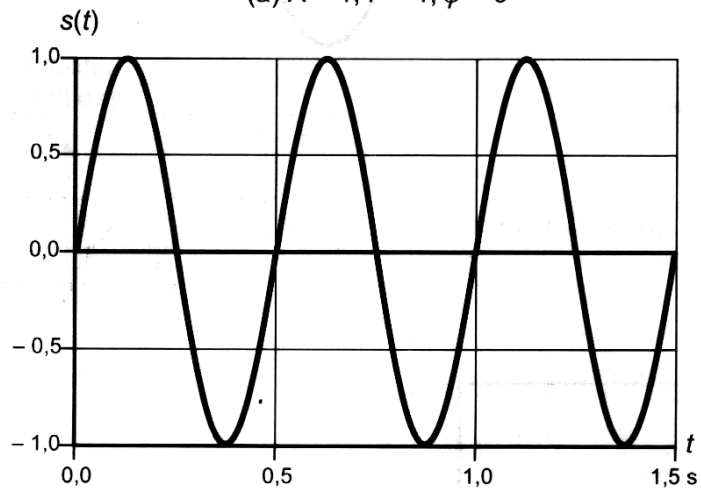
Introducción y Conceptos Básicos (VII)



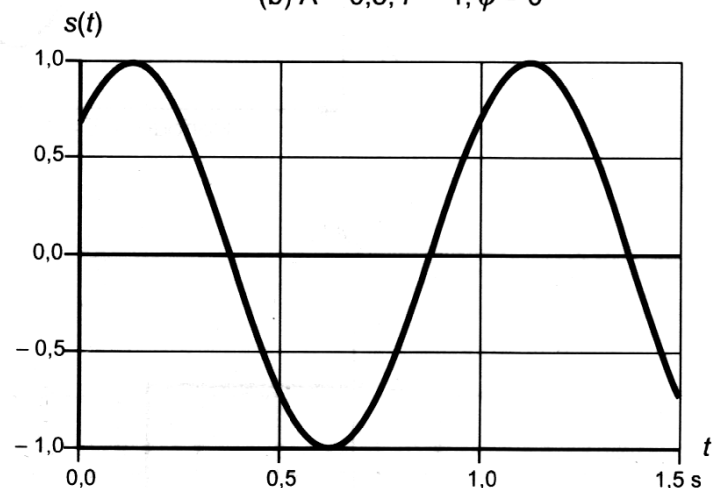
(a) $A = 1, f = 1, \phi = 0$



(b) $A = 0.5, f = 1, \phi = 0$



(c) $A = 1, f = 2, \phi = 0$



(d) $A = 1, f = 1, \phi = \pi/4$

Introducción y Conceptos Básicos (VIII)

Se denomina longitud de onda (λ) a la distancia que ocupa un ciclo, o lo que es lo mismo, la distancia entre dos puntos de igual fase en dos ciclos consecutivos.

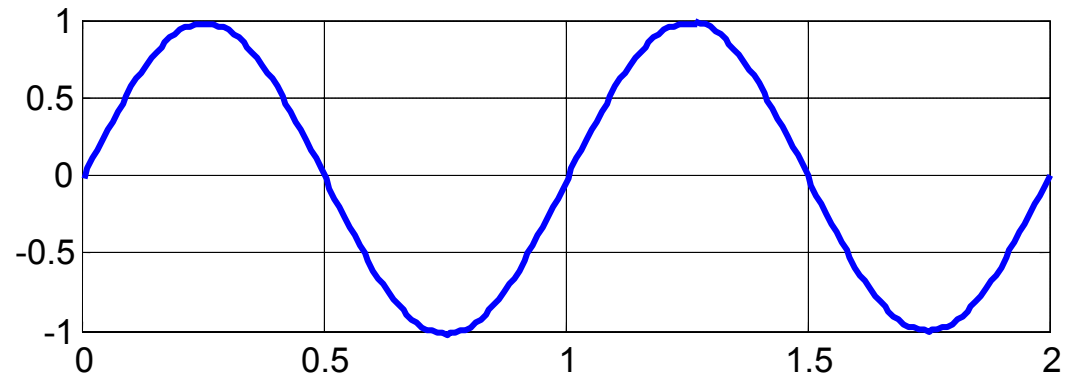
La longitud de onda está relacionada con el periodo de la señal mediante la fórmula: $\lambda = v \cdot T$, siendo v la velocidad de propagación de la señal y T el periodo.

En ocasiones, cuando se utiliza un medio de transmisión adecuado:

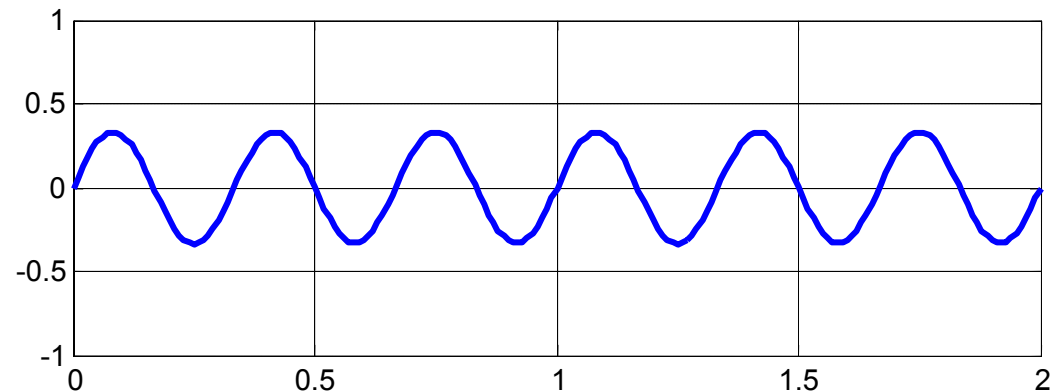
$$v = c; \quad (c = 3 \times 10^8 \text{ m/s})$$

Introducción y Conceptos Básicos (IX)

En la práctica, una señal electromagnética puede estar compuesta por muchas frecuencias.

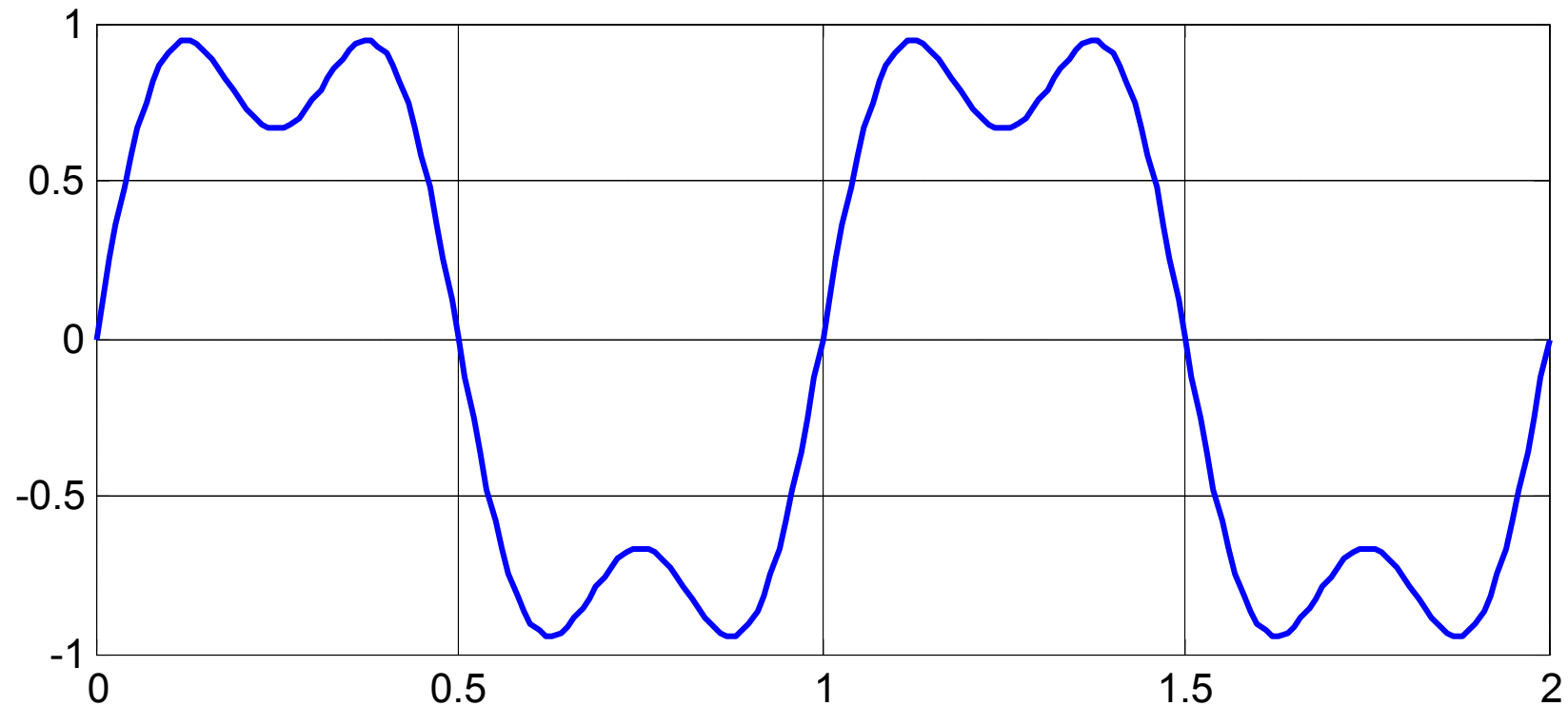


(a) $\sin(2\pi f_1 t)$



(b) $1/3 \sin(2\pi(3f_1)t)$

Introducción y Conceptos Básicos (X)



(c) $\sin(2\pi f_1 t) + 1/3 \sin(2\pi(3f_1)t)$

Introducción y Conceptos Básicos (XI)

Cuando todas las componentes tienen frecuencias múltiplo de una dada, esta se denomina frecuencia fundamental.

El periodo de la señal suma de componentes es el periodo correspondiente a la frecuencia fundamental.

Se puede demostrar, usando el análisis de Fourier, que cualquier señal está constituida por componentes senoidales de distintas frecuencias.

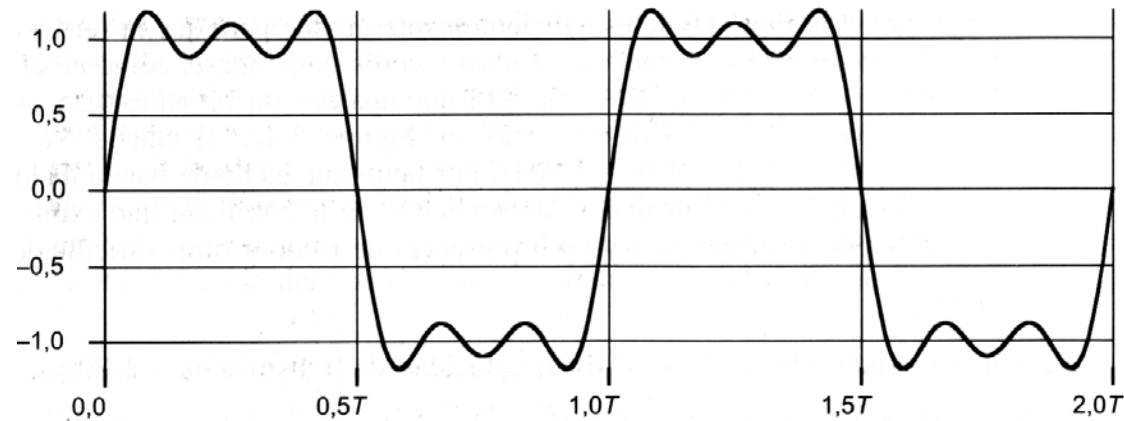
Se define el espectro de una señal como el conjunto de frecuencias que la constituyen. En la transparencia anterior, el espectro se extiende desde f_1 hasta $3f_1$.

Se define ancho de banda absoluto de una señal como la anchura del espectro. En el ejemplo anterior es $2f_1$.

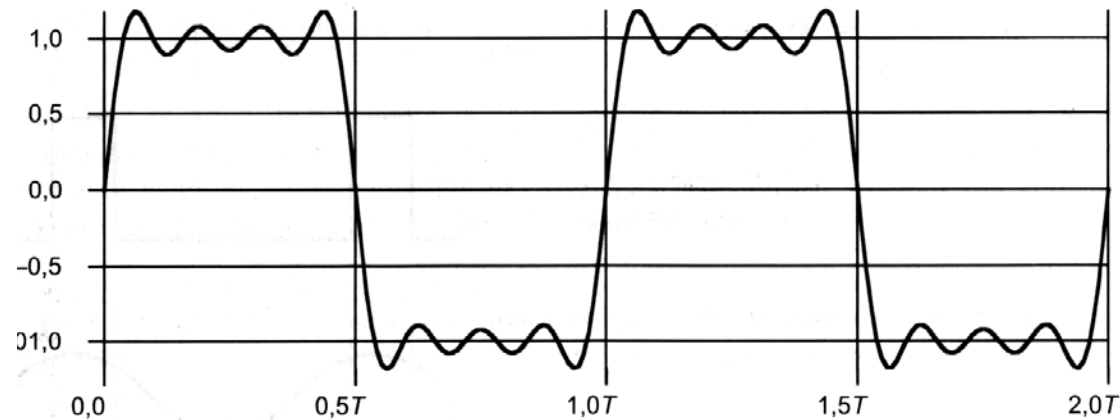
Se denomina ancho de banda relativo o simplemente ancho de banda a la banda de frecuencias donde se concentra la mayor parte de la energía de la señal.

Si una señal contiene una componente de frecuencia cero, esa componente se denomina continúa.

Introducción y Conceptos Básicos (XII)

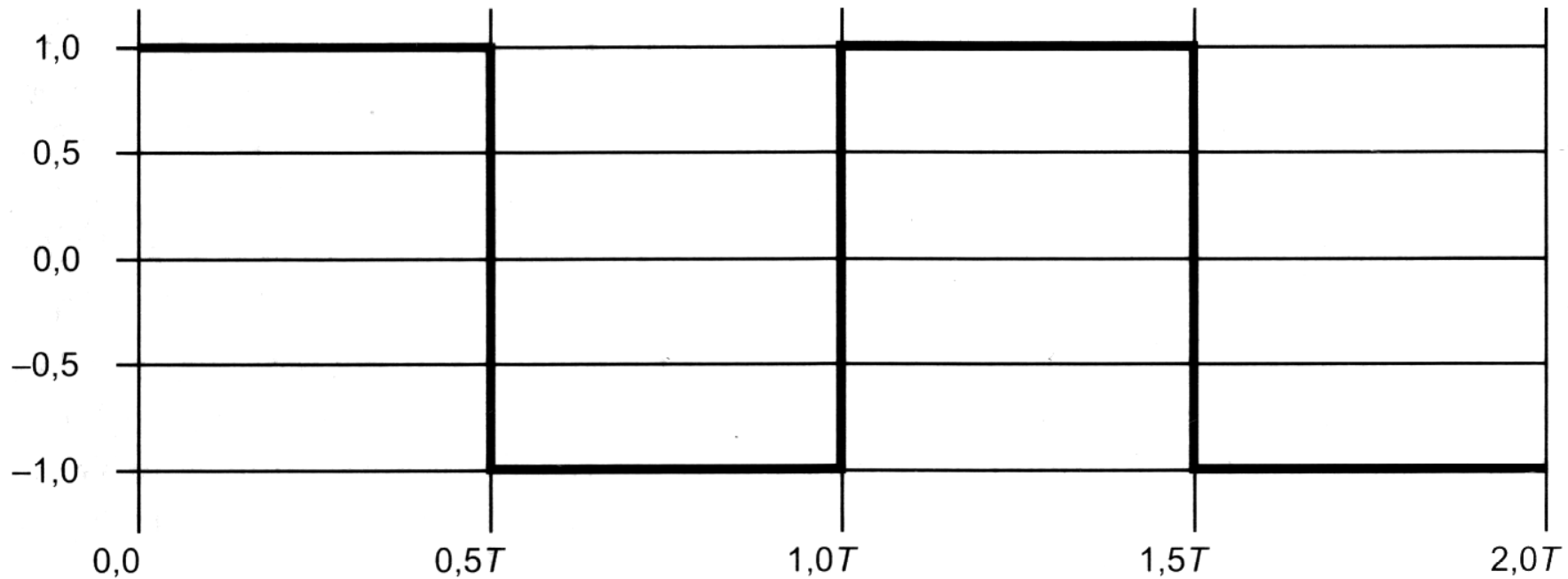


(a) $(4/\pi) [\text{sen}(2\pi ft) + (1/3)\text{sen}(2\pi(3f)t) + (1/5)\text{sen}(2\pi(5f)t)]$



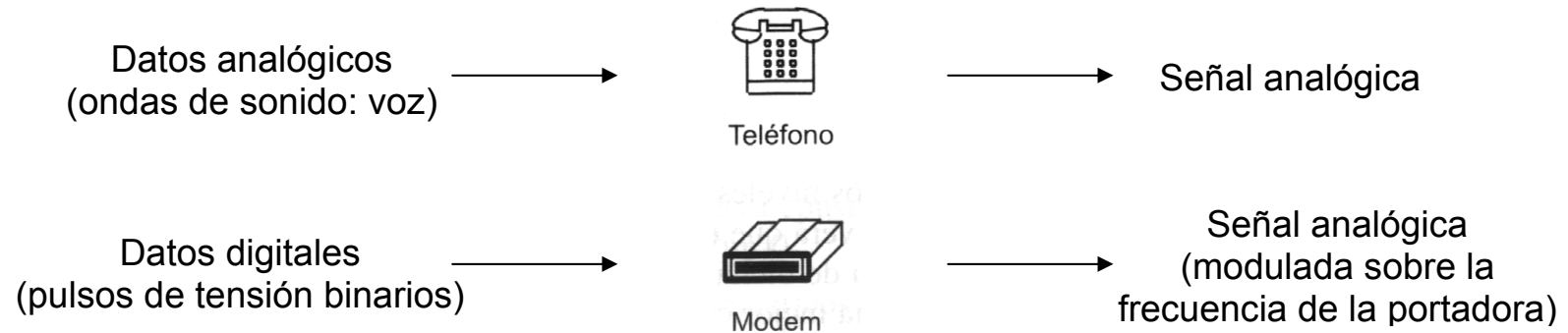
(b) $(4/\pi) [\text{sen}(2\pi ft) + (1/3)\text{sen}(2\pi(3f)t) + (1/5)\text{sen}(2\pi(5f)t) + (1/7)\text{sen}(2\pi(7f)t)]$

Introducción y Conceptos Básicos (XIII)

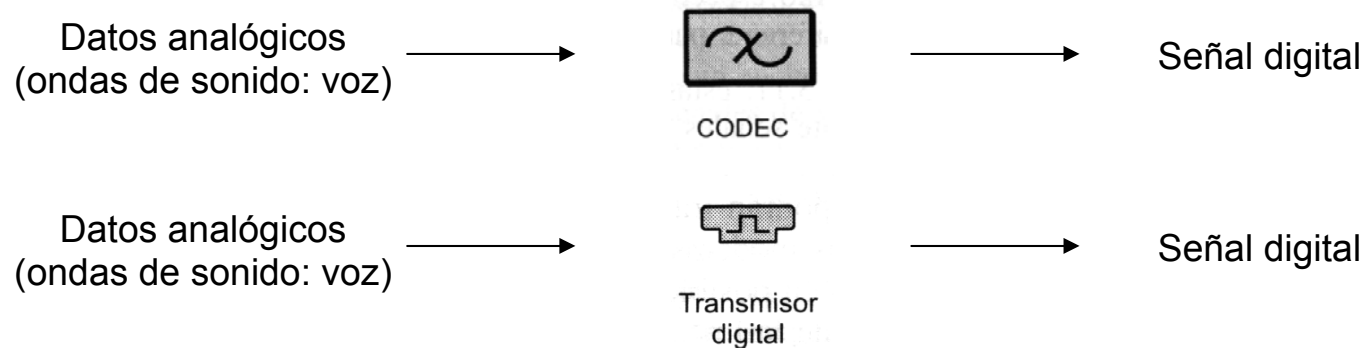


(c) $(4/\pi) \sum (1/k) \text{sen}(2\pi(kf)t)$

Introducción y Conceptos Básicos (XIV)



Señales analógicas: representan datos mediante una onda electromagnética que varía continuamente.



Señales digitales: representan datos mediante una secuencia de pulsos y de tensión.

Perturbaciones en la transmisión (I)

Las señales que se reciben en un sistema de comunicaciones diferirá de las enviadas originalmente por el emisor debido a diferentes factores:

- ***Tipo de medio de transmisión***
- ***Velocidad de transmisión***
- ***Distancia entre dos dispositivos de comunicación, etc.***

Las perturbaciones más significativas serán:

- ***Atenuación y distorsión de atenuación.***
- ***Distorsión de retardo.***
- ***Ruido.***

Perturbaciones en la transmisión (II)

Unidades de medida para ganancias, pérdidas y valores relativos:

El decibelio es una medida de la diferencia entre dos niveles de potencia.

$$N_{db} = 10 \log \left(\frac{P_1}{P_2} \right)$$

El decibelio-watio (dBW) se usa cuando se necesita expresar un nivel absoluto de potencia. Suele emplearse en aplicaciones de microondas. Se elige como referencia 1 watio y se define como 0 dBW. El nivel absoluto de una potencia en dBW es:

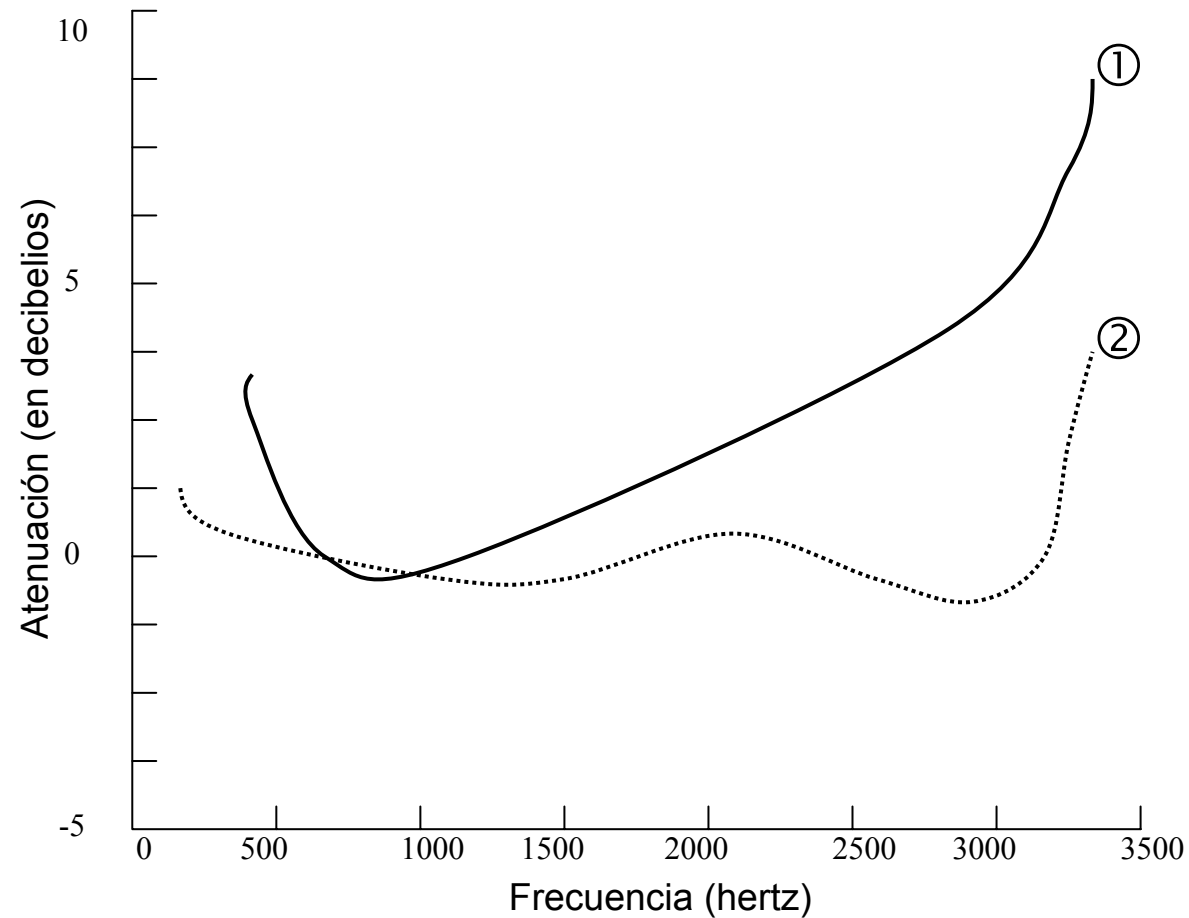
$$\text{Potencia(dBW)} = 10 \log (\text{Potencia en vatios} / 1 \text{ watio})$$

Una unidad empleada en televisión por cable y LANs de banda ancha es el decibelio-milivoltio (dBmV). Es una medida absoluta, donde 0 dBmV corresponde a 1 mV:

$$\text{Tensión (dBmV)} = 20 \log (\text{Tensión en mV} / 1 \text{ mV})$$

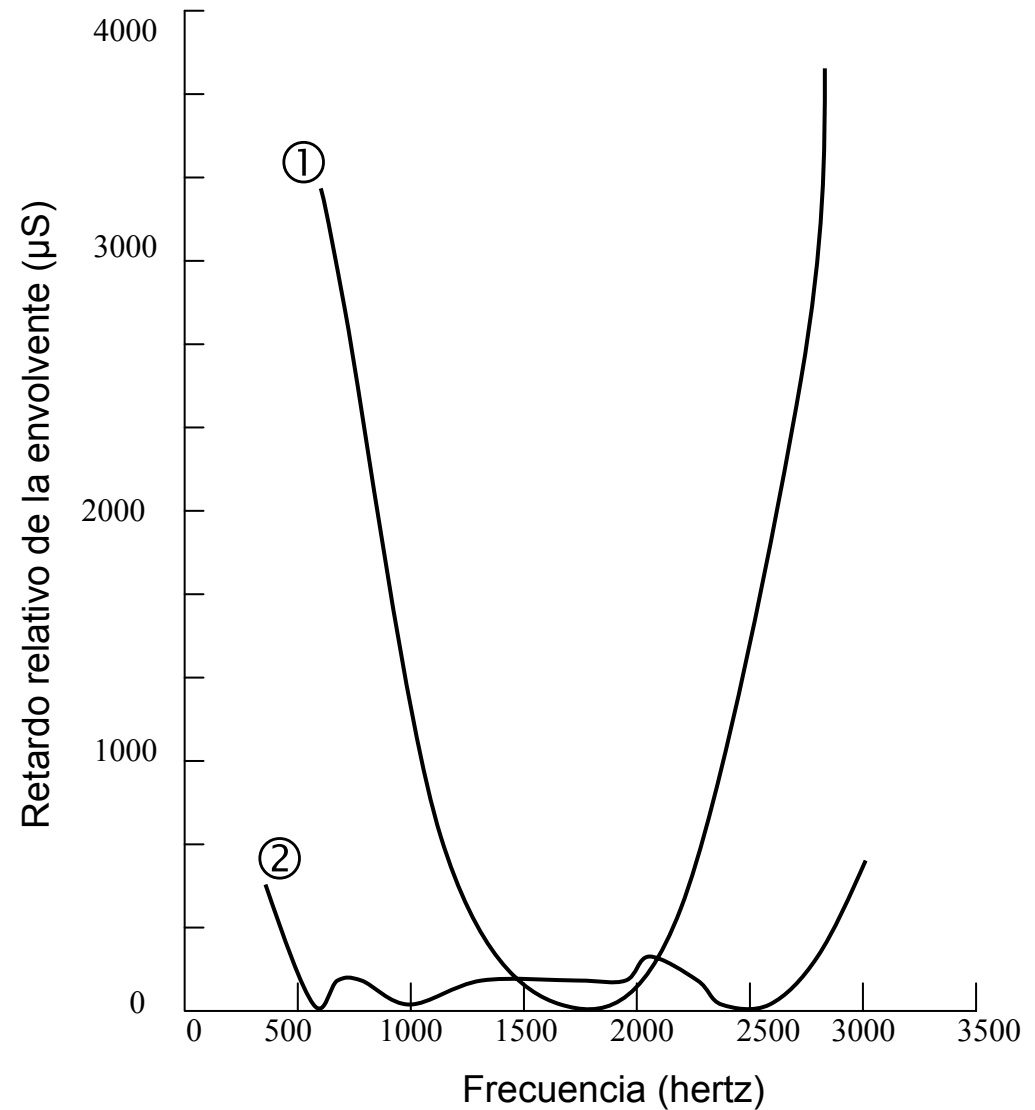
Perturbaciones en la transmisión (III)

Atenuación: Se llama así a la pérdida de energía de la señal que se transmite en un medio guiado.



Perturbaciones en la transmisión (IV)

Distorsión de retardo: Se produce por el hecho de que la velocidad de propagación de la señal en el medio varía con la frecuencia. Puede producir *interferencia entre símbolos*



Perturbaciones en la transmisión (V)

Ruido: Son las señales no deseadas que se insertan entre el emisor y el receptor. Es el factor de mayor importancia a la hora de limitar las prestaciones de un sistema de comunicación.

Puede clasificarse en:

- Ruido térmico.
- Ruido de intermodulación.
- Diafonía.
- Ruido impulsivo.

Perturbaciones en la transmisión (VI)

Ruido térmico: Se debe a la agitación térmica de los electrones dentro del conductor. El ruido térmico presente en un ancho de banda de W hertzios se puede expresar en vatios como:

$$N = k \cdot T \cdot W$$

siendo:

k = constante de Boltzmann = 1.3803×10^{-23} J/°K

T = temperatura, en grados Kelvin

O en decibelios-vatio:

$$N = 10 \log k + 10 \log T + 10 \log W;$$

$$N = -228.6 \text{ dBW} + 10 \log T + 10 \log T + 10 \log W$$

Perturbaciones en la transmisión (VII)

Capacidad del canal: Se denomina así a la velocidad a la que se pueden transmitir los datos en un canal o ruta de comunicación de datos.

Conceptos relacionados son:

- La velocidad de los datos en bits por segundo (bps).
- El ancho de banda de la señal transmitida.
- El nivel medio de ruido a través del camino de comunicación.
- La tasa de errores (BER: bit error rate).

Perturbaciones en la transmisión (VIII)

En un canal exento de ruido, según la fórmula de Nyquist, la capacidad del canal viene dada por:

$$C = 2 W \log_2 M \text{ (bps)}$$

siendo:

W = ancho de banda de la señal.

M = Número de niveles de la señal.

La relación señal-ruido se define como:

$$(S/N)_{dB} = 10 \log (\text{potencia de la señal} / \text{potencia del ruido})$$

Perturbaciones en la transmisión (IX)

Según Shannon, la capacidad del canal teniendo en cuenta la relación señal-ruido viene dada por:

$$C = W \log_2 (1 + S/N) \text{ (bps)}$$

Esta ley se conoce con el nombre de Shannon-Hartley.

Transmisión en Circuitos Públicos Analógicos (I)

En la red Telefónica Conmutada (RTC) es necesario modular la señal para transmitirla. El receptor debe demodular la señal para poder recoger los datos transmitidos.

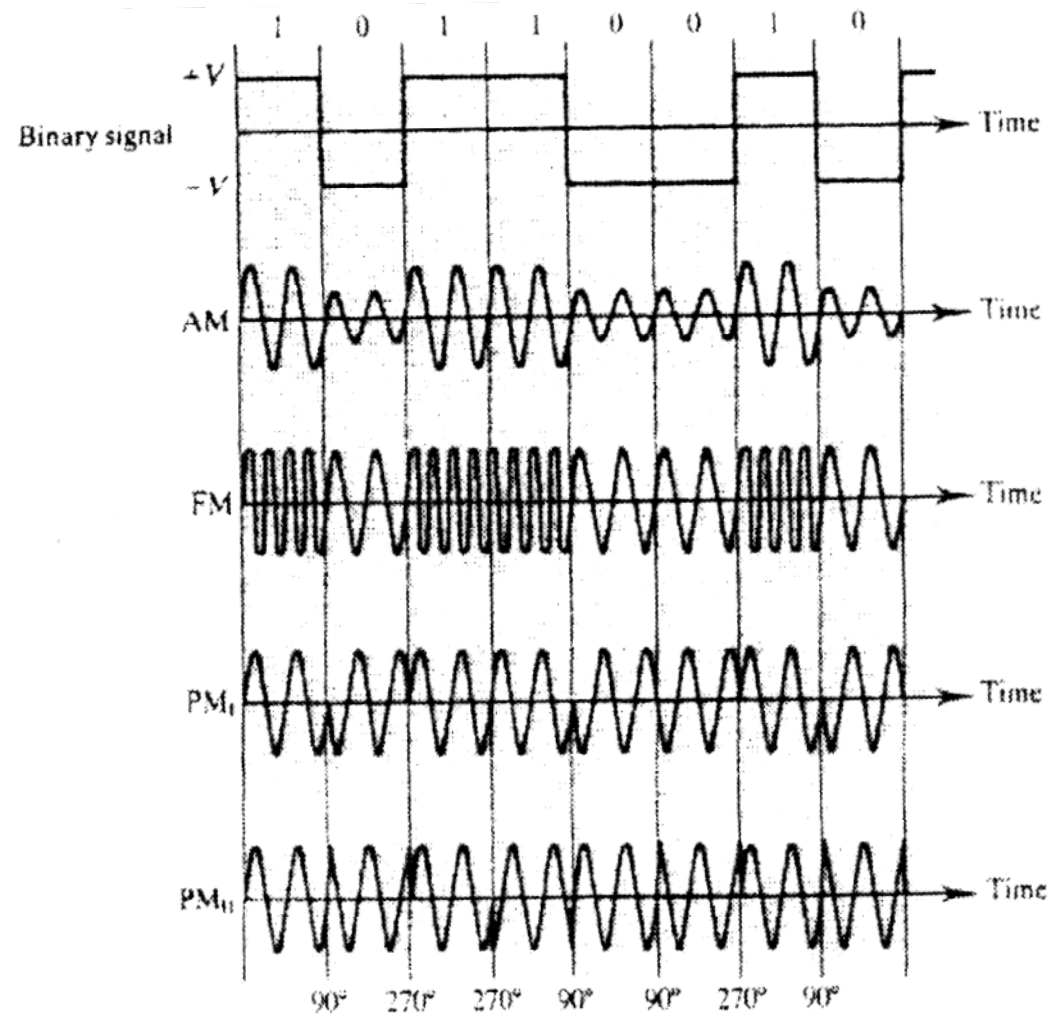
El dispositivo que realiza la modulación se denomina modulador y el que realiza la demodulación, demodulador.

Un dispositivo que realiza ambas funciones se denomina modem.

Transmisión en Circuitos Públicos Analógicos (II)

Existen tres tipos básicos de modulación:

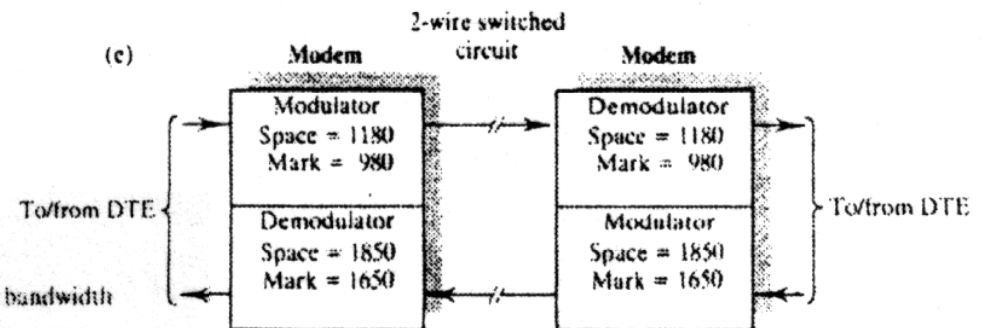
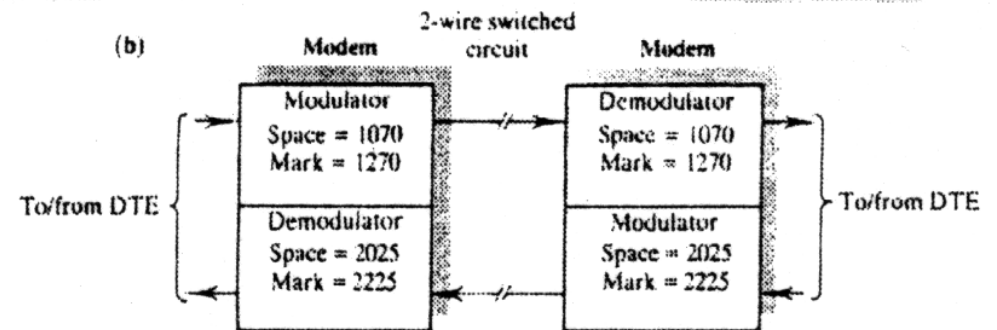
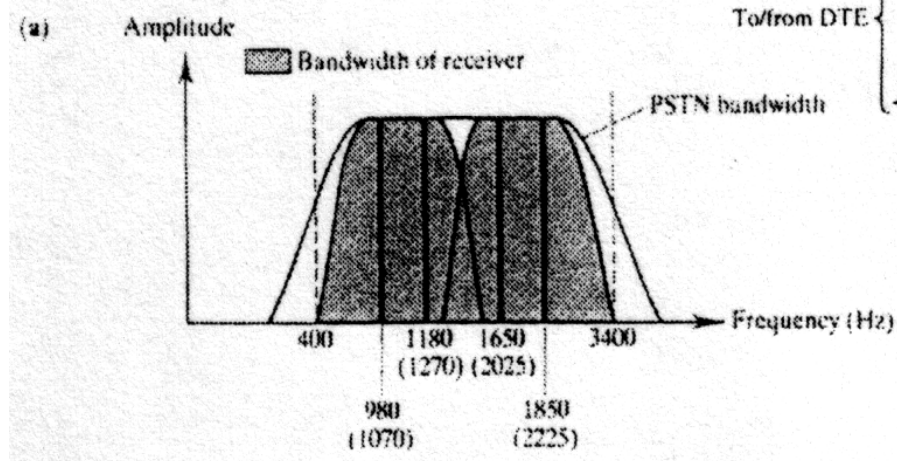
- Modulación en amplitud (AM).
- Modulación en frecuencia (FM o FSK: Frequency shift keying).
- Modulación de fase (PM o PSK: Phase shift keying) podemos usar PSK coherente en fase y PSK diferencial.



Transmisión en Circuitos Públicos Analógicos (III)

Ejemplo de un modem full-duplex a 300 bps con modulación FSK:

- a) Espectro de frecuencias.
- b) Asignación de frecuencias en EEUU.
- c) Asignación de frecuencias CCITT.



Transmisión en Circuitos Públicos Analógicos (IV)

Se define la razón de señalización (signalling rate) como el número de veces que un pulso de frecuencia, fase o amplitud constante cambia por segundo. Se mide en baudios.

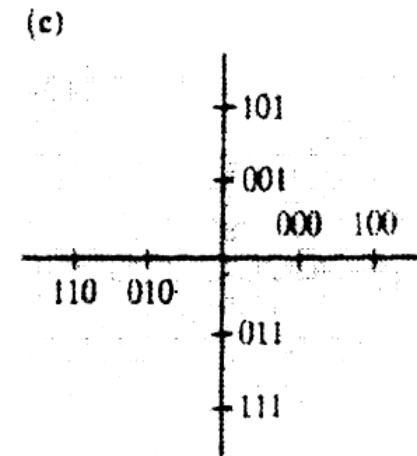
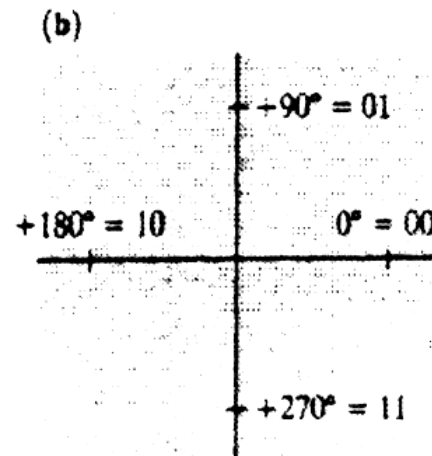
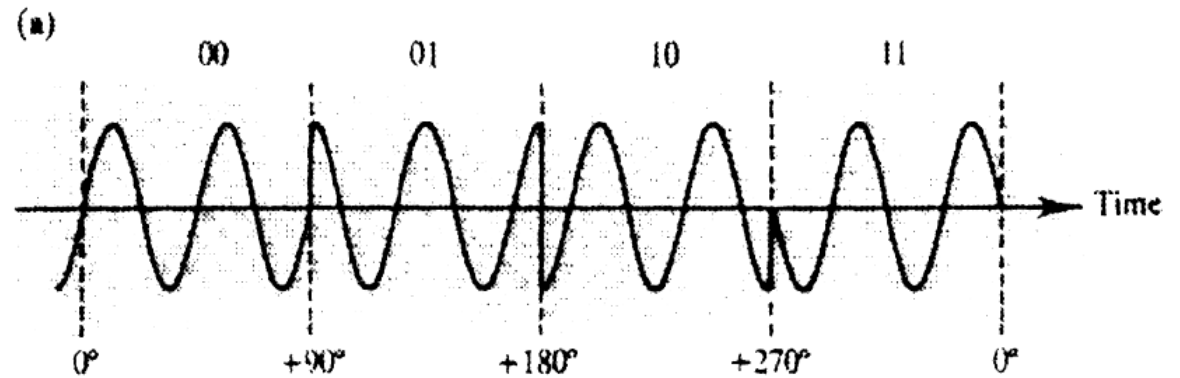
Si transmitimos más de dos valores distintos (cuatro u ocho), entonces la razón de bits (bps) es dos o tres veces la razón de señalización.

Pueden combinarse diferentes técnicas de modulación. Por ejemplo AM-PSK (siguiente transparencia)

Transmisión en Circuitos Públicos Analógicos (V)

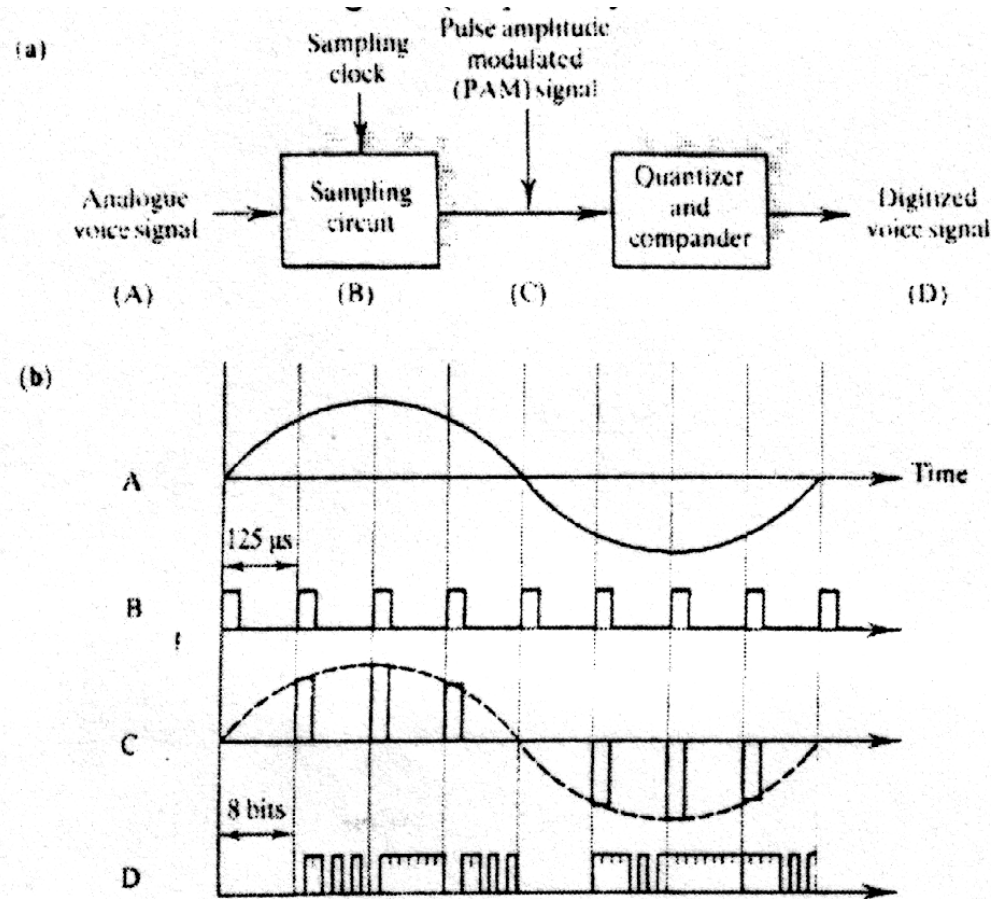
Técnicas de modulación alternativas:

- a) PM con cuatro cambios de fase.
- b) Diagrama de fase PM.
- c) AM-PSK.



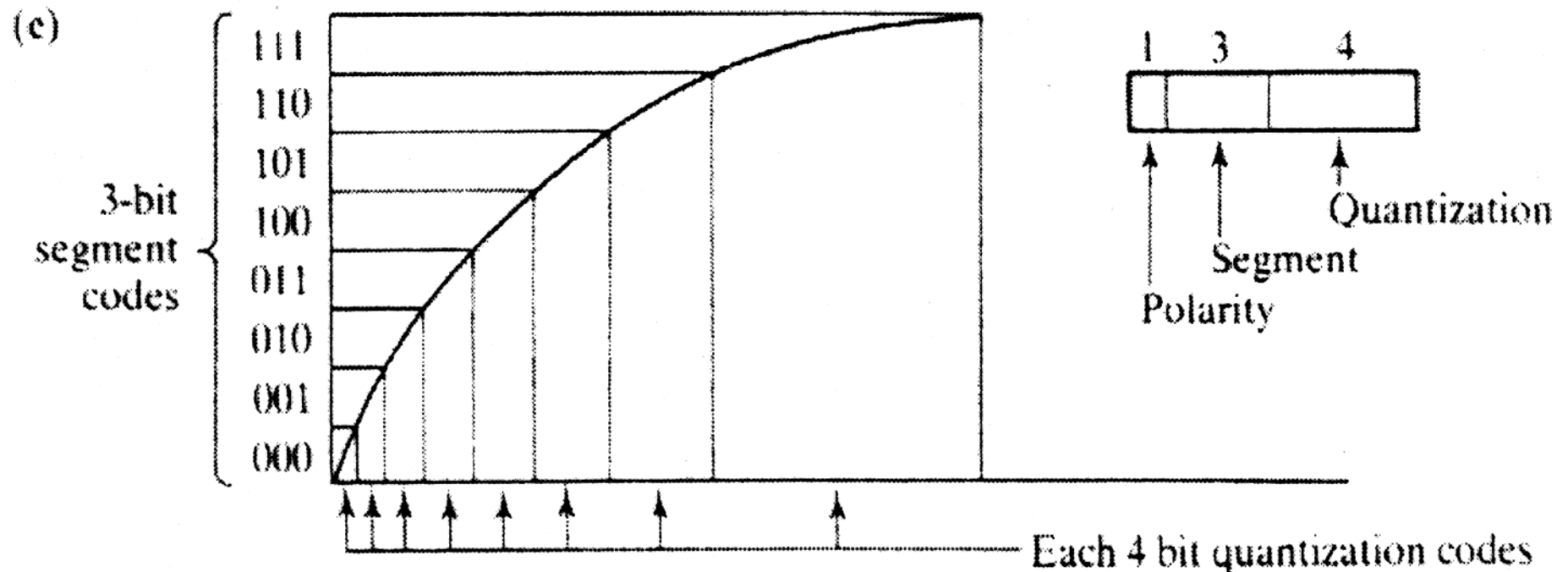
Transmisión en Circuitos Públicos Digitales (I)

Digitalización de datos analógicos (Esquema y señales del codificador).



Transmisión en Circuitos Públicos Digitales (II)

Digitalización de datos analógicos (companding).

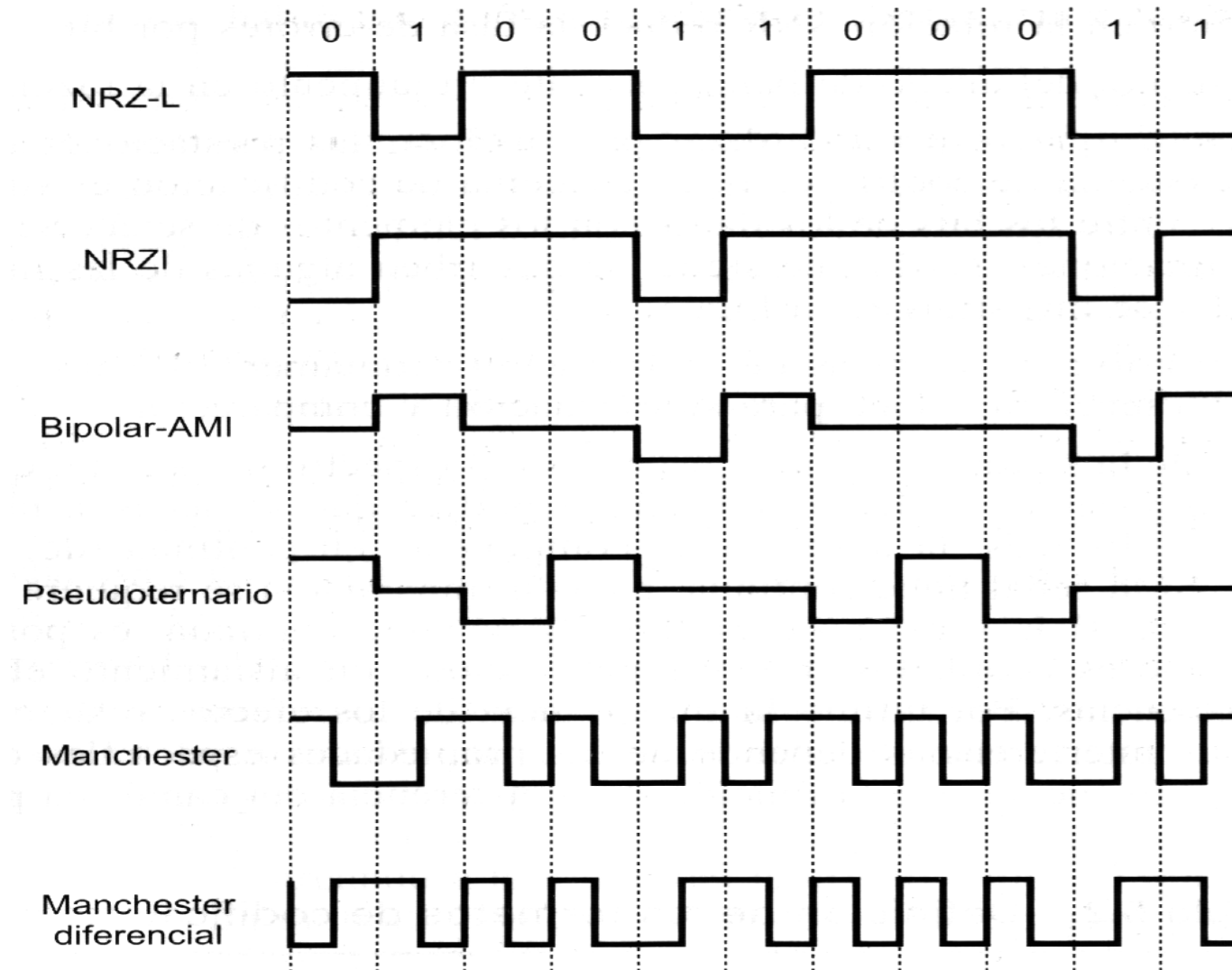


Codificación digital de datos (I)

El esquema de codificación también influye en las prestaciones del sistema de comunicación. Los más utilizados son los siguientes:

- No retorno a cero (NRZ-L).
- No retorno a cero invertido (NRZI).
- Bipolar-AMI.
- Pseudoternaria.
- Manchester.
- Manchester diferencial.

Codificación digital de datos (II)



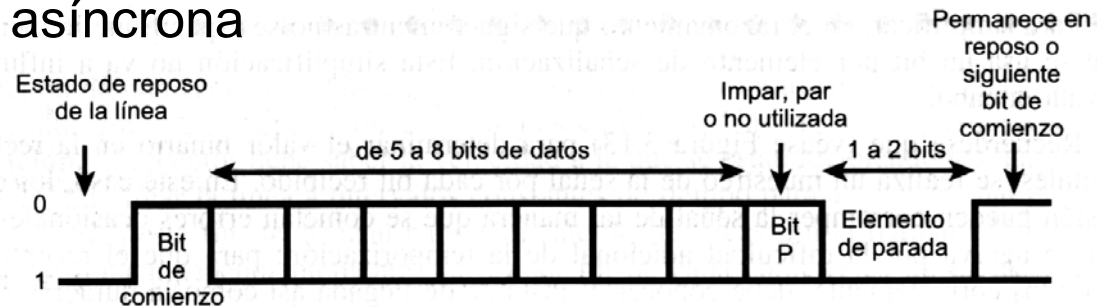
Transmisión asíncrona y síncrona (I)

Es necesario determinar el principio y el fin de cada bit que se transmite. Esta sincronización se puede realizar de dos formas:

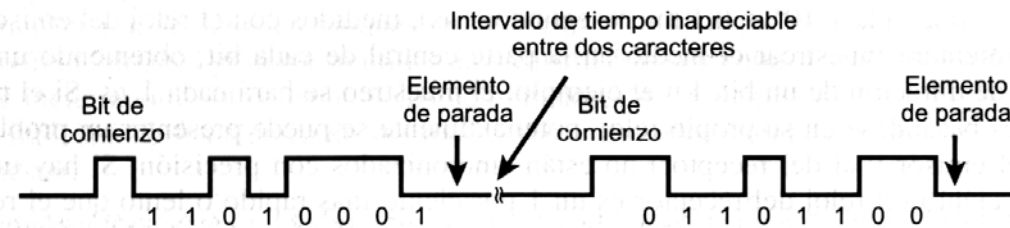
- Mediante la transmisión de una señal de reloj por separado para sincronizar emisor y receptor (*transmisión síncrona*).
- Proporcionando la sincronización en la propia señal transmitida (*transmisión asíncrona*).

Transmisión síncrona y asíncrona (II)

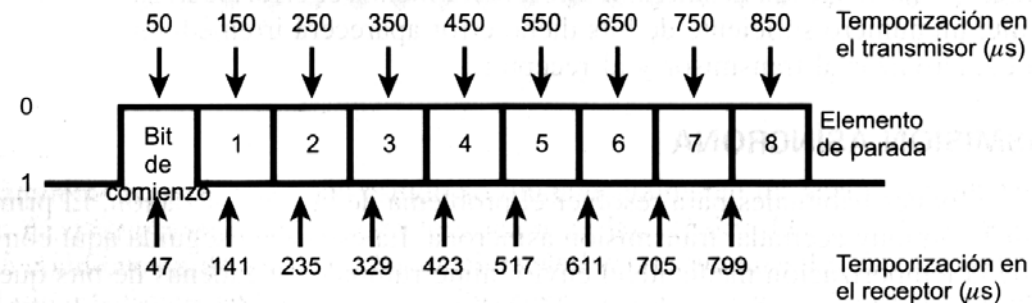
Transmisión asíncrona



(a) Formato de un carácter



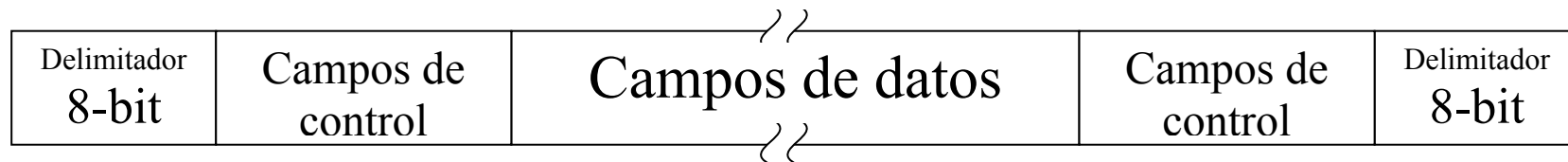
(b) Cadena de caracteres de 8 bits asíncronos



(c) Efecto de un error en la temporización

Transmisión en Circuitos Públicos Analógicos (I)

Transmisión síncrona (formato de una trama)



Interfaces (estándares de conexión DTE-DCE) I

DTE (Data Terminal Equipment – equipo terminal de datos)

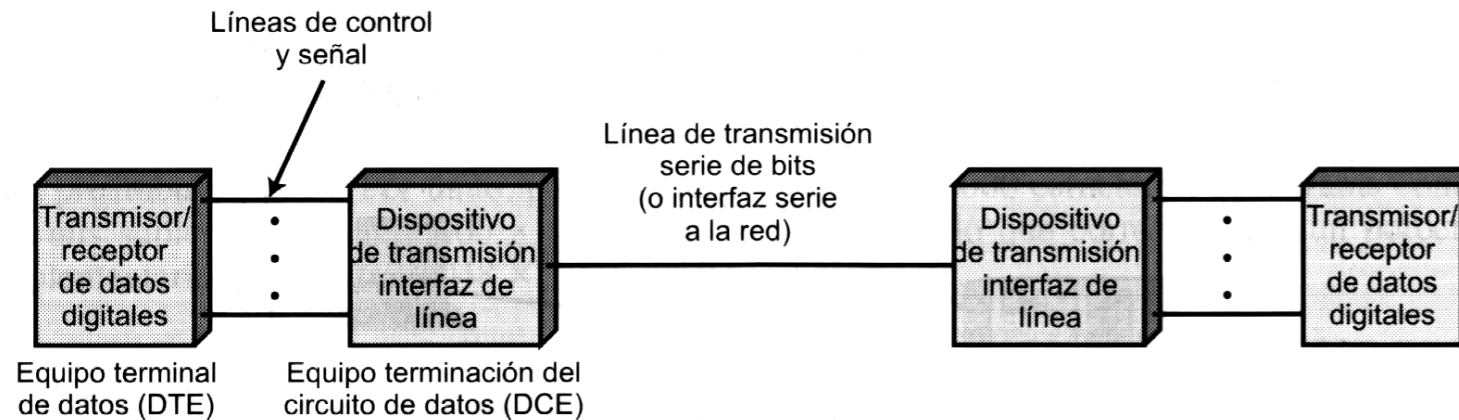
DCE (Data Circuit-terminating Equipment – equipo terminación del circuito de datos)

En este ámbito, el interfaz se refiere a la conexión entre el DTE y el DCE. Las especificaciones de un interfaz tienen cuatro características importantes:

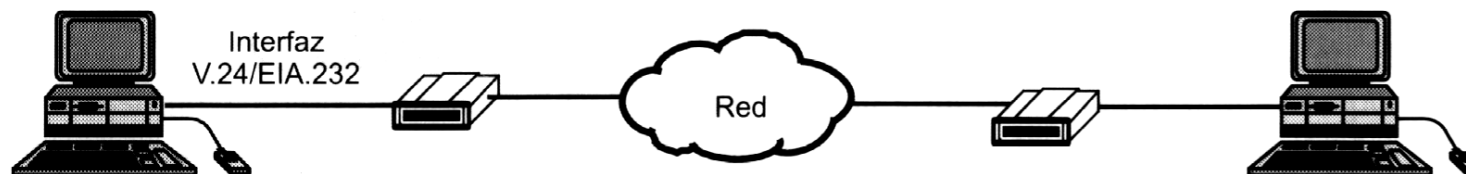
- Mecánicas.
- Eléctricas.
- Funcionales.
- De procedimiento.

Interfaces (estándares de conexión DTE-DCE) II

Líneas de control y de señal.



(a) Interfaz genérica al medio de transmisión



(b) Configuración típica

Interfaces (estándares de conexión DTE-DCE) III

V24/EIA-232-E

Primera especificación: EIA RS-232 en 1962

La actual es la quinta versión (1991)

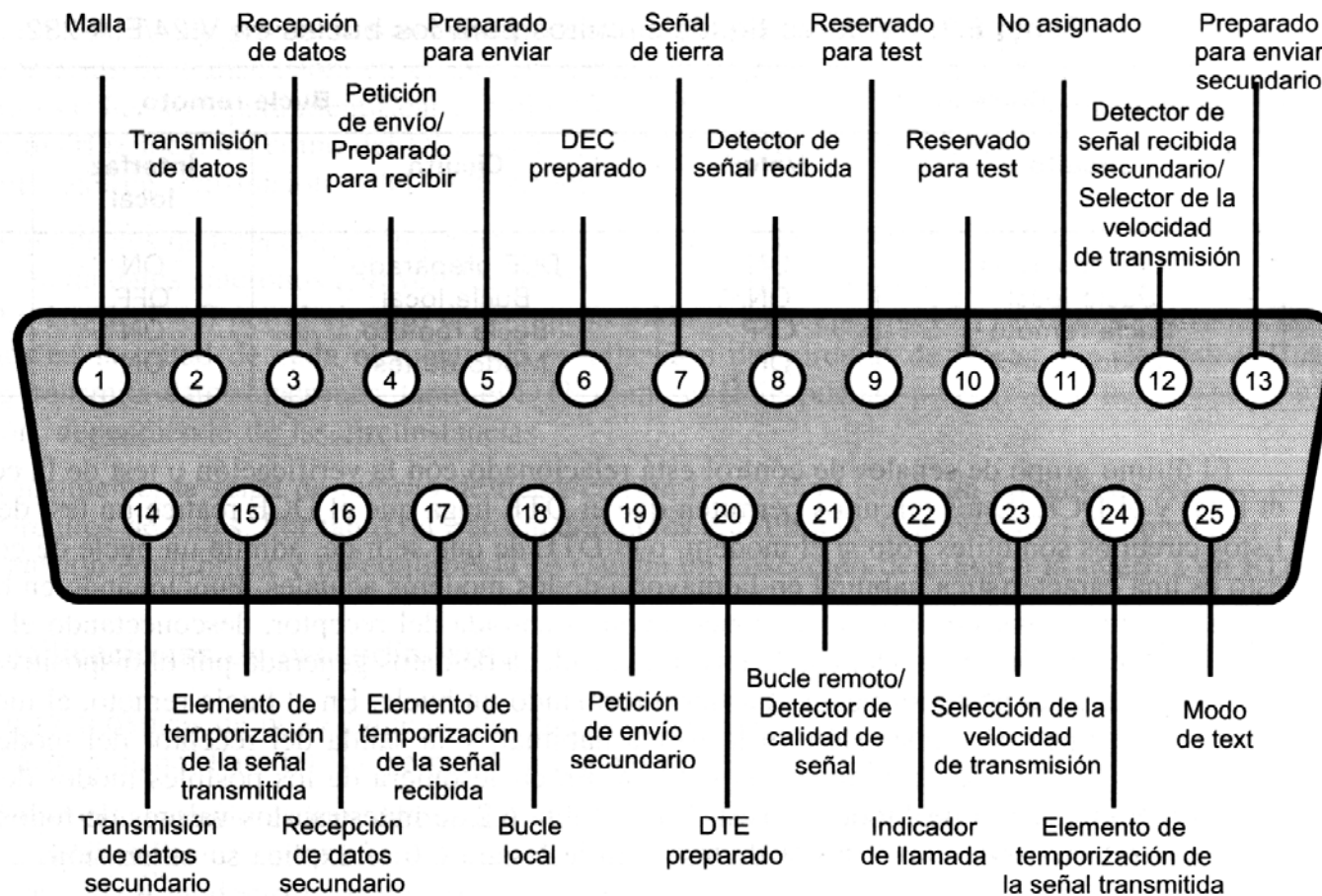
Especificaciones:

- Mecánicas: ISO 2110
- Eléctricas: V.28 (establecida en 1993)
- Funcionales: V.24 (establecida en 1993)
- De procedimiento: V.24

Interfaces (estándares de conexión DTE-DCE) IV

V24/EIA-232-E:

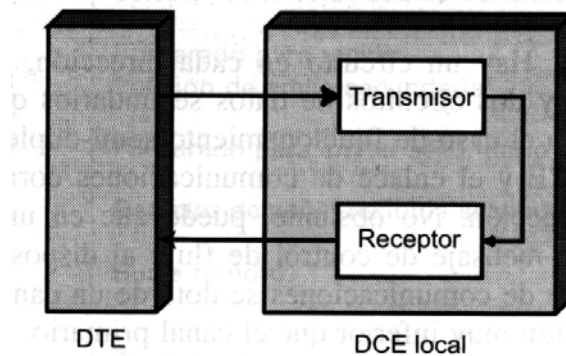
Asignación de los terminales



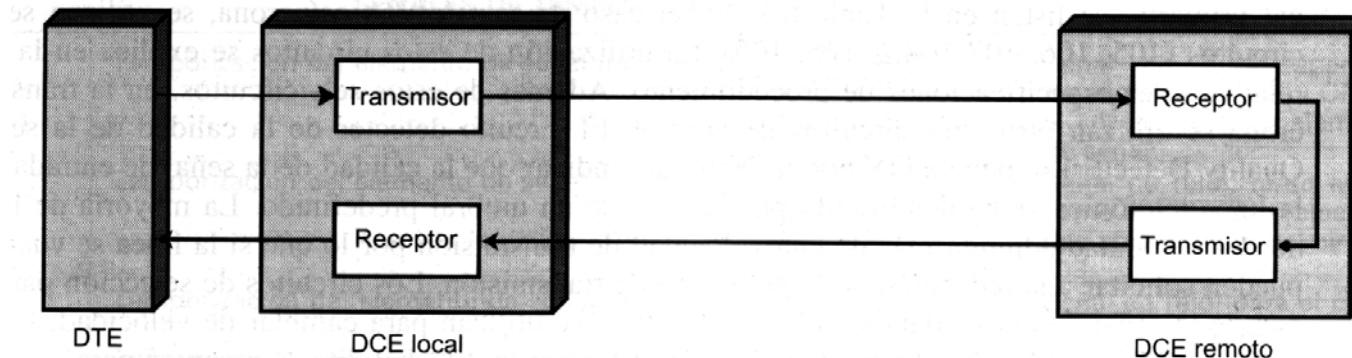
Interfaces (estándares de conexión DTE-DCE) V

V24/EIA-232-E:

Modos de test



(a) Test del bucle local

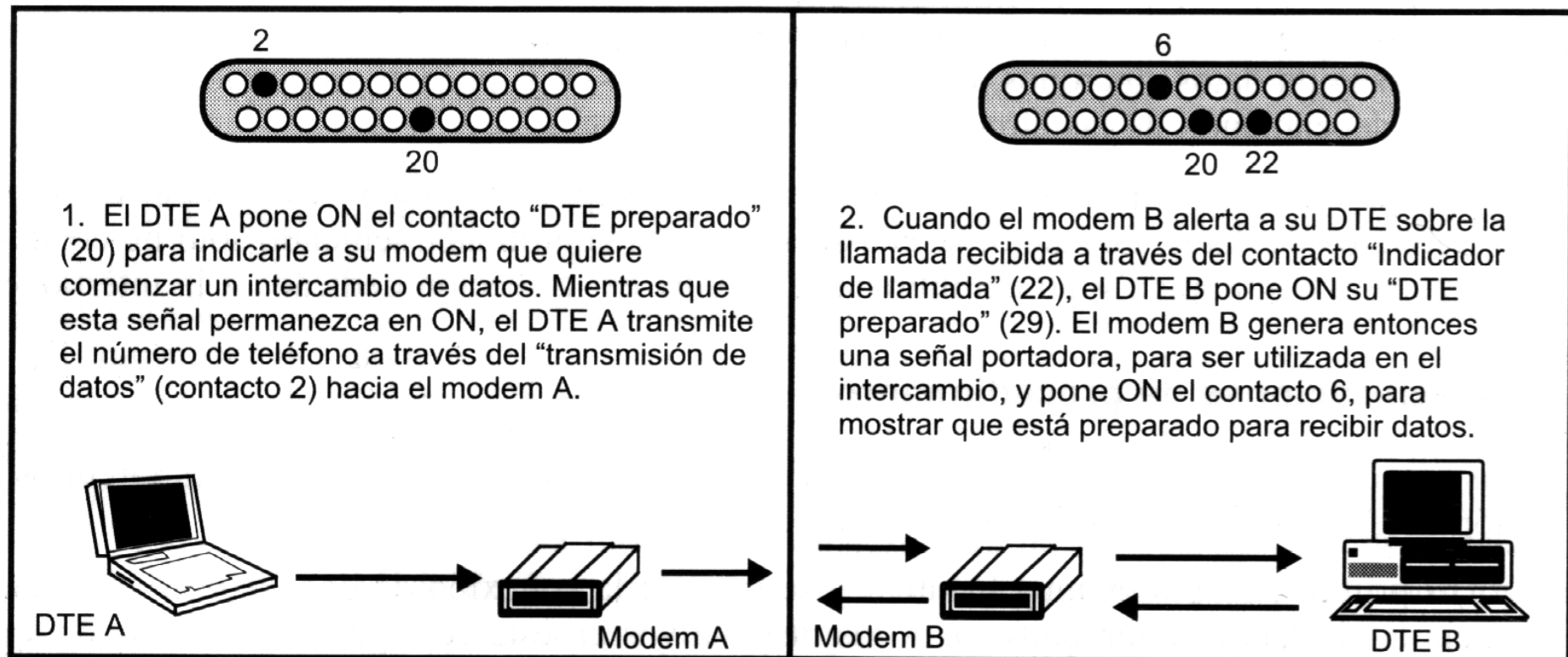


(b) Test del bucle remoto

Interfaces (estándares de conexión DTE-DCE) VI

V24/EIA-232-E:

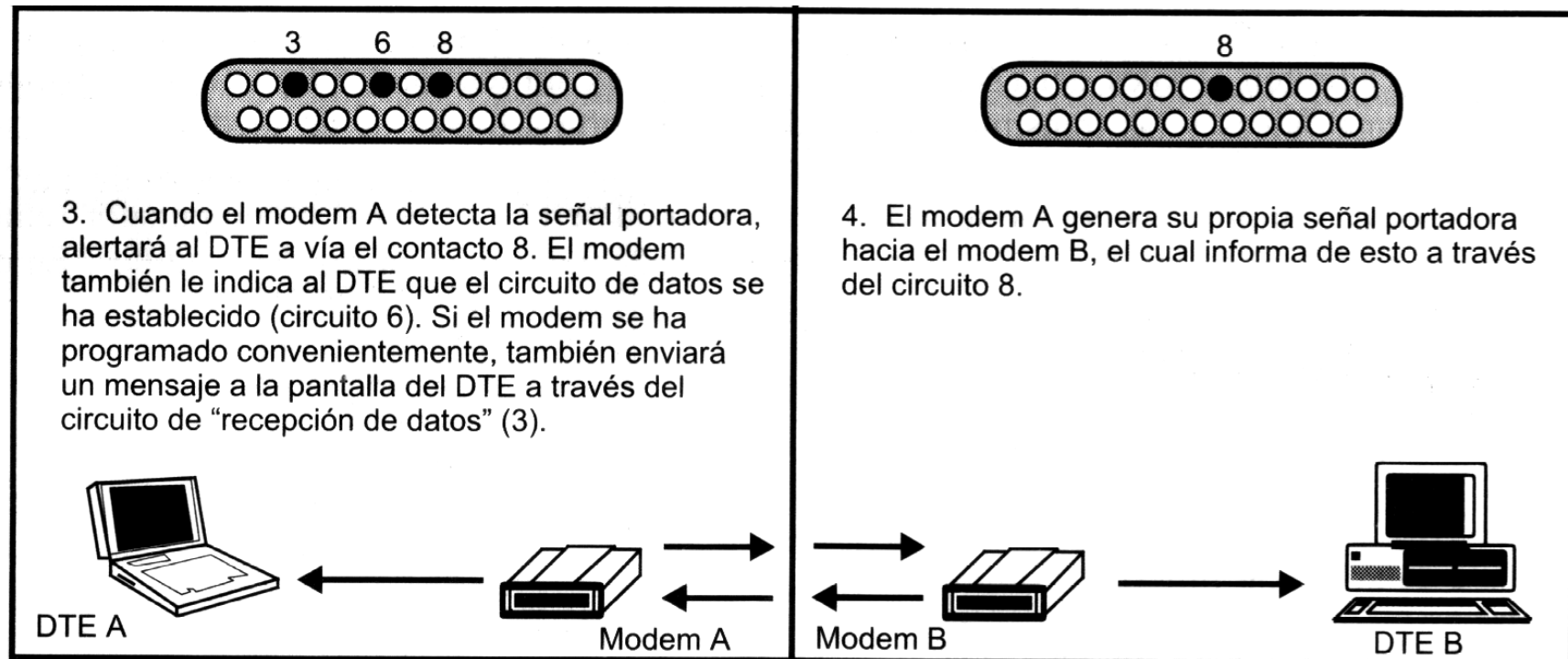
Establecimiento de una llamada (I).



Interfaces (estándares de conexión DTE-DCE) VII

V24/EIA-232-E:

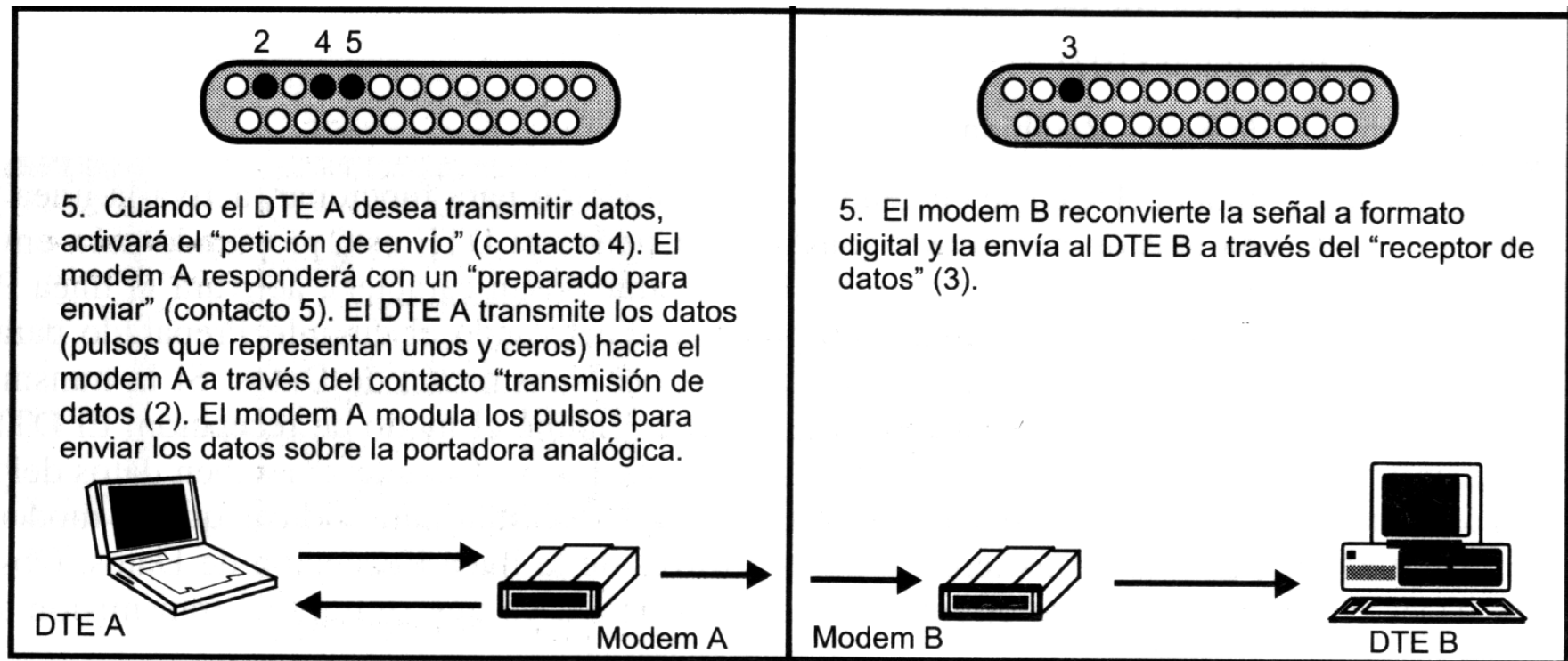
Establecimiento de una llamada (II).



Interfaces (estándares de conexión DTE-DCE) VIII

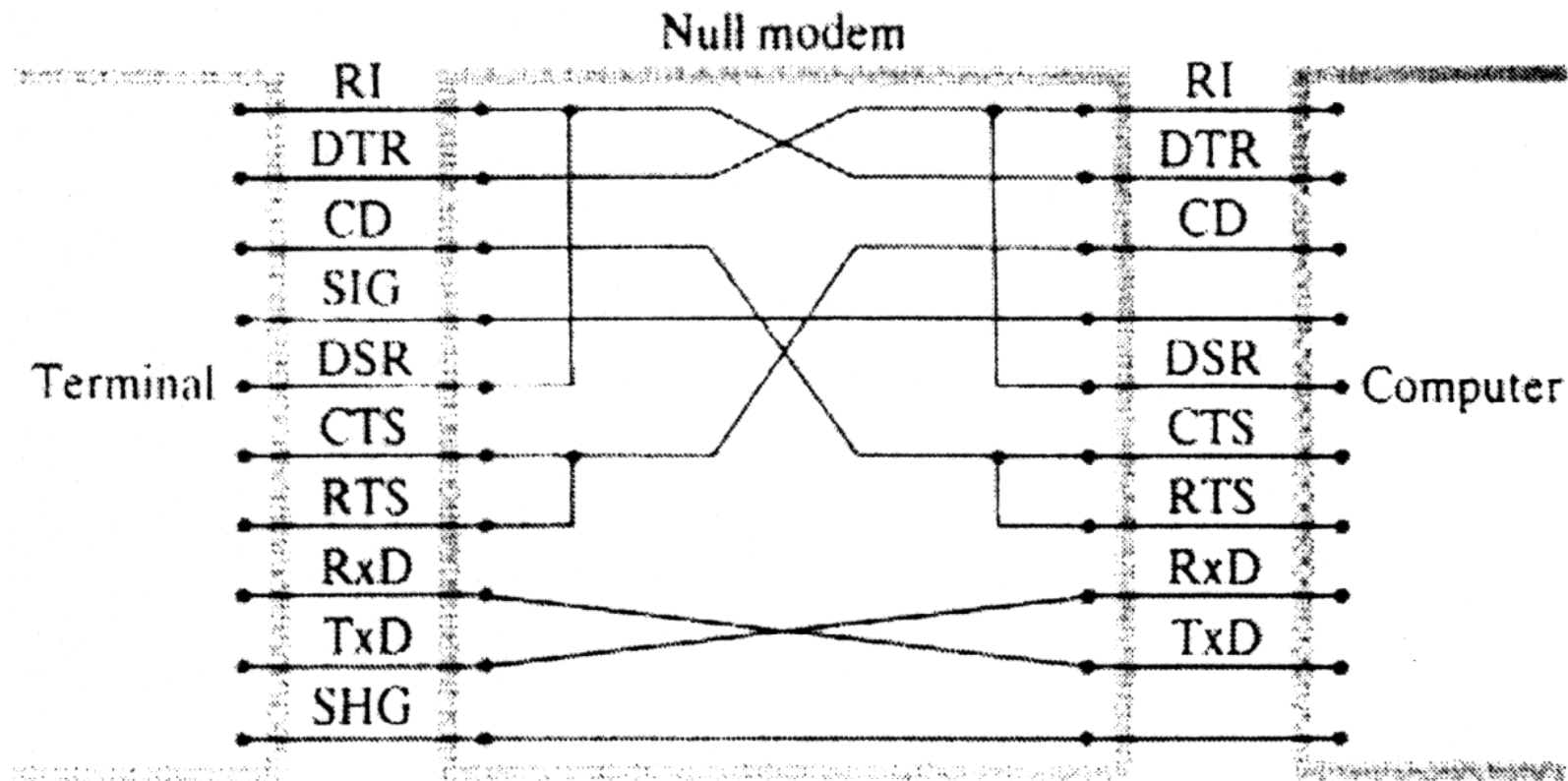
V24/EIA-232-E:

Establecimiento de una llamada (y III).



Interfaces (estándares de conexión DTE-DCE) IX

V24/EIA-232-E: Modem nulo.



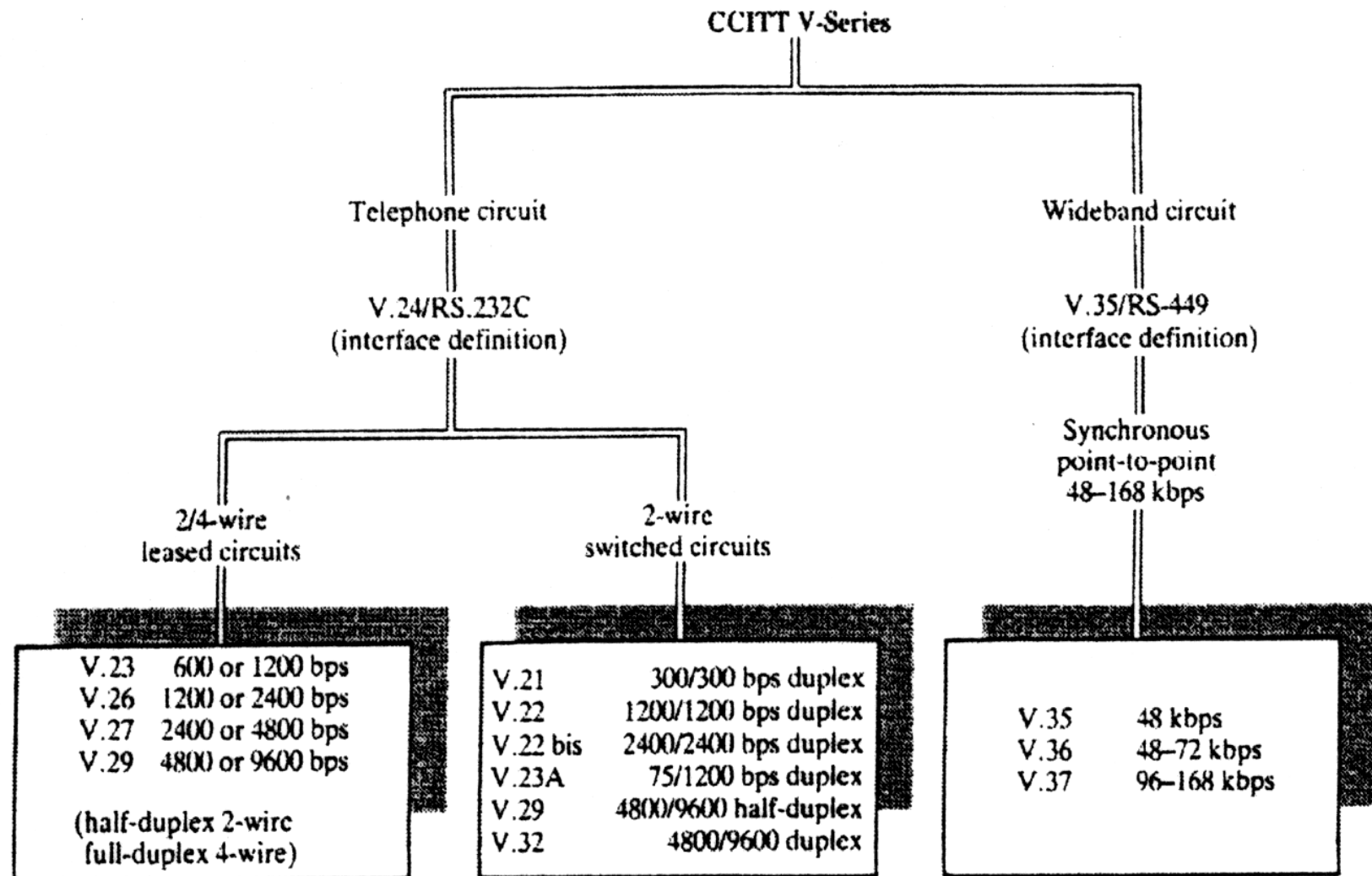
Interfaces (estándares de conexión DTE-DCE) X

RS-449: Este estándar se usa con las señales eléctricas RS-422/423 cuando se necesita una separación mayor entre el DCE y el DTE.

- Emplea un conector de 37 patillas.
- Cada línea RS-422, al ser diferencial, necesita dos cables.
- En la práctica, hay dos especificaciones separadas: RS-422 (balanceada) y RS-423 (no balanceada).

Circuito Receptor	Máxima separación (m)	Máxima tasa de bits
RS-423	10	100 kbps
	100	10 kbps
	1000	1 kbps
RS-422	10	10 Mbps
	100	1 Mbps
	1000	100 kbps

Interfaces (estándares de conexión DTE-DCE) XI

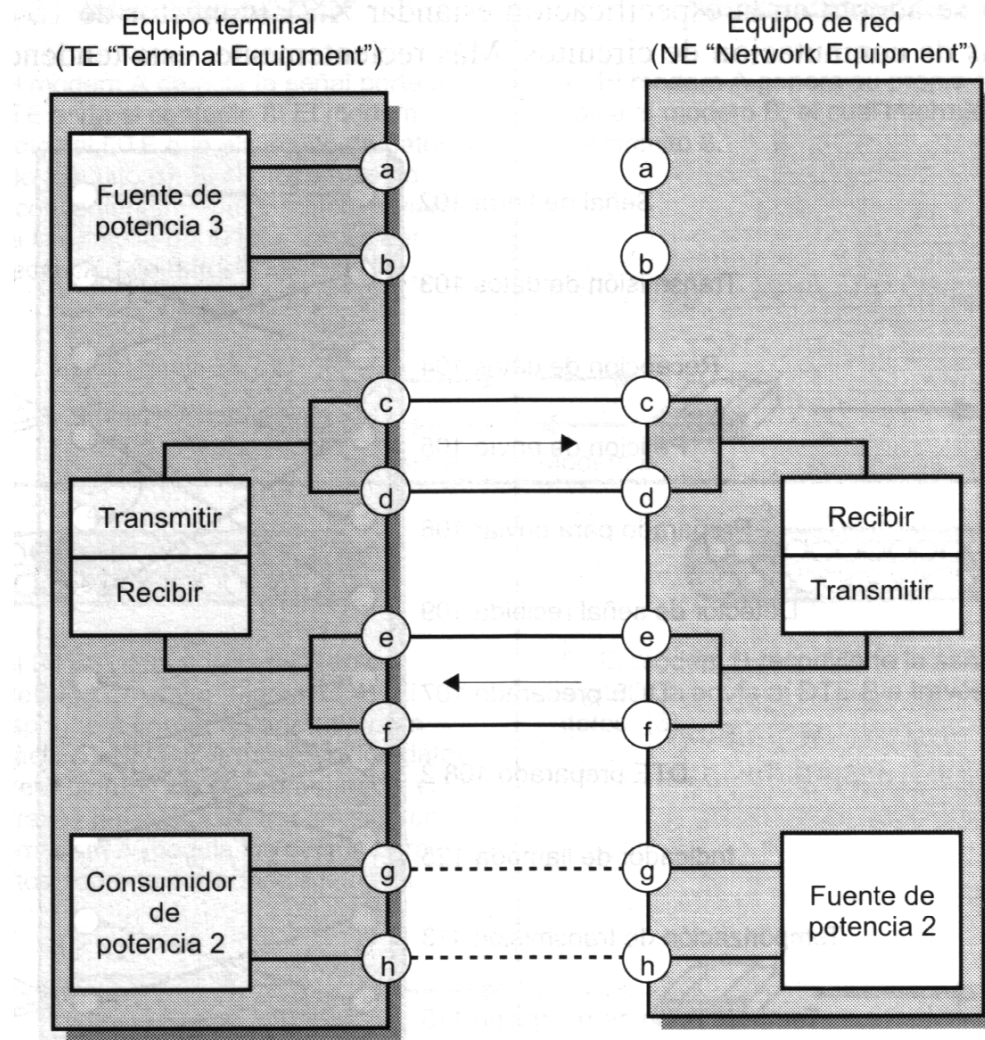


Interfaces (estándares de conexión DTE-DCE) XII

Interfaz física de la RDSI (Red Digital de Servicios Integrados):

TE: Terminal equipment (equipo terminal)

NT: Network-terminating equipment (equipo terminador de línea)



Medios de Transmisión (I)

Medios de Transmisión Guiados

- **Par trenzado :**

- Aislado independientemente
- Trenzado conjuntamente
- A veces “embutido” en un cable.
- Normalmente se instala en los edificios cuando se construyen.



Hay varios tipos:

- ***UTP*** (*Unshielded Twisted Pairs*)
- ***STP*** (*Shielded Twisted Pairs*)
- ***FTP*** (*Foiled Twisted Pairs*)

Existen estándares que definen los cables y su hardware asociado. Es muy utilizada la categoría 5 (clase D).

UTP



STP

Global braid
Pair foil



FTP

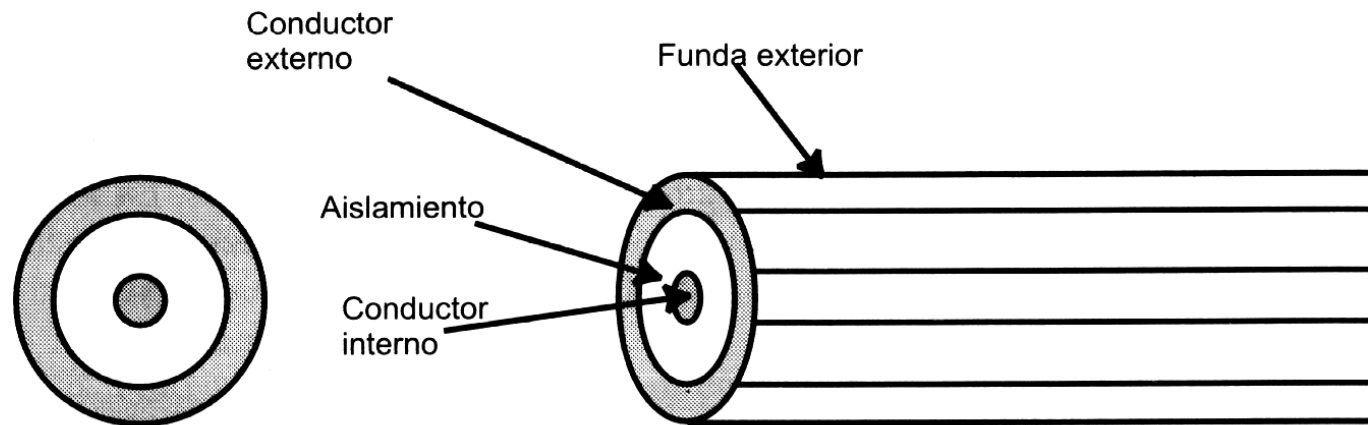
Global braid
Global foil



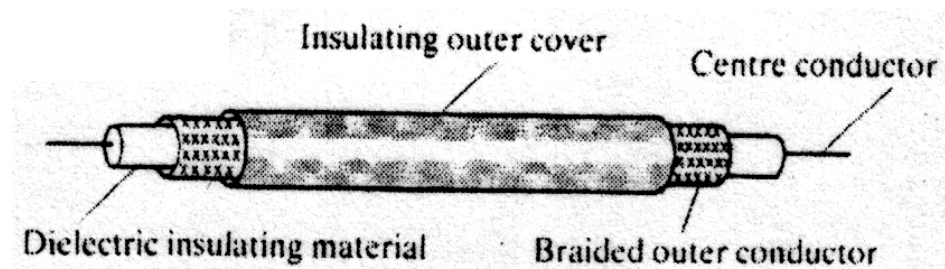
Medios de Transmisión (II)

Medios de Transmisión Guiados

▪ Cable coaxial.



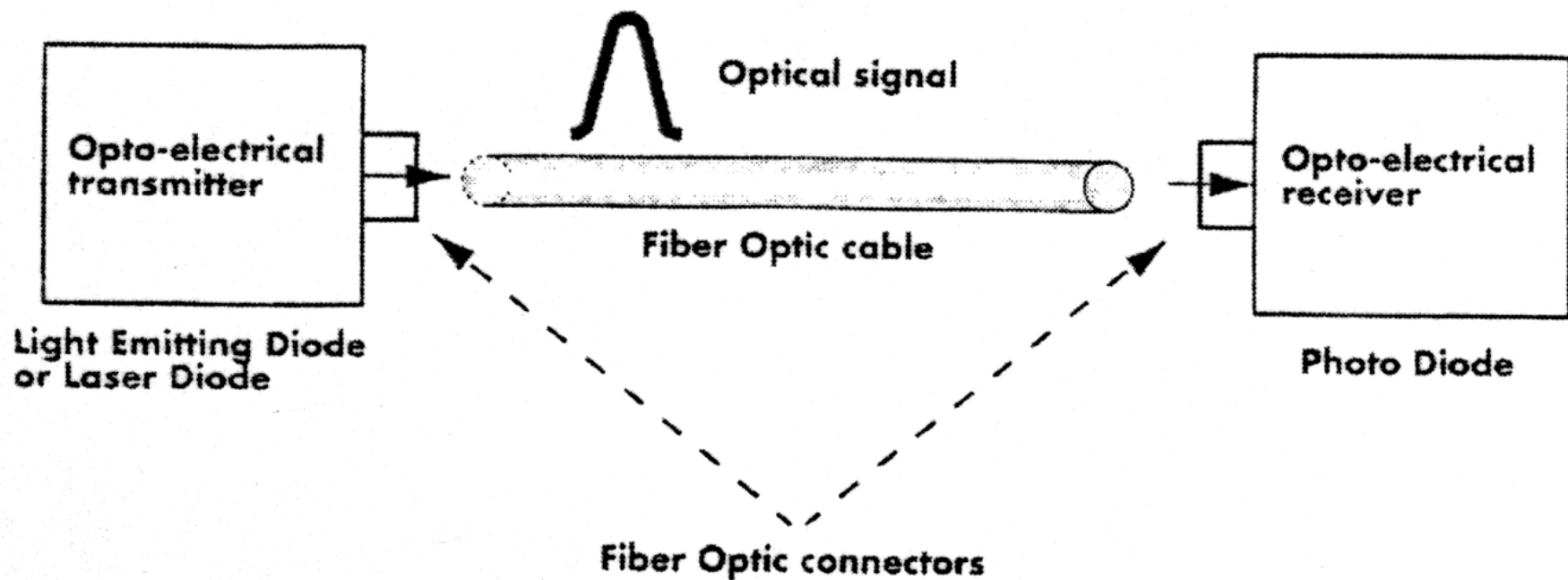
- El conductor externo forma una malla de protección
- El conductor interno es un metal sólido
- Separados por material aislante
- Cubiertos por material de relleno



Medios de Transmisión (III)

Medios de Transmisión Guiados

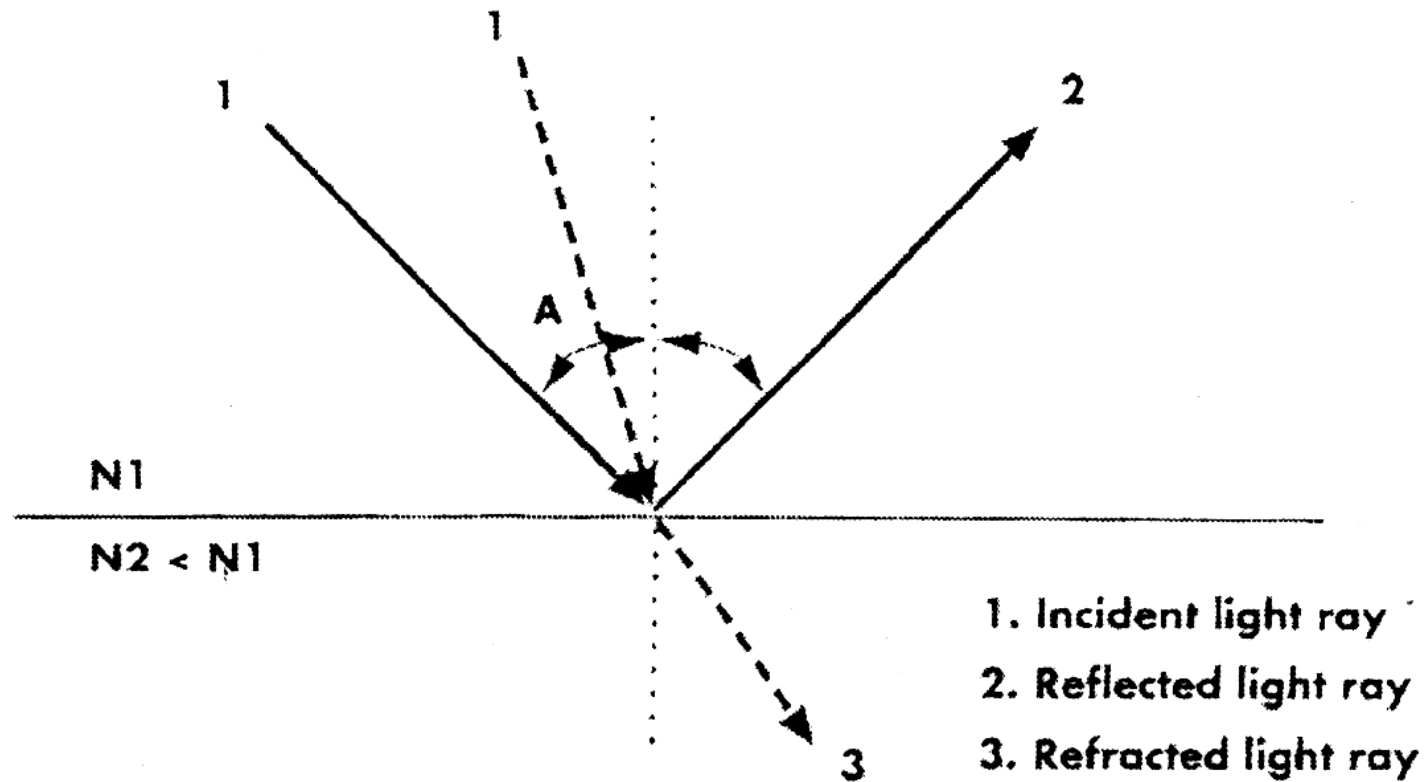
- **Fibra óptica:** Esquema general de un enlace óptico.



Medios de Transmisión (IV)

Medios de Transmisión Guiados

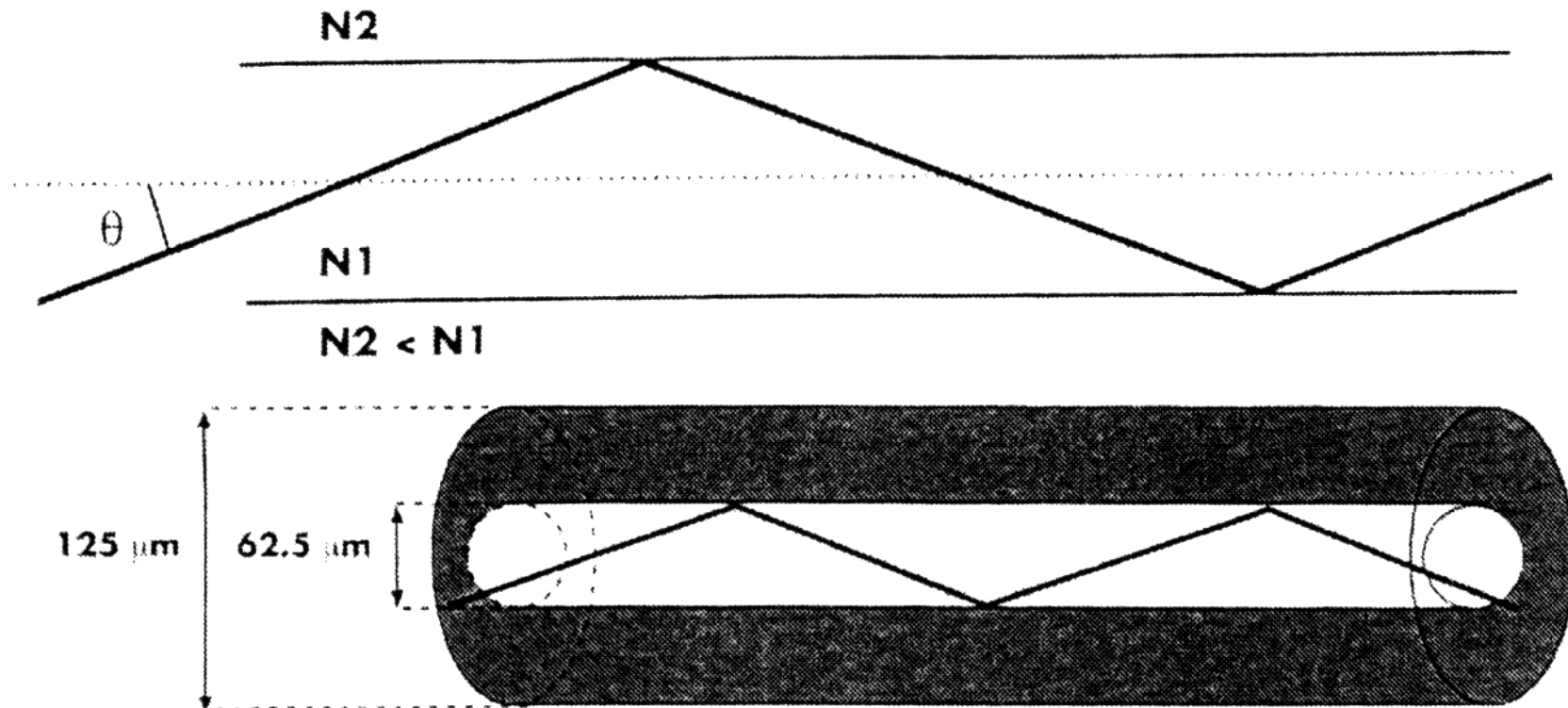
- **Fibra óptica:** Refracción y reflexión de la luz.



Medios de Transmisión (V)

Medios de Transmisión Guiados

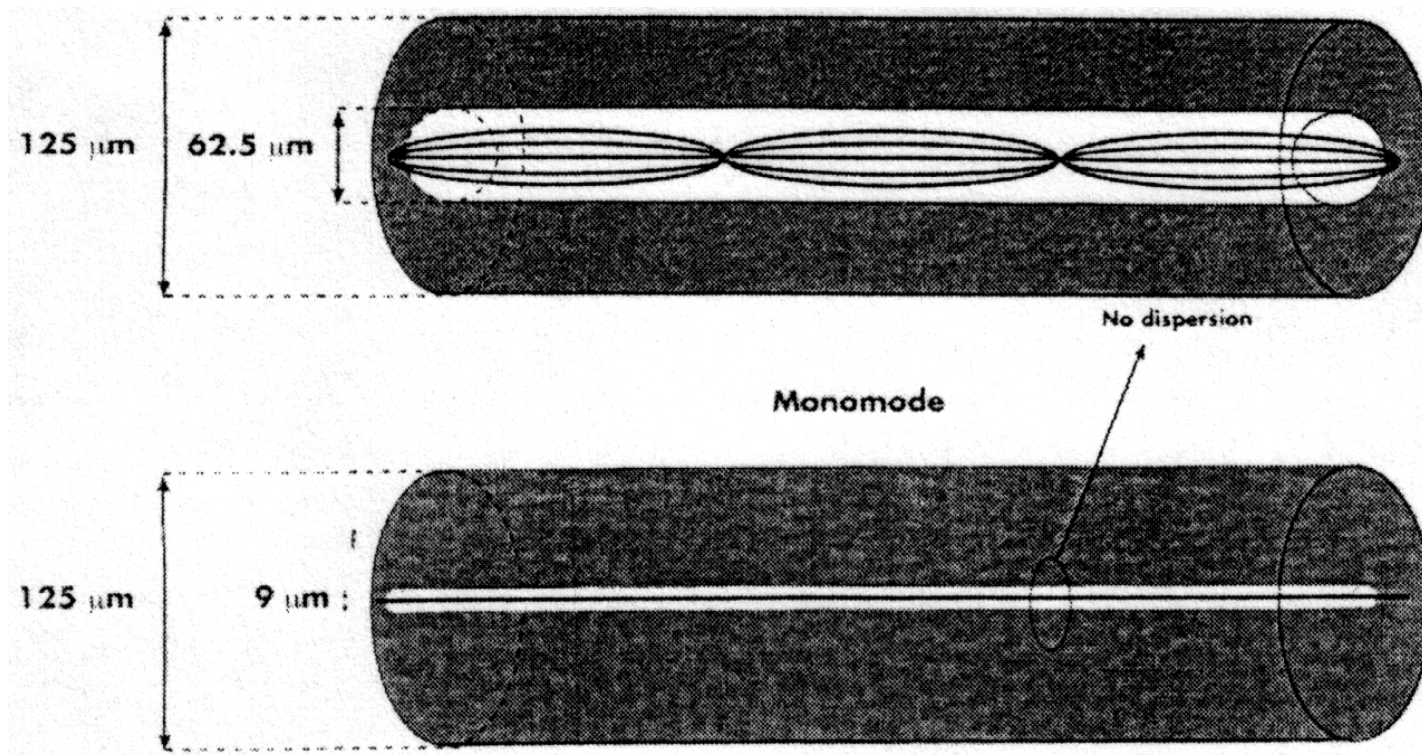
- **Fibra óptica:** Reflexión de la luz en índice discreto.



Medios de Transmisión (VI)

Medios de Transmisión Guiados

- **Fibra óptica:** Fibras multimodo gradual y fibras monomodo.

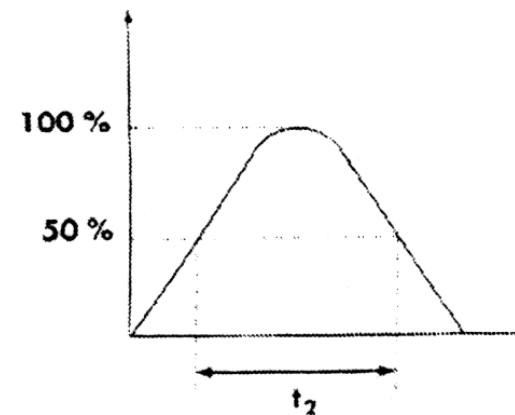
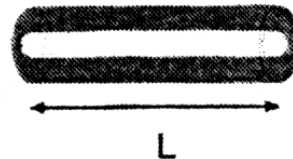
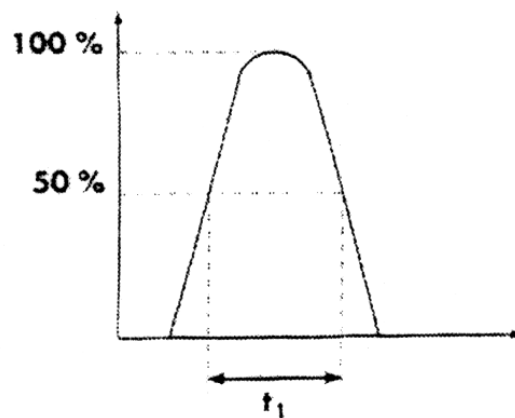
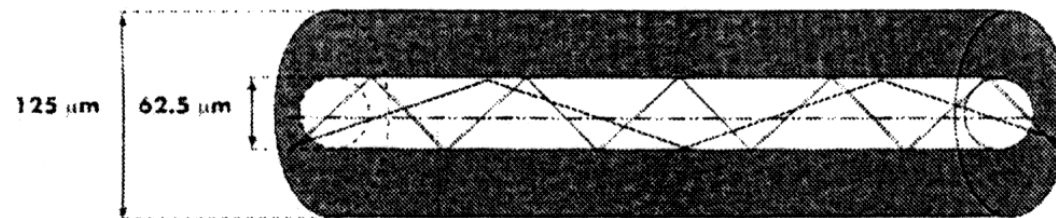


Medios de Transmisión (VII)

Medios de Transmisión Guiados

- **Fibra óptica:** Dispersión. Sus causas principales son la dispersión de modo y la dispersión del material.

$$d = \sqrt{\frac{(t_2)^2 - (t_1)^2}{L}}$$

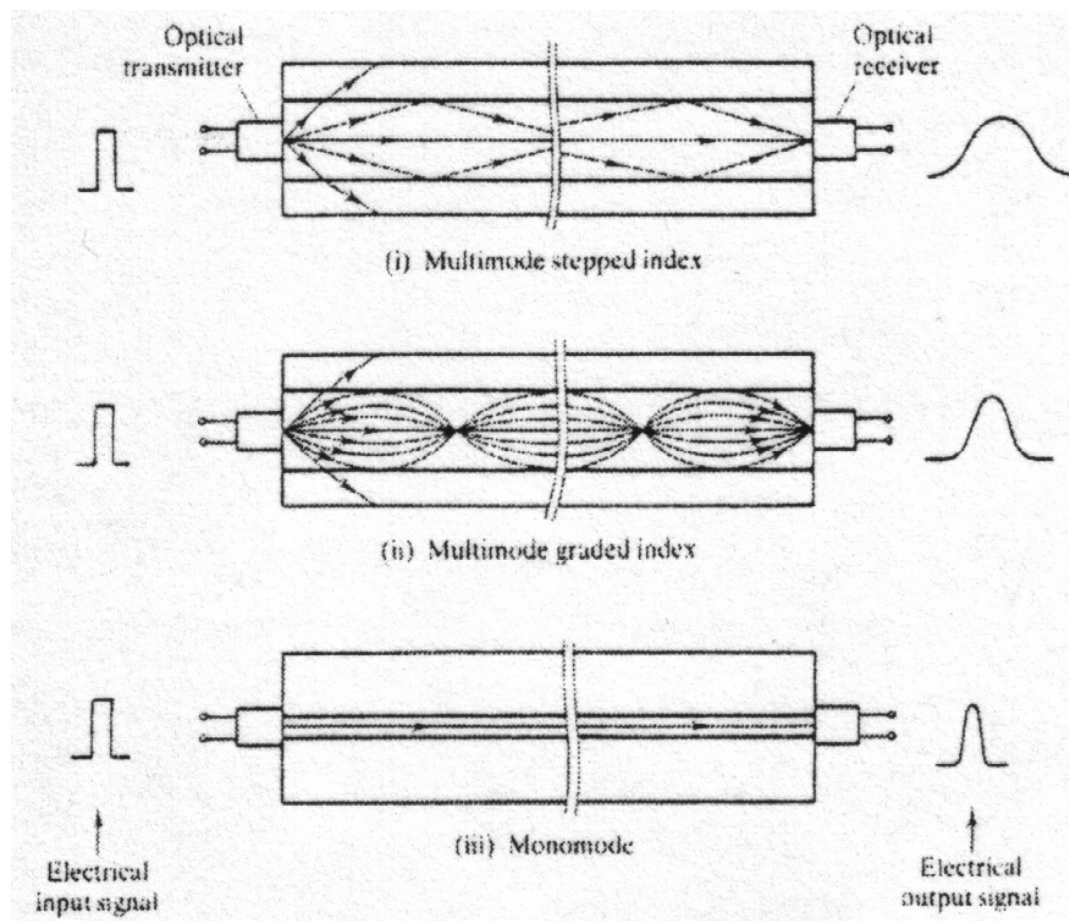


Medios de Transmisión (VIII)

Medios de Transmisión Guiados

Fibra óptica:

Efecto de la dispersión en los distintos tipos de fibra.



Medios de Transmisión (IX)

Medios de Transmisión No Guiados

- Microondas terrestres. Usan antenas direccionales montadas normalmente en torres. La distancia máxima entre antenas verifica:

$$d = 7.14 \sqrt{k \cdot h}$$

siendo:

d = distancia de separación en kilometros.

H = la altura de la antena en metros.

k = factor de corrección de la refracción de las microondas con la curvatura de la tierra, típicamente $k=4/3$.

Medios de Transmisión (X)

Medios de Transmisión No Guiados

- Microondas terrestres. La atenuación viene expresada como:

$$L = 10 \log \left(\frac{4\pi d}{\lambda^2} \right)^2 \text{ en dB}$$

siendo:

d = la distancia.

λ = la longitud de onda.

La frecuencia de emisión determina el ancho de banda y la razón de bits que puede utilizarse.

Banda (GHz)	Ancho de banda (MHz)	Razón de datos (Mbps)
2	7	12
6	30	90
11	40	90
18	220	274

Medios de Transmisión (XI)

Medios de Transmisión No Guiados

- Microondas por satélite: Un satélite es esencialmente una estación que retransmite microondas. Entre sus aplicaciones podemos citar:
 - Difusión de televisión.
 - Transmisión telefónica a larga distancia.
 - Redes privadas.

Los satélites deben ser geoestacionarios (a una distancia de 35784 Km).

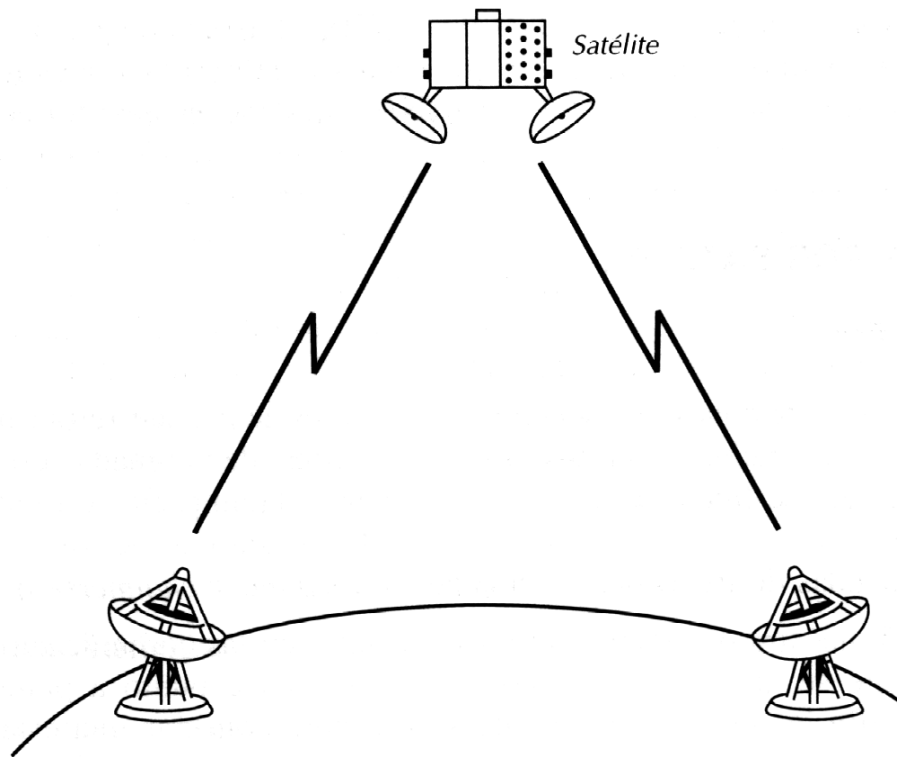
El rango de frecuencias óptimo para la transmisión via satélite es de 1 a 10 GHz.

La transmisión hacia el satélite y la transmisión desde el satélite se efectúan a frecuencias distintas, lo que permite una transmisión continua.

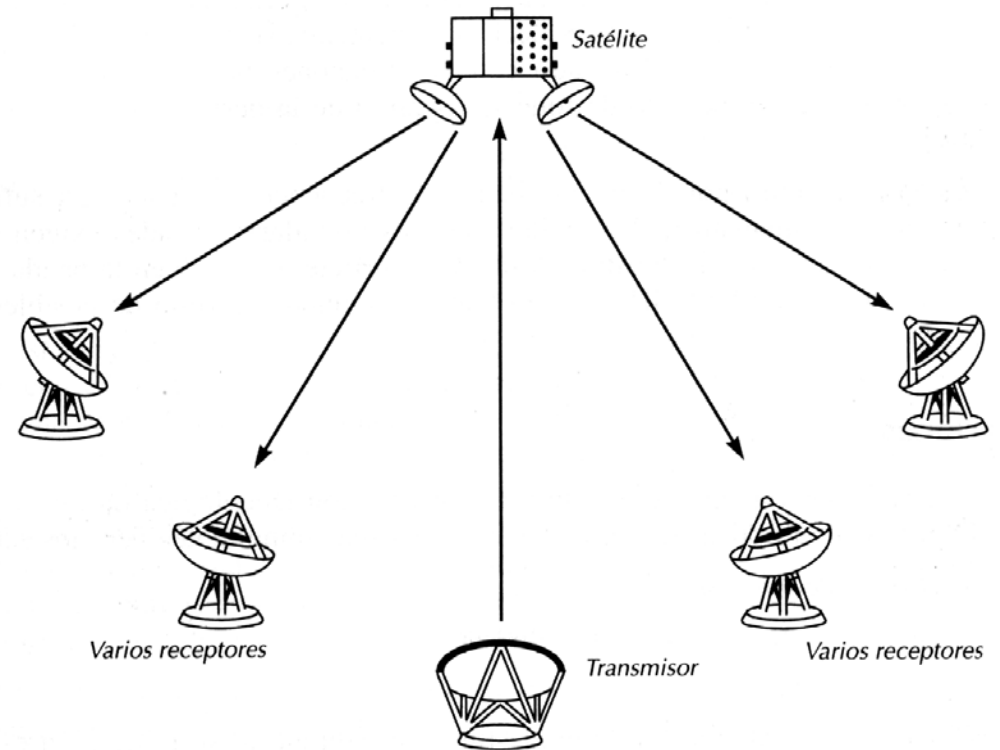
Medios de Transmisión (XII)

Medios de Transmisión No Guiados

- Microondas por satélite: Distintas configuraciones de comunicaciones por satélite.



(a) Enlaces punto a punto de microondas vía satélite



(b) Enlaces de difusión de microondas vía satélite

Medios de Transmisión (XIII)

Medios de Transmisión No Guiados

- Microondas por satélite:
Configuración VSAT (Very Small Aperture Terminal).

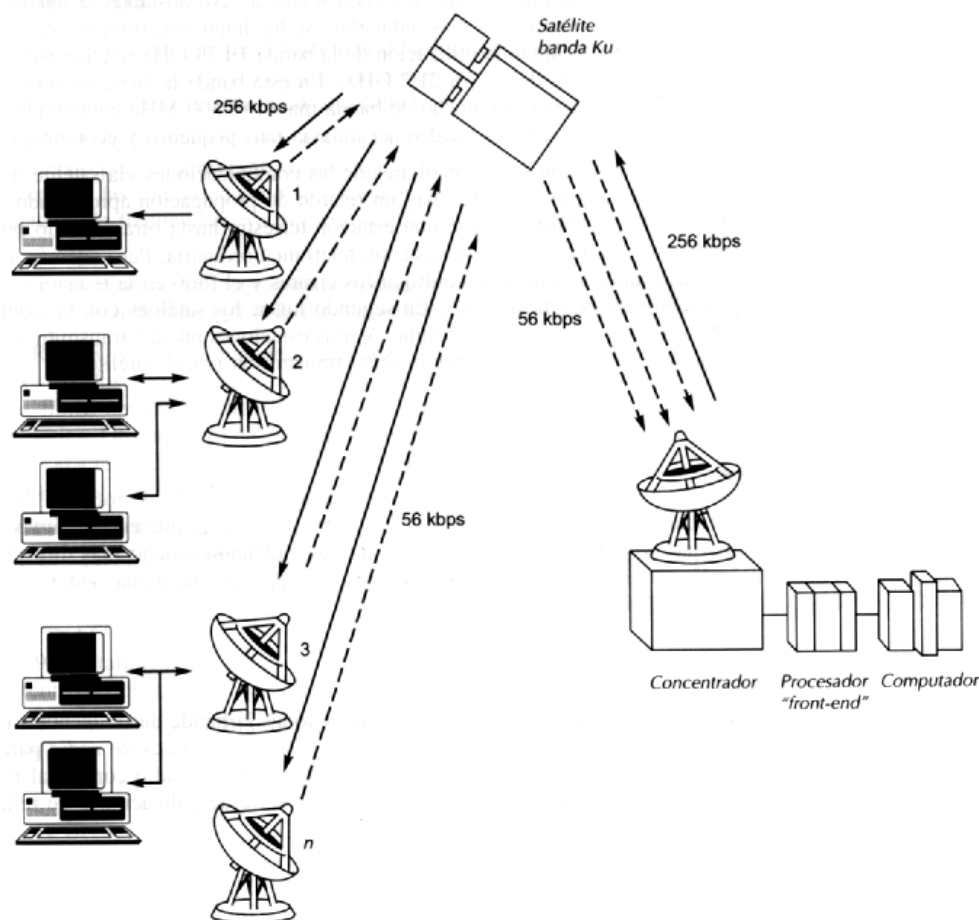
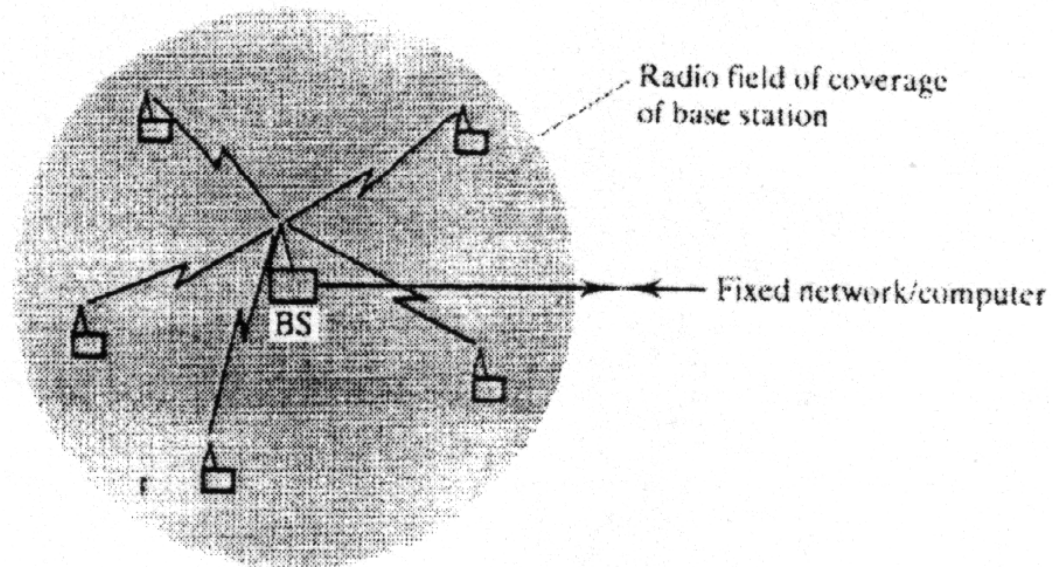


Figura 4.6. Configuración VSAT.


Medios de Transmisión (XIV)

Medios de Transmisión No Guiados

- Ondas de Radio: A diferencia de las microondas, éstas son omnidireccionales. No necesitan antenas parabólicas.



BS = Base station

 = User computer/terminal

Medios de Transmisión (XV)

Medios de Transmisión No Guiados

- Infrarrojos: Las comunicaciones se llevan a cabo mediante receptores y transmisores que modulan luz infrarroja no coherente. Los receptores y transmisores deben estar alineados o pueden aprovechar superficies reflectantes, como el techo de una habitación.

A diferencia de las microondas, los rayos infrarrojos no pueden atravesar las paredes.

No existen problemas de asignación de frecuencias, ya que en esta banda no se necesitan permisos.

Circuitos de control de transmisión



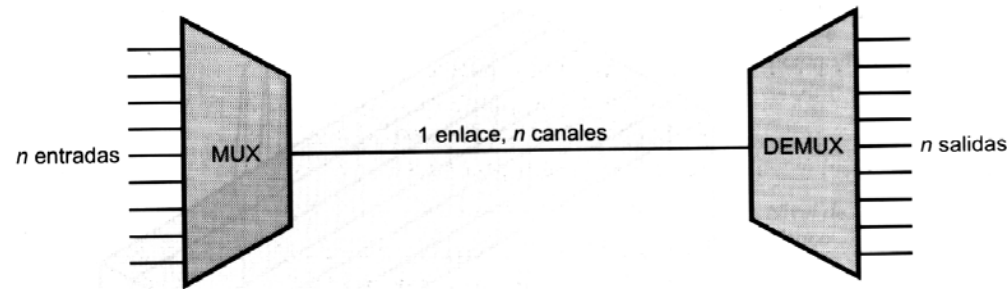
Son hoy en día circuitos integrados, normalmente de tipo programable y que también suelen llamarse Circuitos Universales de Interfaz de Comunicación.

Algunas de las funciones que realizan son:

- Inserción y borrado del bit de comienzo y el de parada.
- Sincronización de bits (reloj).
- Sincronización de caracteres.
- Generación de bit de paridad.
- Generación de CRC.
- Etc.

Multiplexación (I)

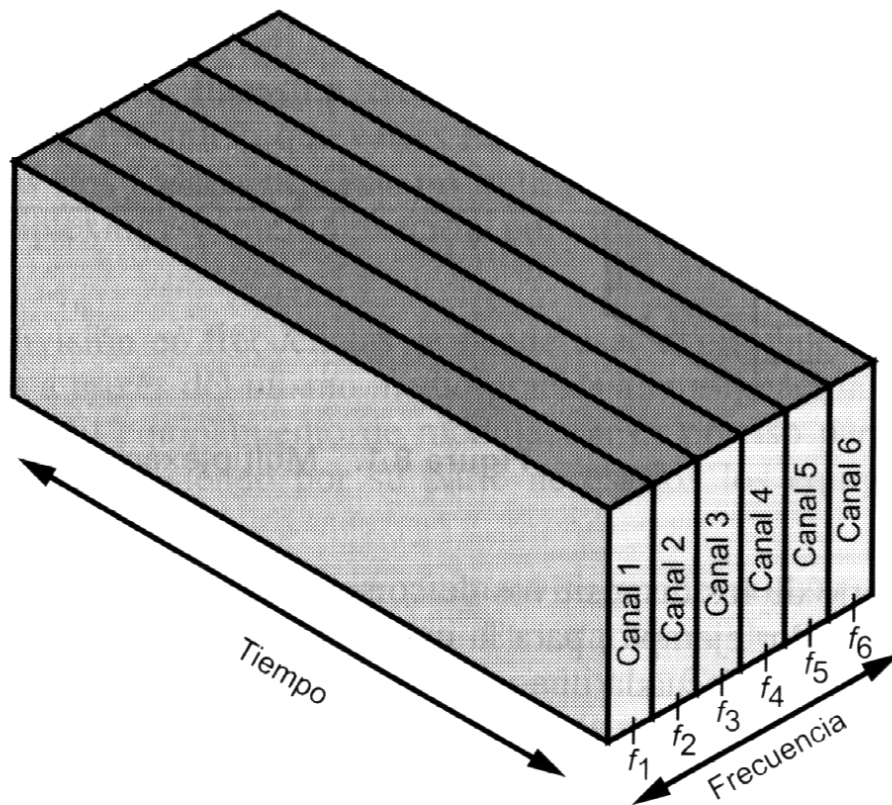
La multiplexación consiste en compartir la capacidad de un enlace de datos entre varias estaciones emisoras y/o receptoras de datos.



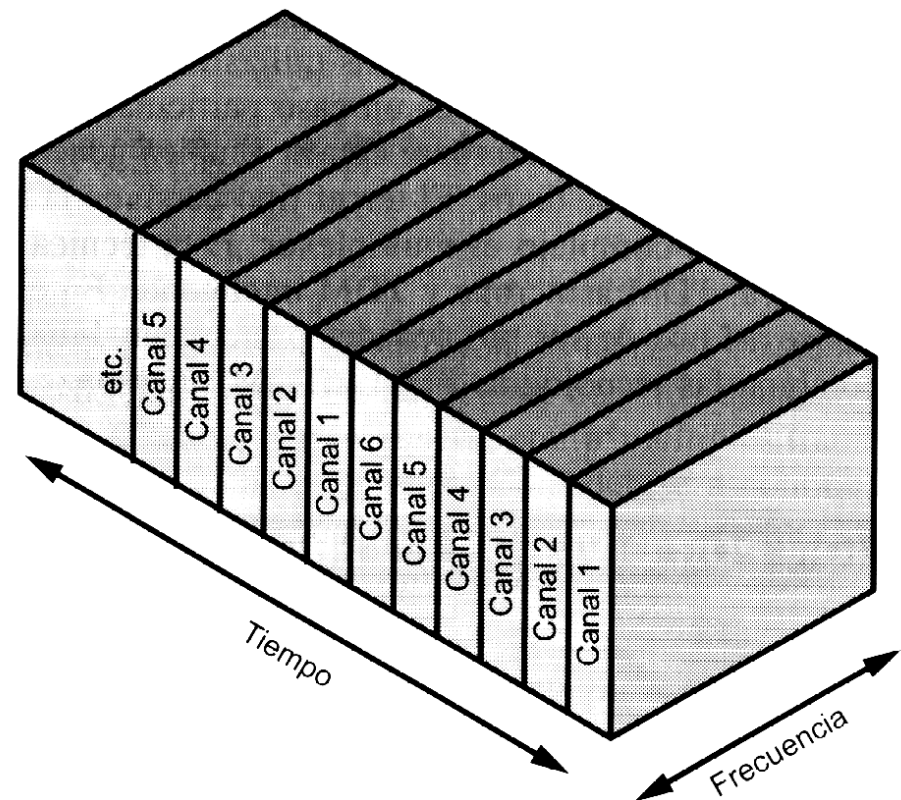
Los tipos fundamentales de multiplexación son:

- *Multiplexación por división en frecuencias* (FDM – Frequency Division Multiplexing).
- *Multiplexación por división en el tiempo síncrona* (TDM – Time Division Multiplexing).
- *Multiplexación TDM estadística.*

Multiplexación (II)



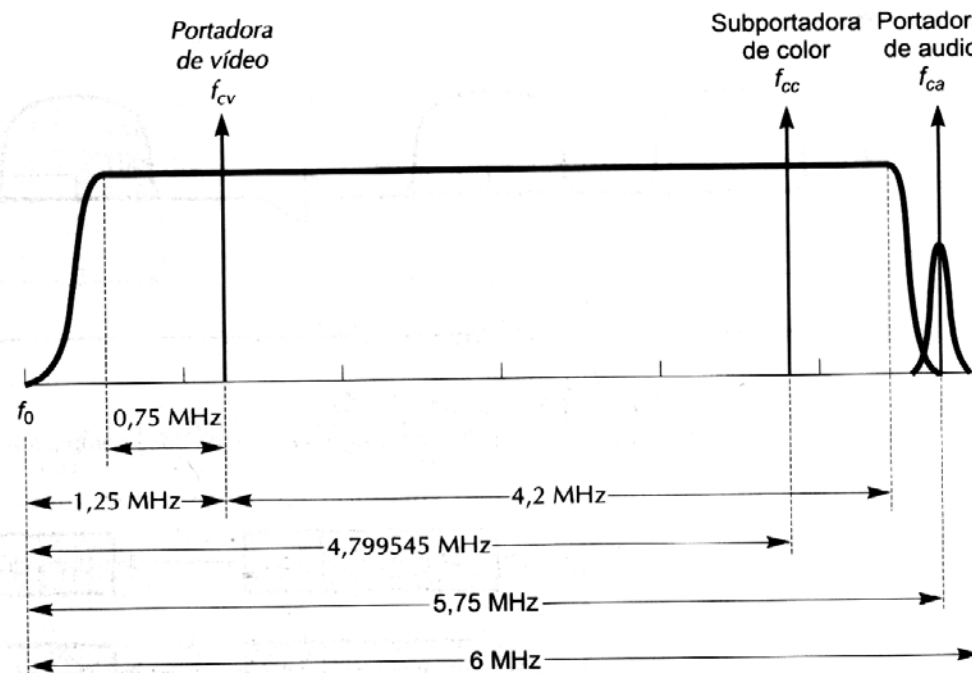
(a) Multiplexación por división en frecuencias



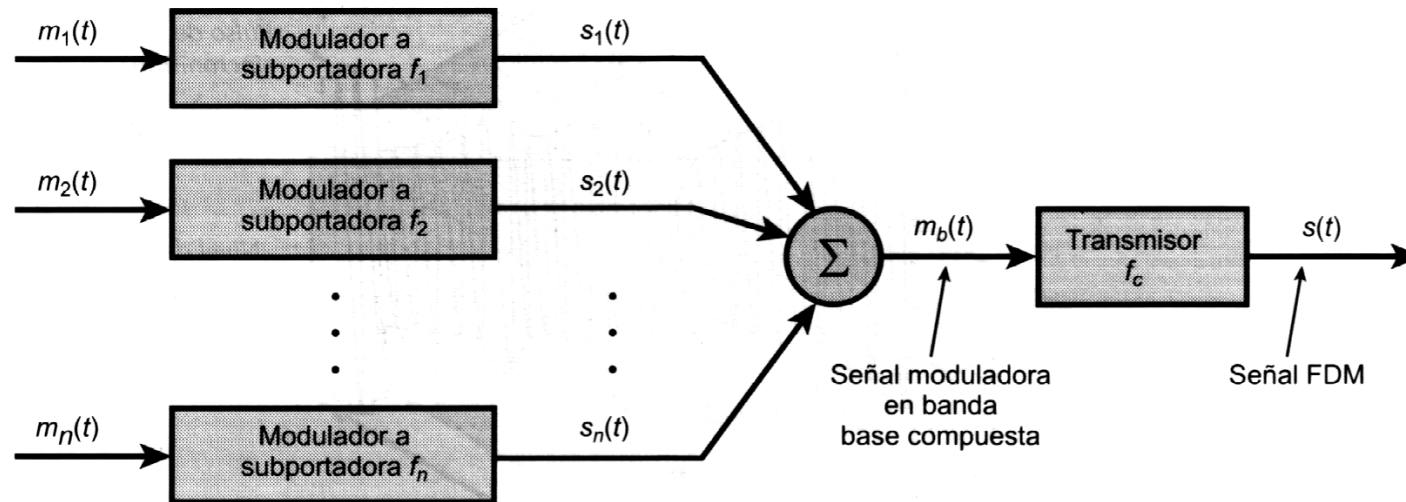
(b) Multiplexación por división en el tiempo

Multiplexación por división en frecuencias (I)

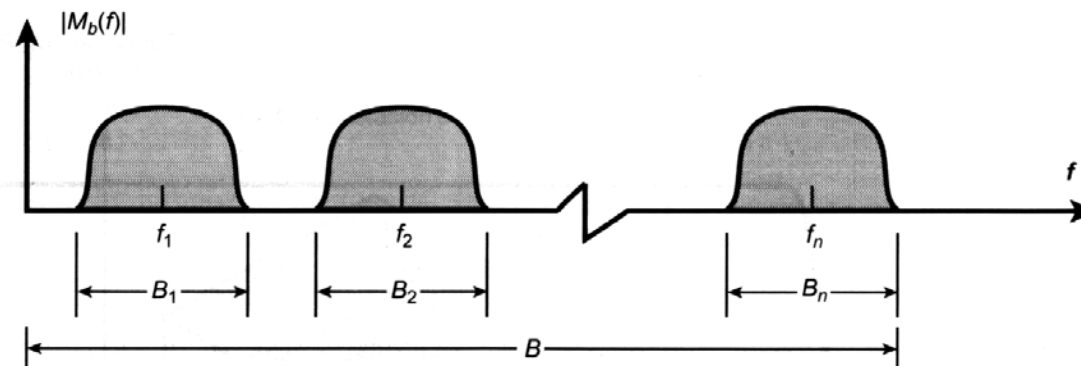
- Es posible siempre que el ancho de banda útil del medio de transmisión sea mayor que el ancho de banda útil de la señal transmitida.
- Cada señal se modula con una frecuencia portadora distinta, separadas lo suficientemente como para que no se solapen.



Multiplexación por división en frecuencias (II)

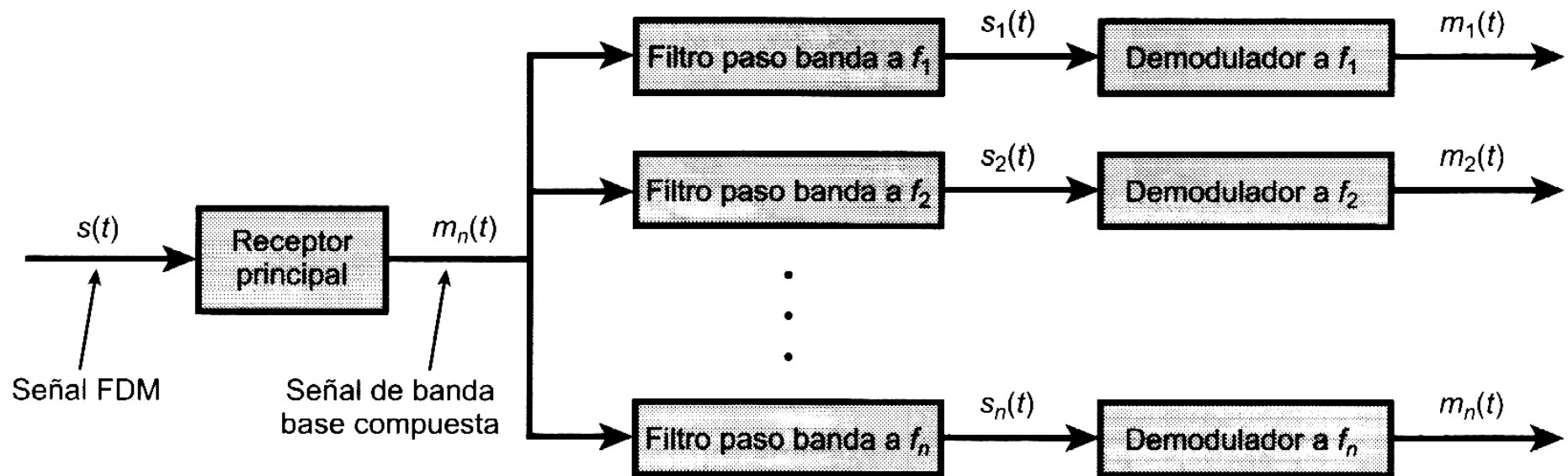


(a) Transmisor



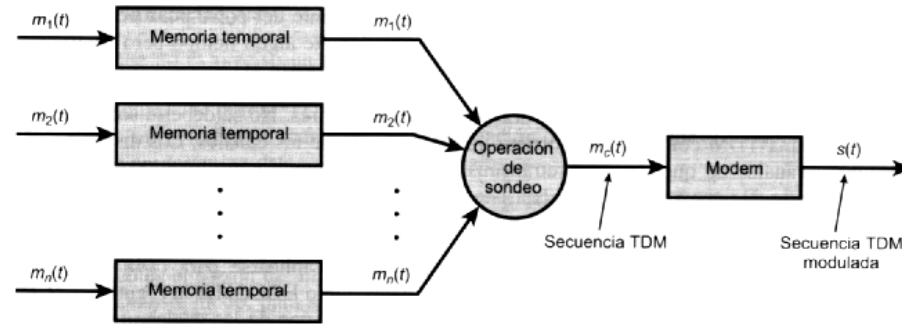
(b) Espectro de la señal moduladora en banda base compuesta

Multiplexación por división en frecuencias (III)

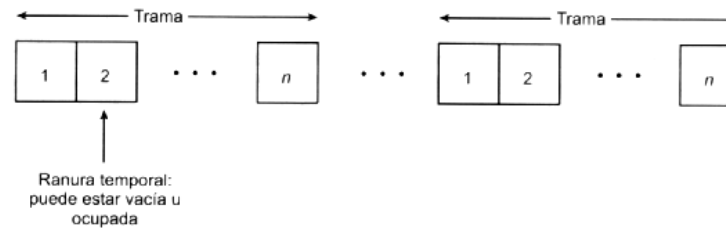


(c) Receptor

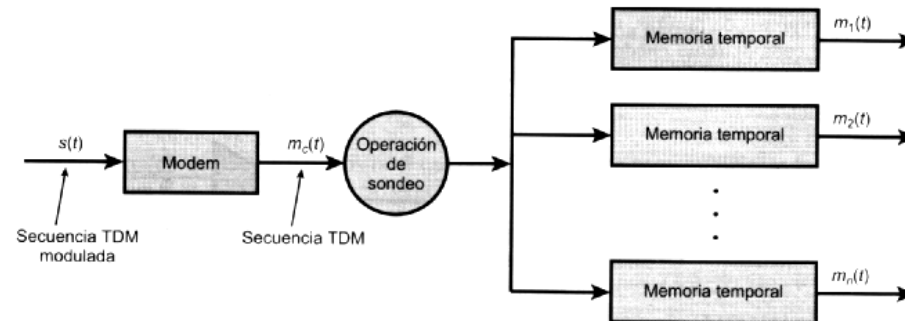
Multiplexación por división en el tiempo



(a) Transmisor

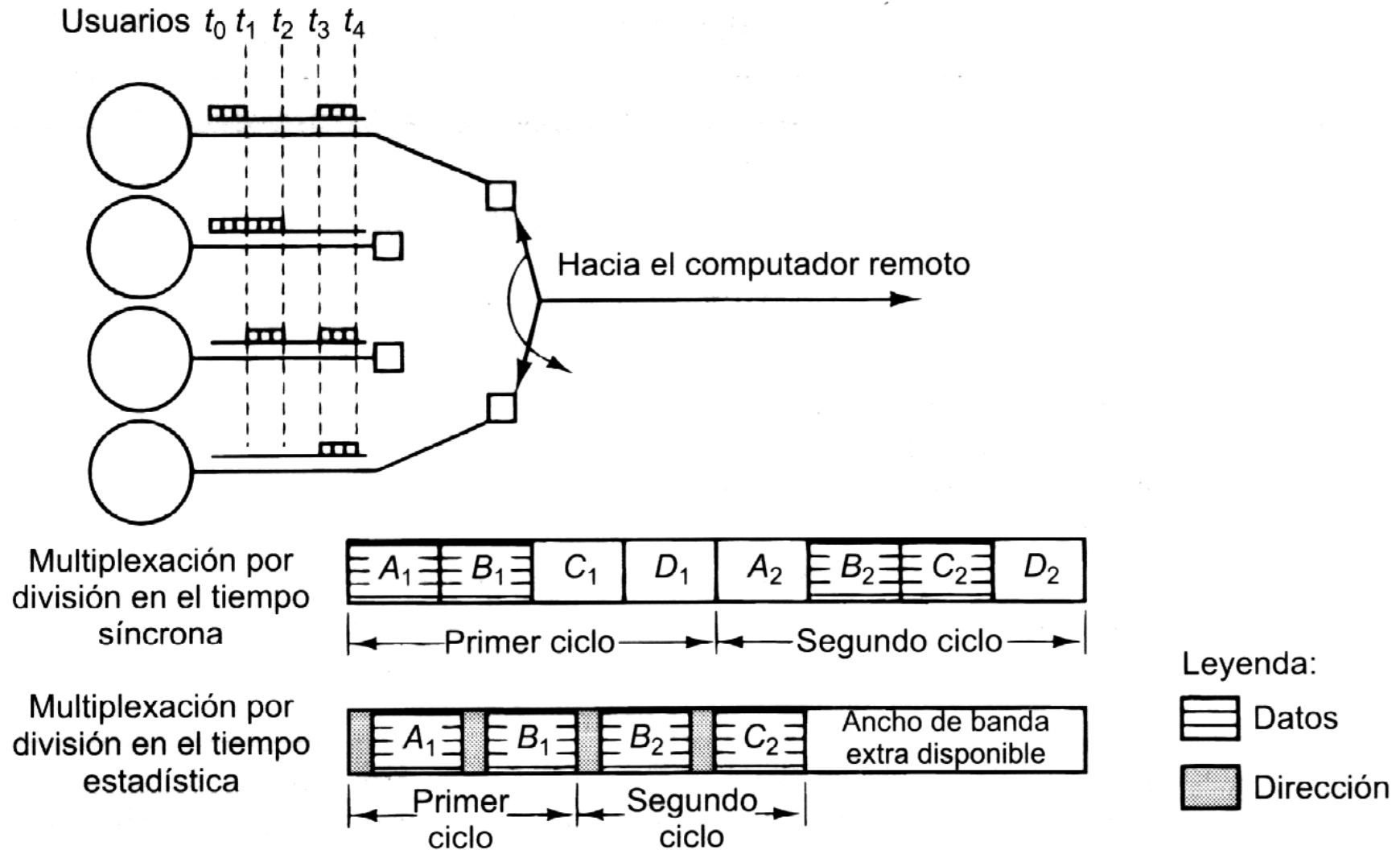


(b) Tramas TDM



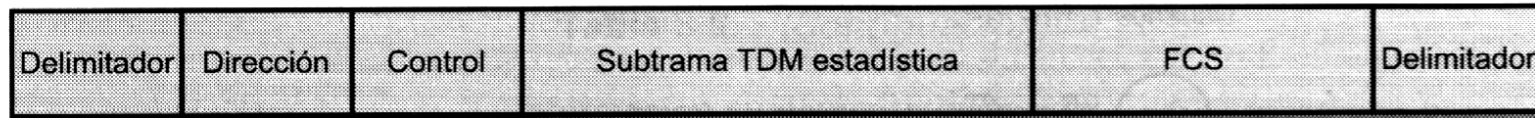
(c) Receptor

Multiplexación estadística (I)

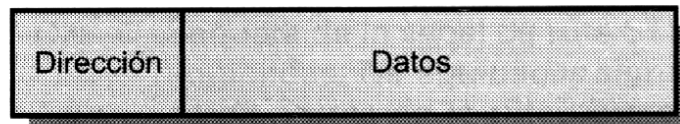


Multiplexación estadística (II)

Formatos de trama TDM estadística:



(a) Trama completa



(b) Subtrama con una fuente por trama



(c) Subtrama con varias fuentes por trama