



Capítulo 5

Transmisión analógica

5-1 CONVERSIÓN DE DIGITAL A ANALÓGICO

*La conversión de **digital a analógico** es el proceso de cambiar una de las características de una señal de base analógica en información basada en una señal digital..*

Temas a tratar en esta sección:

Aspectos de la conversión de digital a analógico

Modulación por desplazamiento de amplitud (ASK)

Modulación por desplazamiento de frecuencia (FSK)

Modulación por desplazamiento de fase (PSK)

Modulación de amplitud en cuadratura (QAM)

Figura 5.1 *Conversión de digital a analógico.*

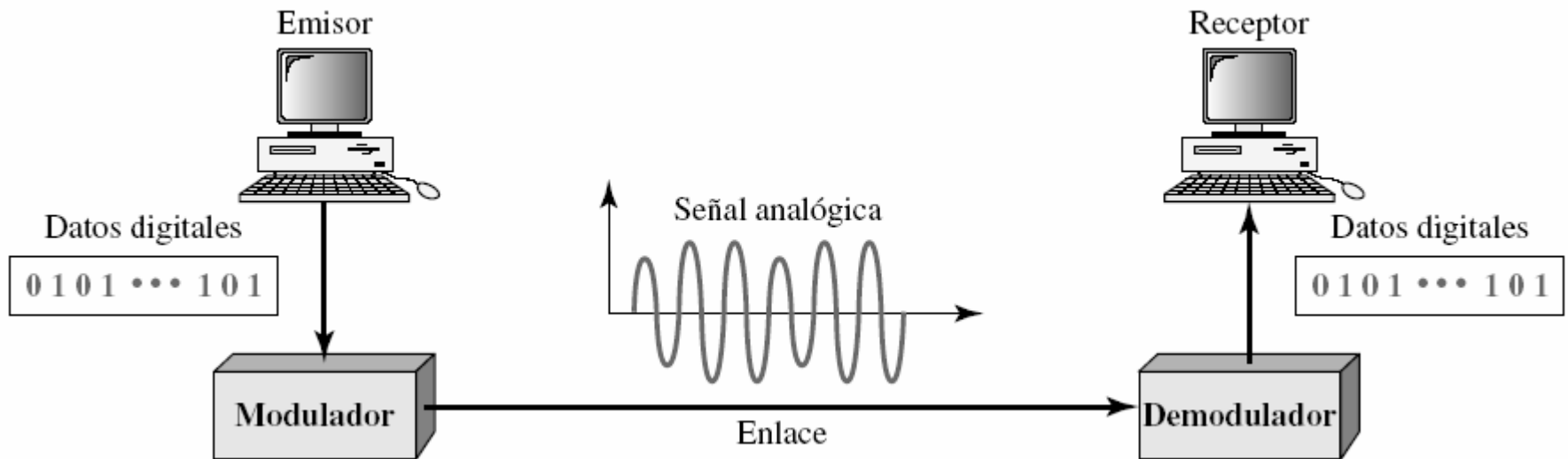
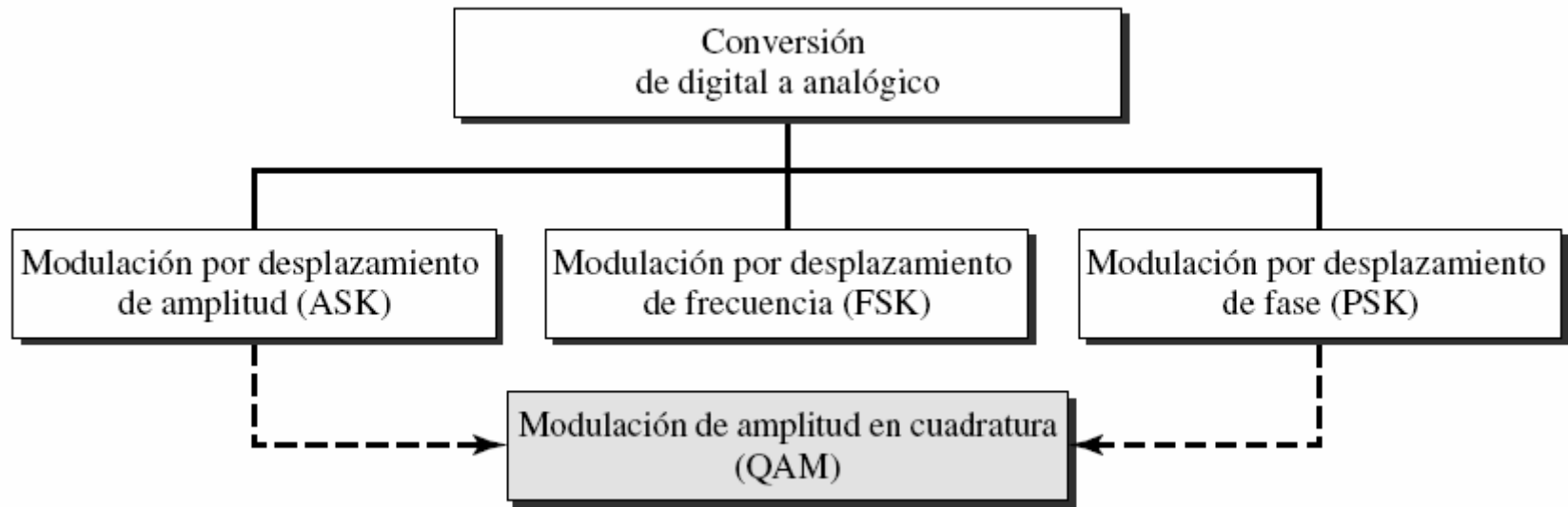


Figura 5.2 *Tipos de conversión de digital a analógico.*





Nota

La tasa de bits es el número de bits por segundo. La tasa de baudios es el número de unidades de señal por segundo.

En la transmisión analógica de datos digitales, la tasa de baudios es menor o igual que la tasa de bits.



Ejemplo 5.1

Una señal analógica transporta 4 bits en cada elemento de señal. Ssi se envían 1000 elementos de señal por segundo, calcule la tasa de bits.

Solución

En este caso, $r = 4$, $S = 1000$ y N es desconocido. Se puede hallar el valor de N con

$$S = N \times \frac{1}{r} \quad \text{o} \quad N = S \times r = 1000 \times 4 = 4000 \text{ bps}$$

Ejemplo 5.2

Una señal analógica tiene una tasa de bit de 8000 bps y de baudio de 1000 baudios. ¿Cuántos elementos de datos son transportados por cada elemento de señal? ¿Cuántos elementos de señal son necesarios?

Solución

En este ejemplo, $S = 1000$, $N = 8000$ y r y L son desconocidos. Se halla primero el valor de r y el de L .

$$\begin{array}{ll} S = N \times \frac{1}{r} & \longrightarrow r = \frac{N}{S} = \frac{8000}{1000} = 8 \text{ bits/ baud} \\ r = \log_2 L & \longrightarrow L = 2^r = 2^8 = 256 \end{array}$$

Figura 5.3 *Modulación binaria en amplitud*

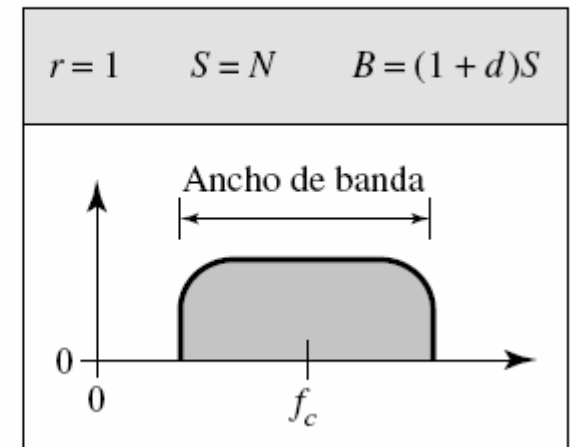
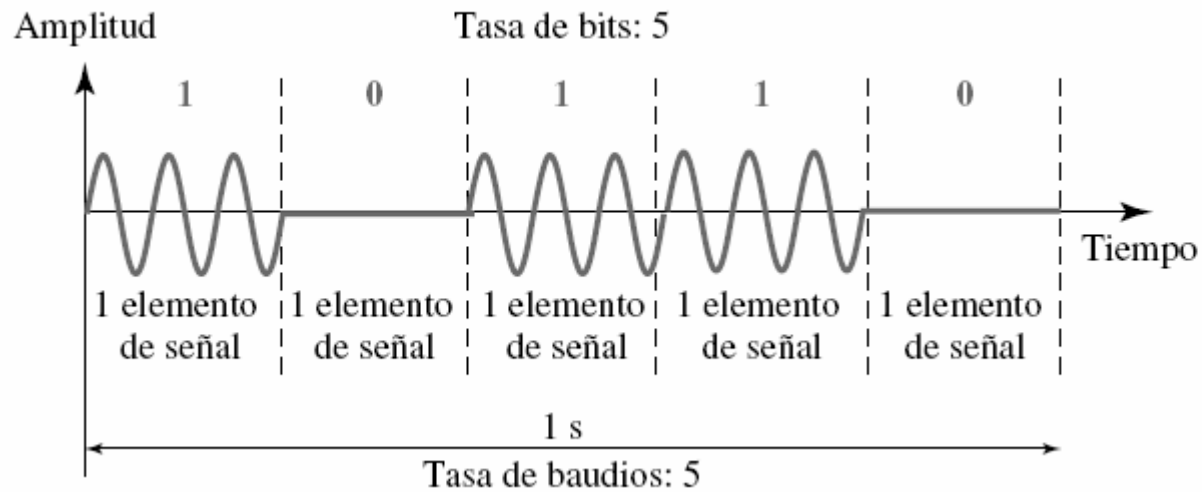
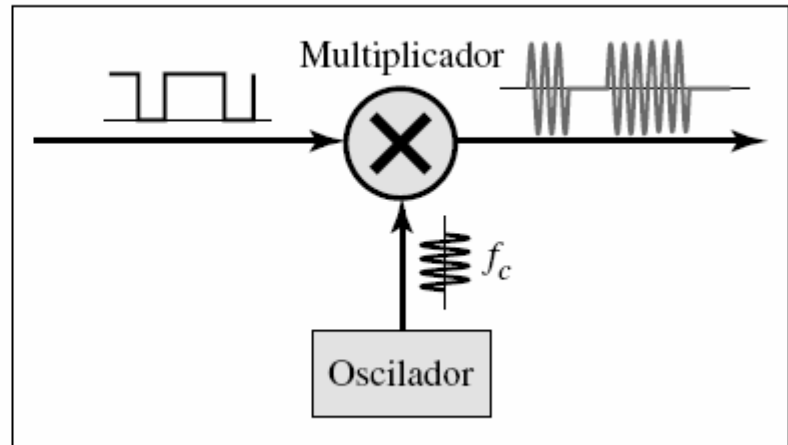
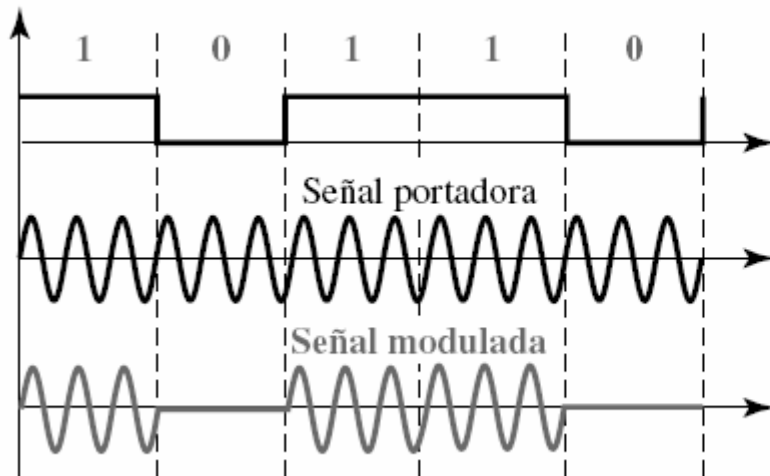


Figura 5.4 *Implementación de ASK binario.*



Ejemplo 5.3

Sea un ancho de banda disponible de 100 kHz que se extiende entre 200 y 300 kHz. ¿Cuál es la frecuencia portadora y la tasa de bits si se modulan los datos usando ASK con $d = 1$?

Solución

La mitad del ancho de banda está en 250 kHz. Esto significa que nuestra frecuencia portadora puede estar en $f_c = 250$ kHz. Se puede usar la fórmula para calcular el ancho de banda para hallar la tasa de bits (con $d = 1$ y $r = 1$)

$$B = (1 + d) \times S = 2 \times N \times \frac{1}{r} = 2 \times N = 100 \text{ kHz} \quad \rightarrow \quad N = 50 \text{ kbps}$$



Ejemplo 5.4

En transmisión de datos, se pueden usar enlaces full-duplex con comunicación en ambos sentidos. Es necesario dividir el ancho de banda en dos frecuencias portadoras, como se muestra en la Figura 5.5. La figura muestra las posiciones de dos frecuencias portadoras y los anchos de banda. El ancho de banda disponible en cada sentido es ahora 50 kHz, lo que nos deja una tasa de bits de 25 kbps en cada dirección.

Figura 5.5 *Ancho de banda para el ASK full-duplex usado en el Ejemplo 5.4.*

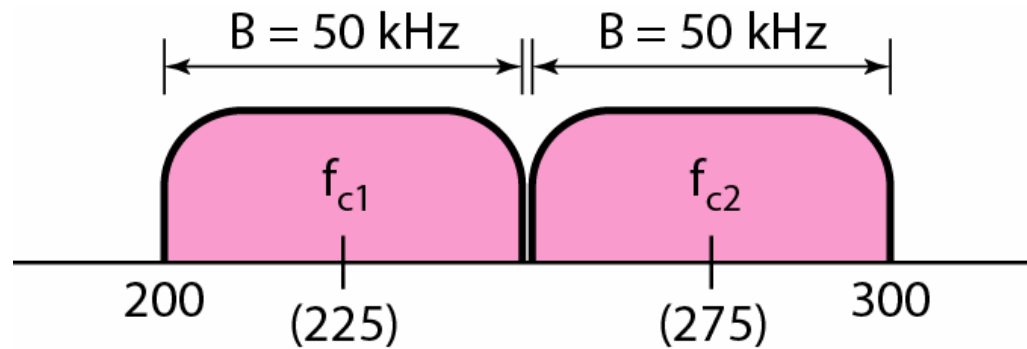
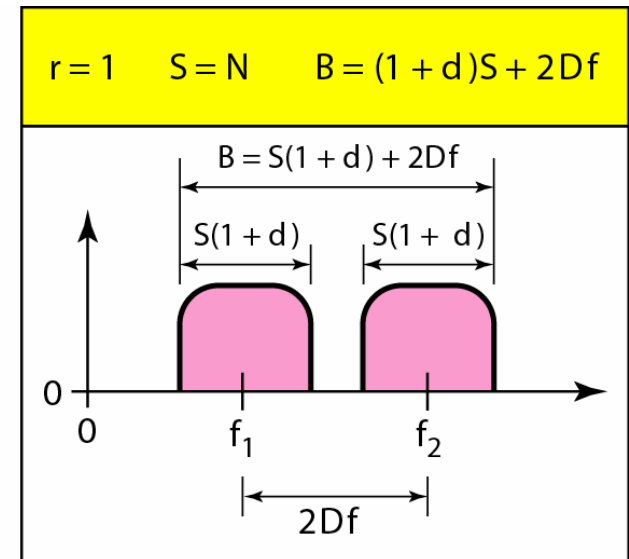
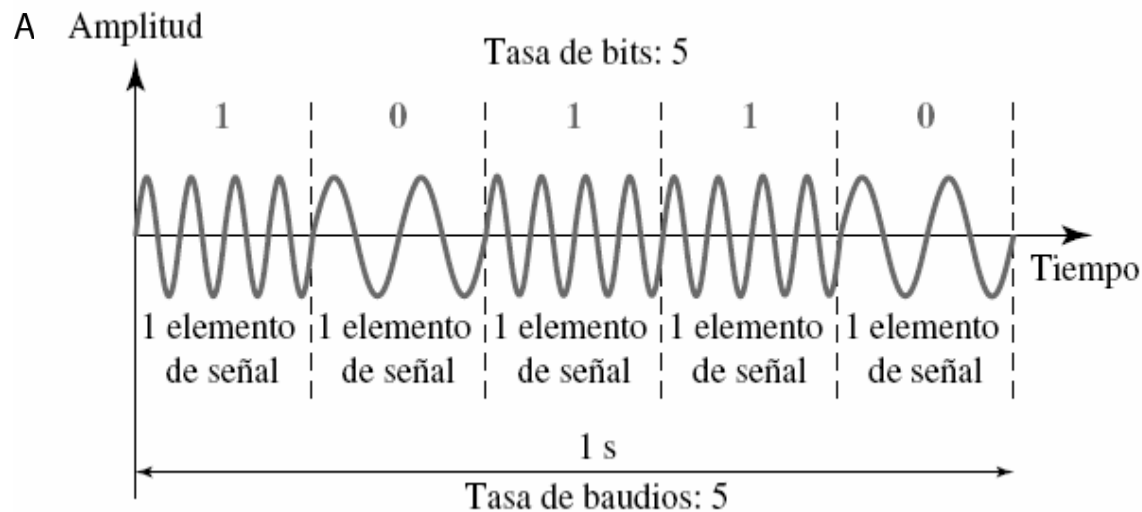


Figura 5.6 *Modulación por desplazamiento de frecuencia binaria*



Ejemplo 5.5

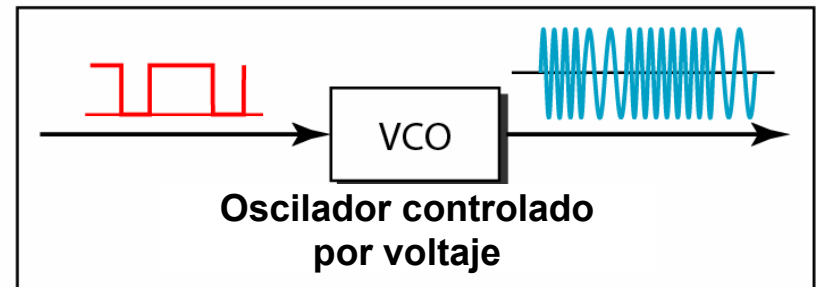
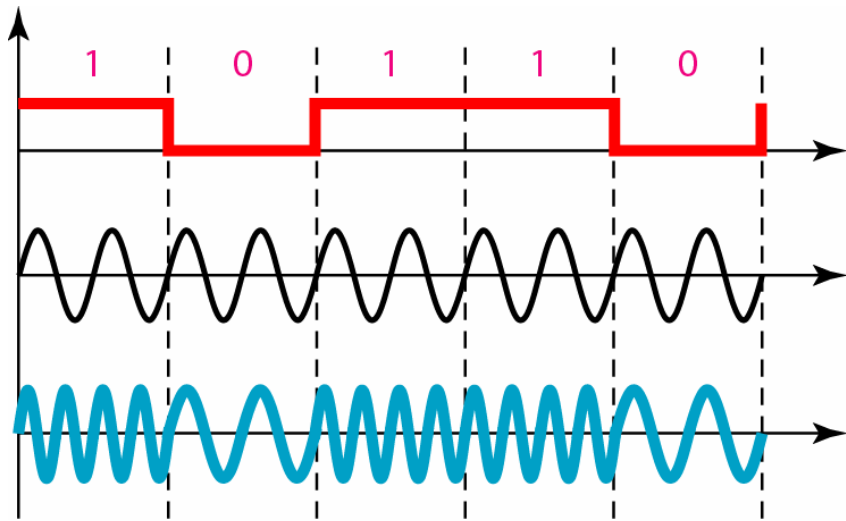
Sea un ancho de banda disponible de 100 kHz que se extiende entre 200 y 300 kHz. ¿Cuál es la frecuencia portadora y la tasa de bits si se modulan los datos usando FSK con $d = 1$?

Solución

El problema es similar al Ejemplo 5.3, pero con modulación FSK. La mitad del ancho de banda está en 250 kHz. Se elige 50 kHz para $2\Delta f$; Esto significa

$$B = (1 + d) \times S + 2\Delta f = 100 \quad \rightarrow \quad 2S = 50 \text{ kHz} \quad S = 25 \text{ kbaud} \quad N = 25 \text{ kbps}$$

Figura 5.7 *Implementación de BFSK.*





Ejemplo 5.6

Se necesita enviar 3 bits a la vez a una velocidad de 3 Mbps. la frecuencia de la portadora es 10 MHz. Calcule el número de niveles distintos (frecuencias distintas), la tasa de baudios y el ancho de banda.

Solución

Se pueden tener $L = 2^3 = 8$. La tasa de baudio es $S = 3 \text{ MHz}/3 = 1000 \text{ Mbaud}$. Esto significa que las frecuencias portadoras deben estar separadas 1 MHz ($2\Delta f = 1 \text{ MHz}$). El ancho de banda es $B = 8 \times 1000 = 8000$. La Figura 5.8 muestra la asignación de frecuencias y el ancho de banda.

Figura 5.8 *Ancho de banda del MFSK usado en el Ejemplo 5.6.*

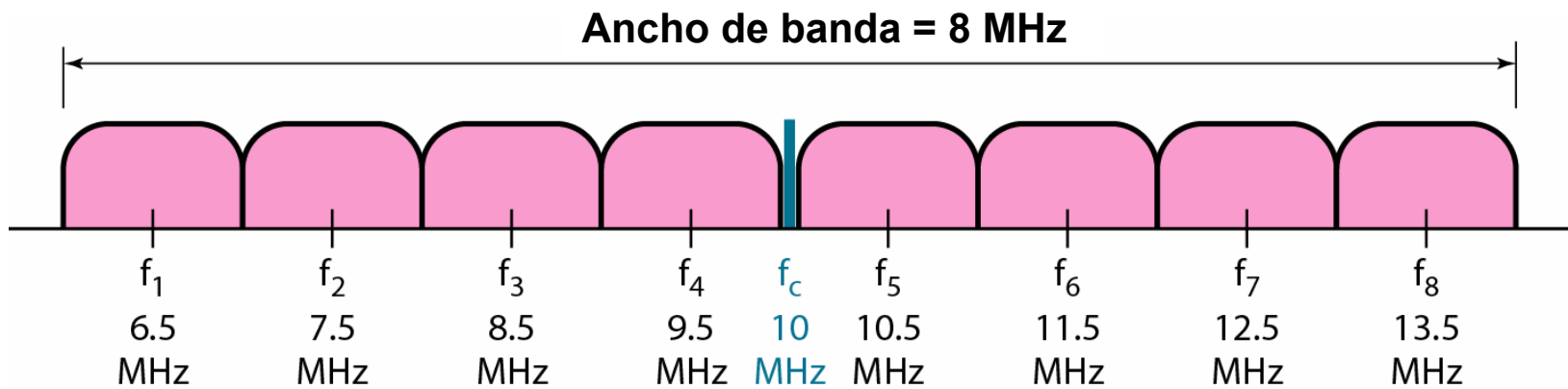


Figura 5.9 *Modulación binaria por desplazamiento en base.*

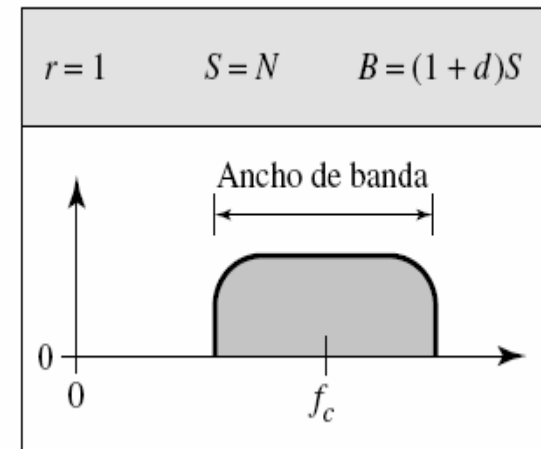
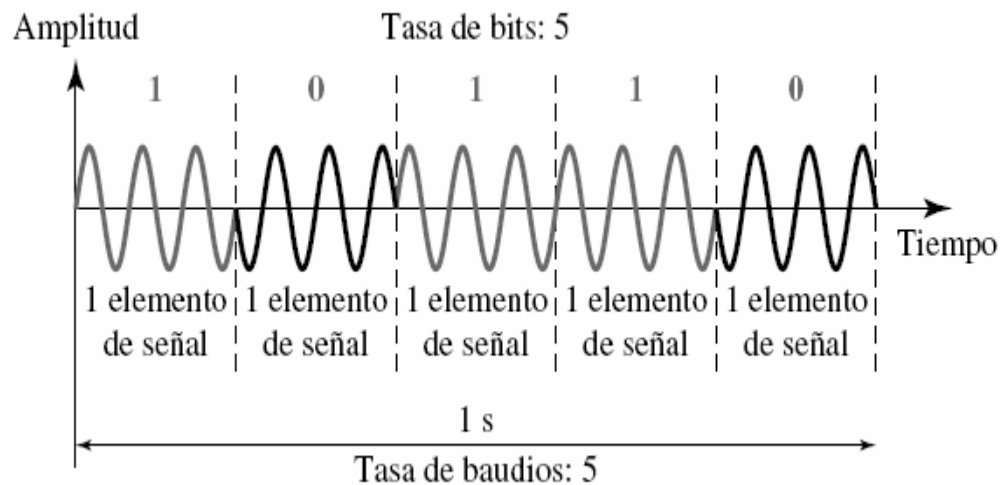


Figura 5.10 *Implementación de BPSK*

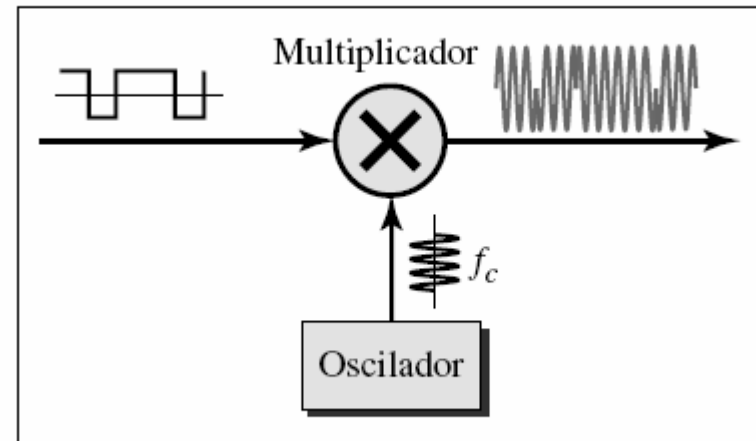
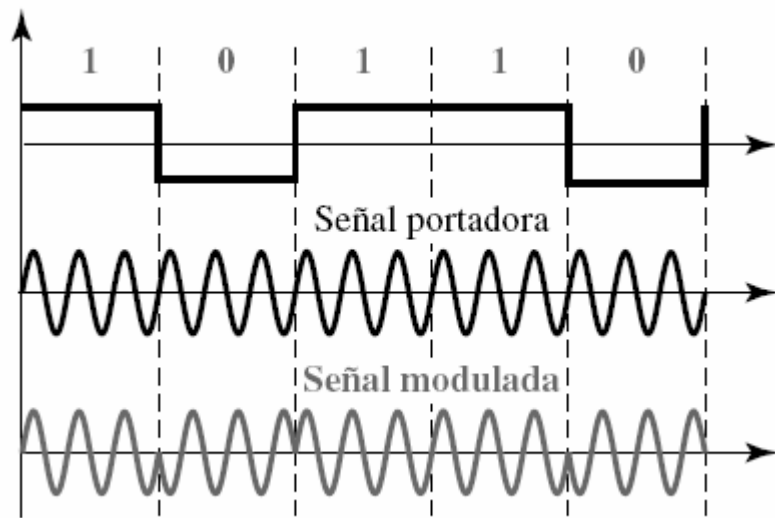
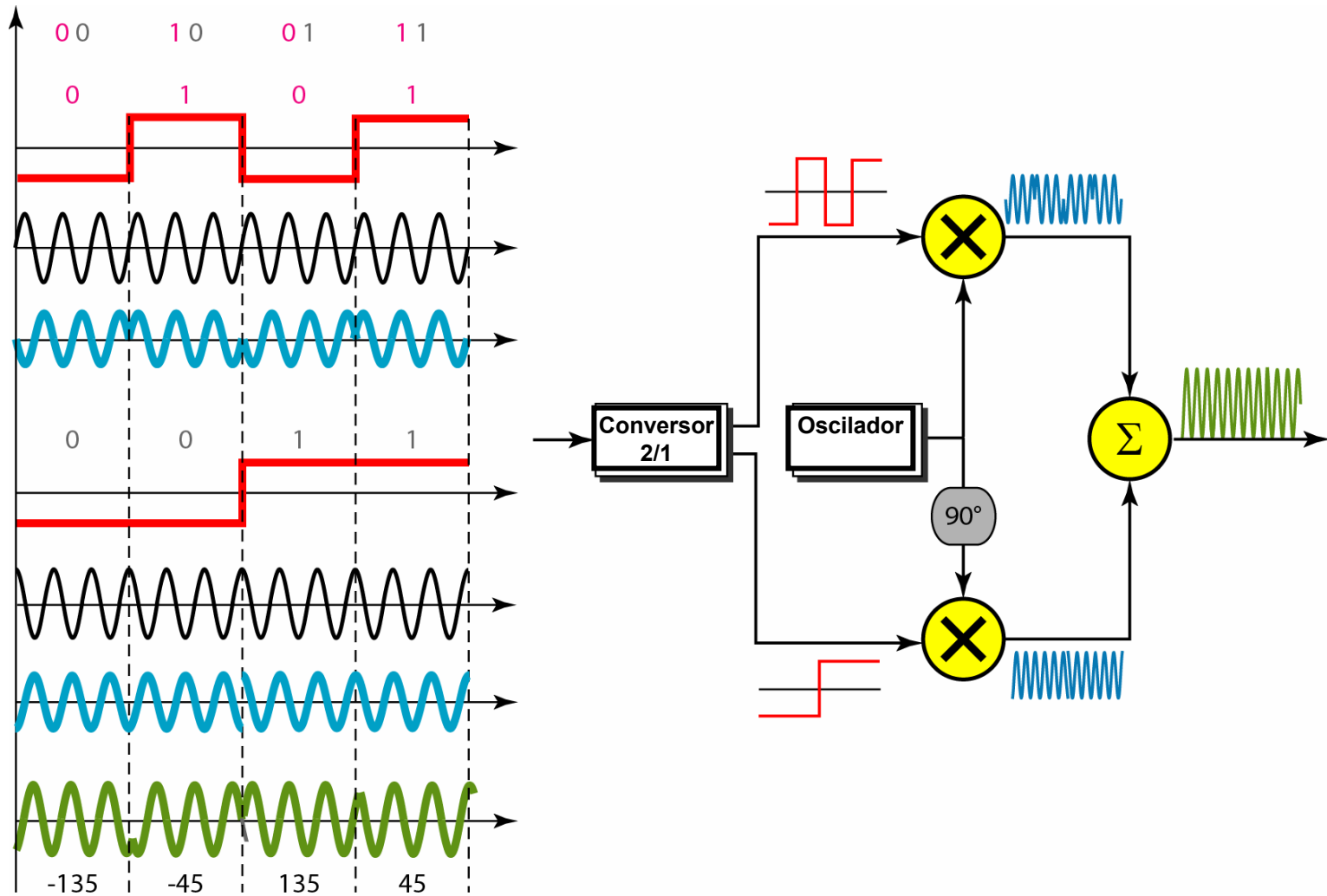


Figura 5.11 *QPSK y su implementación*





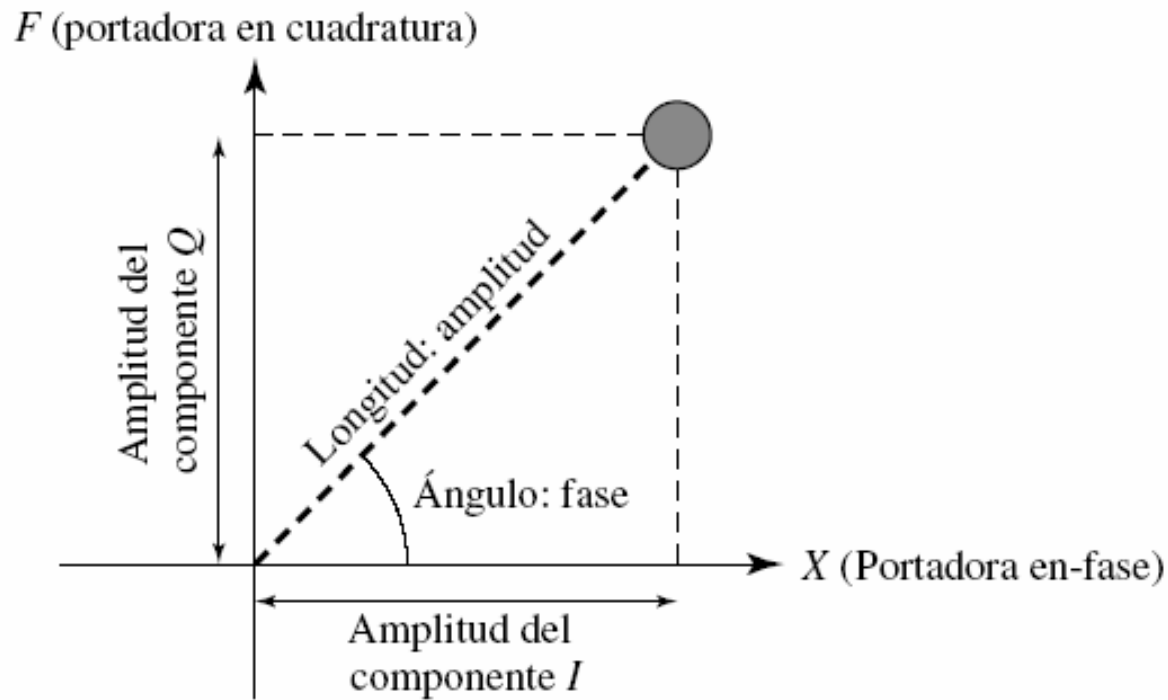
Ejemplo 5.7

Halle el ancho de banda de una señal que se transmite a 12 Mbps para QPSK. El valor $d = 0$.

Solución

En QPSK, se transportan 2 bits en cada elemento de señal. Esto significa $r = 2$. Por tanto, la tasa de señal (tasa de baudios) es $S = N \times (1/r) = 6 \text{ Mbaud}$. Con un valor de $d = 0$, se obtiene $B = S = 6 \text{ MHz}$.

Figura 5.12 *Concepto de diagrama de constelación.*





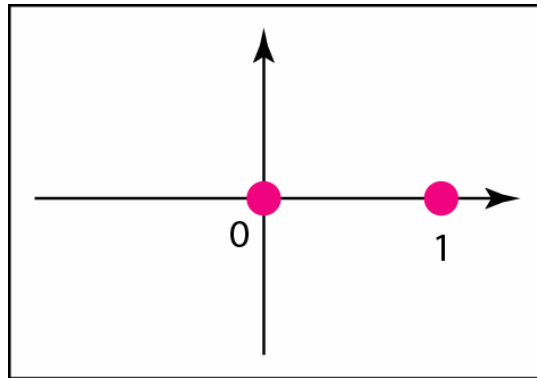
Ejemplo 5.8

Muestre los diagramas de constelación para señales ASK (OOK), BPSK, y QPSK.

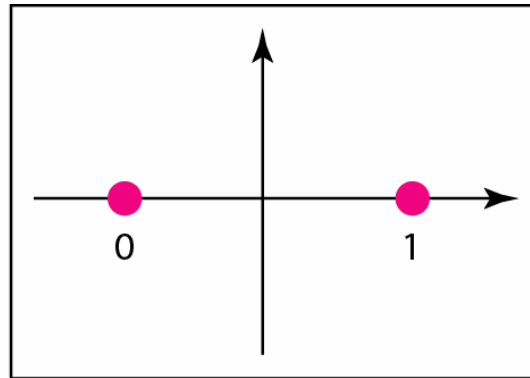
Solución

La Figura 5.13 muestra los tres diagramas de constelación.

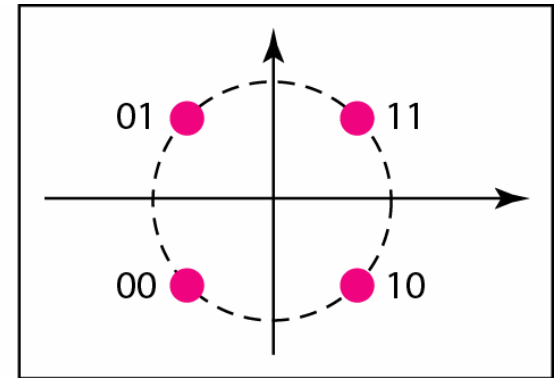
Figura 5.13 *Tres diagramas de constelación*



a. ASK (OOK)



b. BPSK



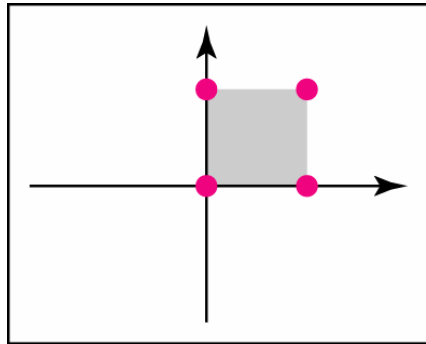
c. QPSK



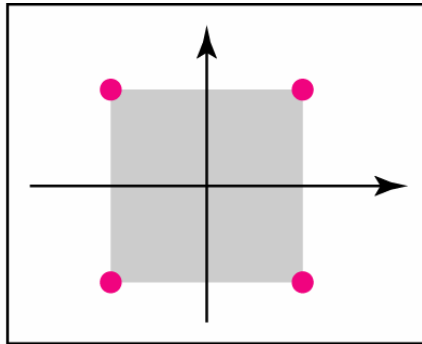
Nota

**La Modulación de amplitud en
cuadratura (QAM) es una combinación
de ASK y PSK.**

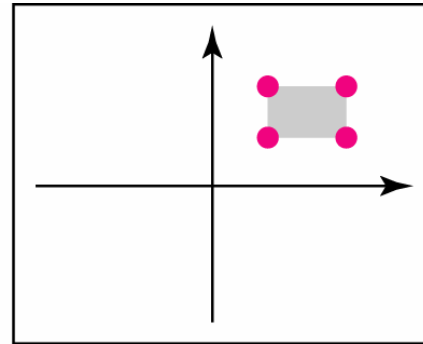
Figura 5.14 *Diagramas de constelación para algunos QAM*



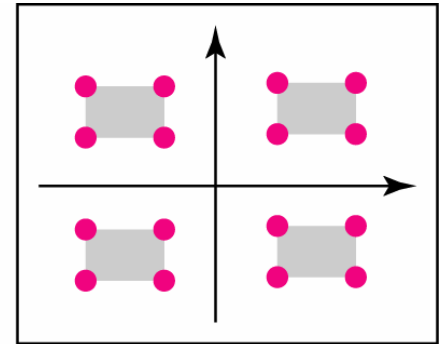
a. 4-QAM



b. 4-QAM



c. 4-QAM



d. 16-QAM

5-2 CONVERSIÓN DE ANALÓGICO A ANALÓGICO

La conversión de analógico a analógico es la representación de información analógica mediante una señal analógica. Uno se puede preguntar por qué se necesita modular una señal analógica; ya es analógica. La modulación es necesaria si el medio es paso banda por naturaleza o si sólo hay un canal paso banda disponible.

Temas a tratar en esta sección:

Modulación en amplitud (AM)

Modulación en frecuencia (FM)

Modulación en fase (PM)

Figura 5.15 *Tipos de modulación de analógico a analógico.*

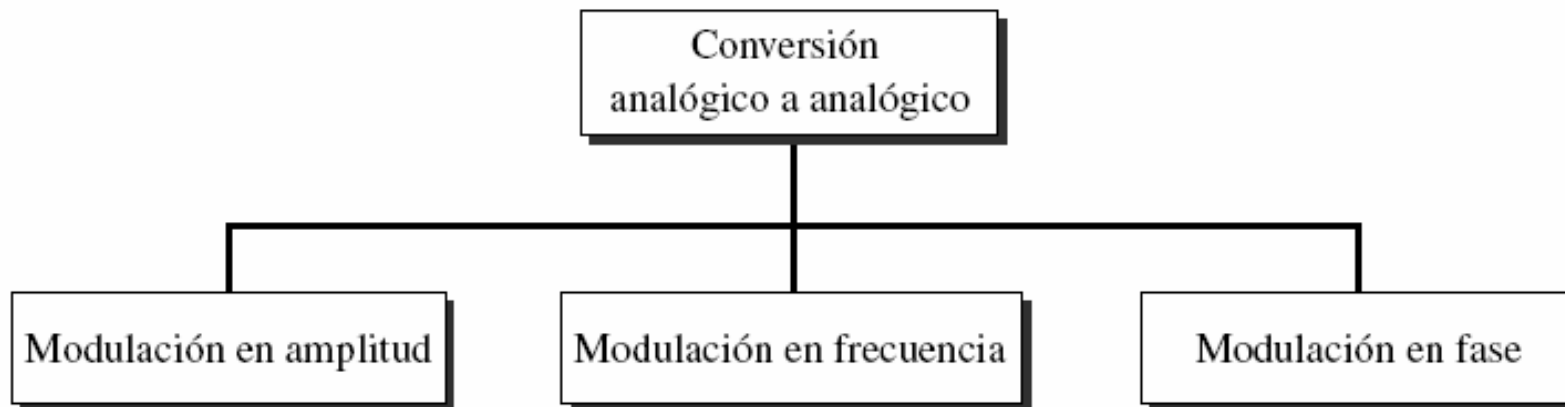
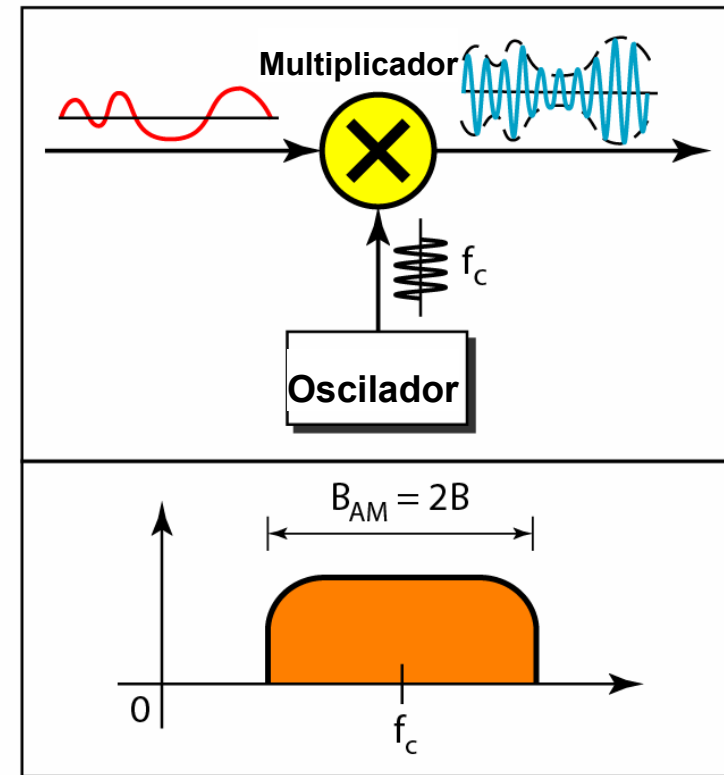
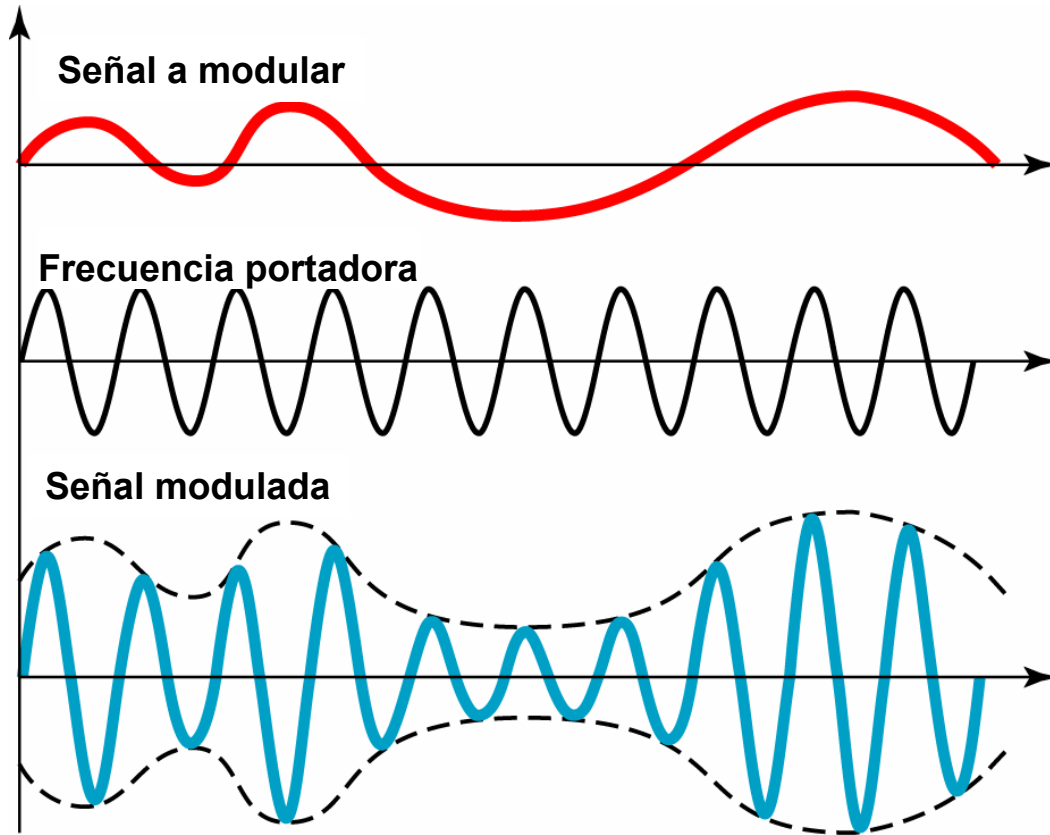


Figura 5.16 *Modulación en amplitud*

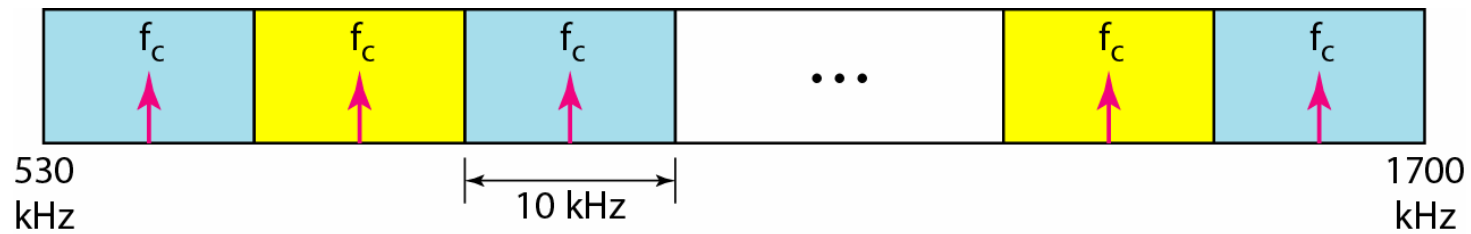




Nota

El ancho de banda total necesario para AM se puede determinar a partir del ancho de banda de una señal de audio: $B_{AM} = 2B$.

Figura 5.17 *Asignación de banda AM*





Nota

**El ancho total necesario para FM
se puede determinar a partir
del ancho de banda de una señal
de audio: $B_{FM} = 2(1 + \beta)B$.**

Figura 5.18 *Modulación en frecuencia*

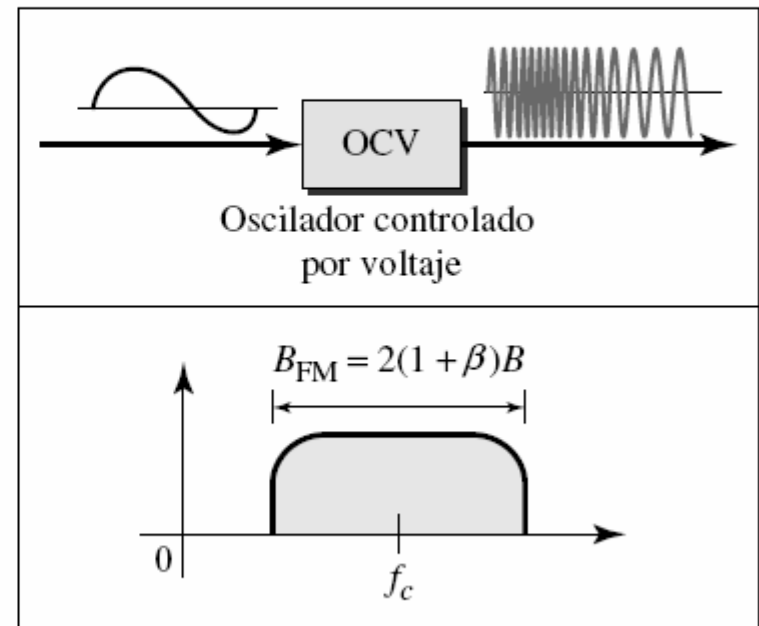
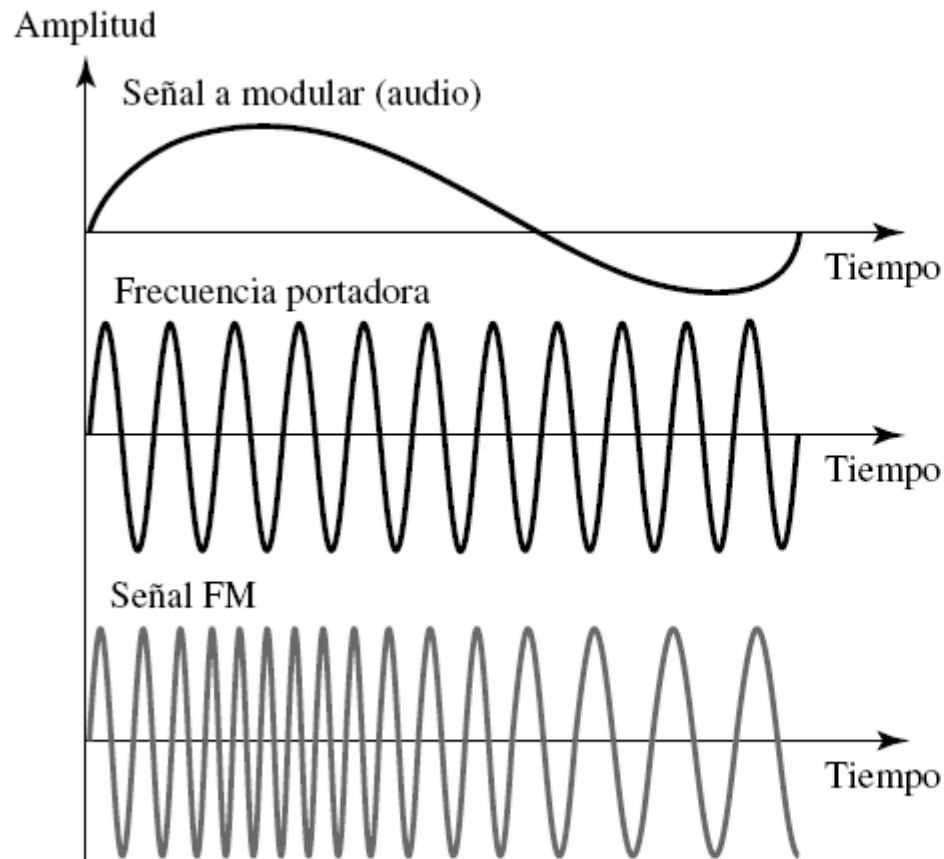


Figura 5.19 *Asignación de banda en FM*

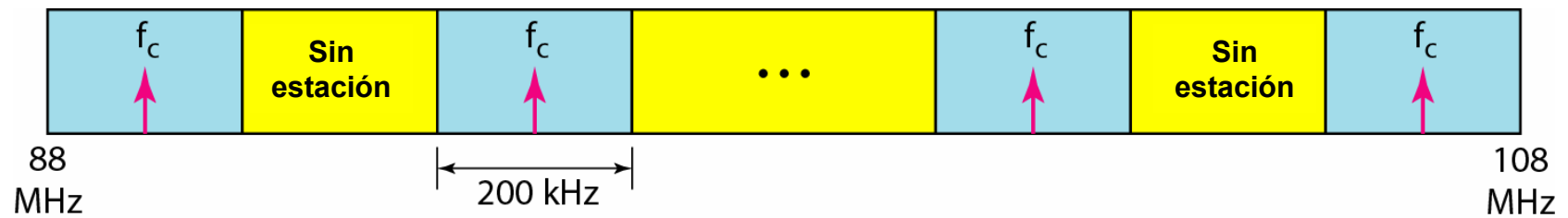
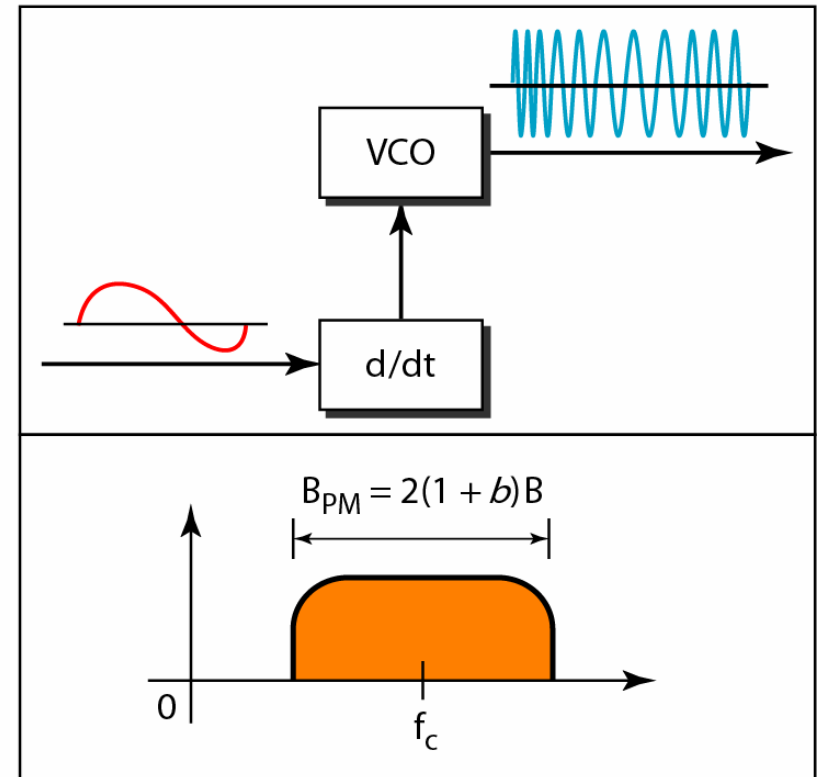
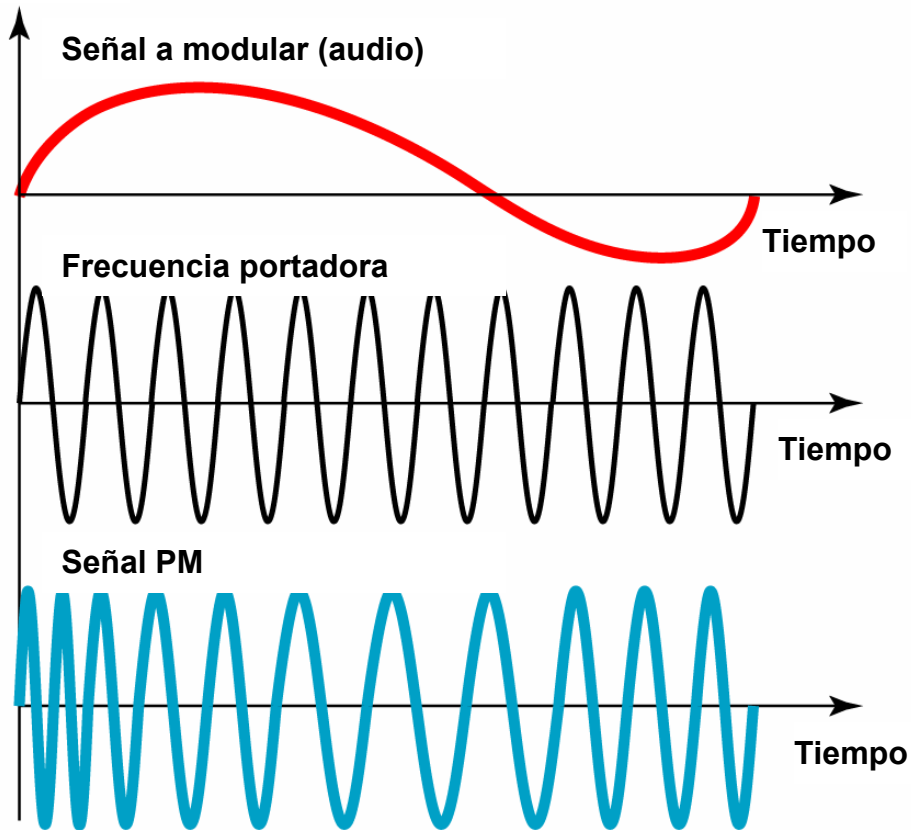


Figura 5.20 *Modulación en fase*

Amplitud



Nota

El ancho total necesario para PM se puede determinar a partir del ancho de banda de una señal de audio:

$$B_{PM} = 2(1 + \beta)B.$$