

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)

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.
- Una onda seno se define por tres características (amplitud, frecuencia y fase).
- Modificando cualquiera de estas características, se crea una segunda versión de esta onda y que nos puede servir para representar datos digitales.

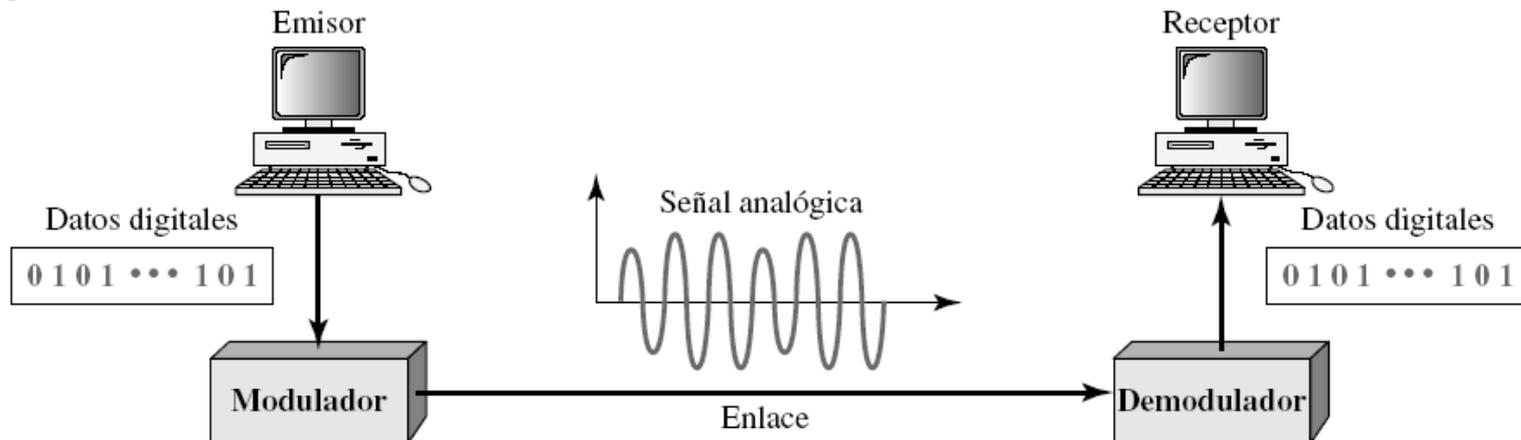
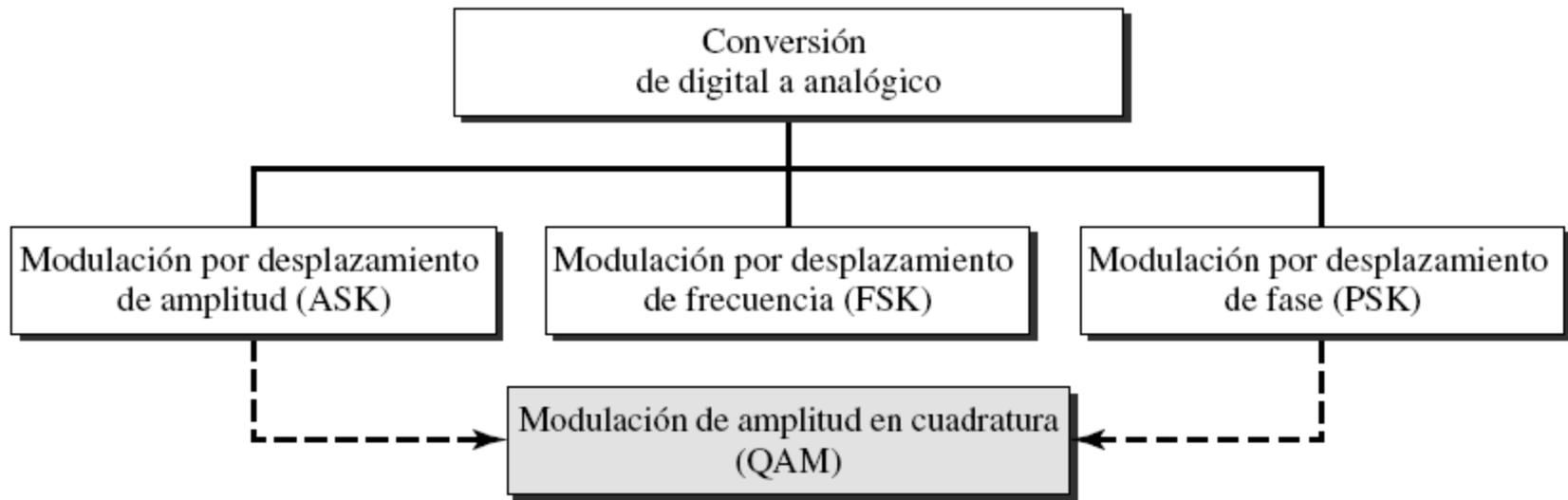


Figura 5.2 *Tipos de conversión de digital a analógico.*



Aspectos de la conversión de digital a analógico:

Elementos de datos frente a elementos de señal:

Tasa de (datos o bits) y tasa de (señal o baudios):

o La relación que las define es:

$$S = N \cdot 1/r \text{ baudios.}$$

Donde 'N' es la tasa de datos (bps).

'r' es el número de elementos de datos transportados por un elemento de señal.

Conviene recordar que 'S' define el número de señales que se envían en un segundo o tasa de señal.

o En una transmisión analógica el valor de 'r' es:

$$r = \log_2 L$$

Donde L es aquí el tipo de elemento de señal, no el nivel.

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

- **Ancho de banda:** para la transmisión analógica de una señal digital es proporcional a la tasa de señal excepto en FSK.

Se tratará el ancho de banda para cada técnica de modulación.

- **Señal portadora:**

- o También llamada frecuencia portadora, es una señal de alta frecuencia que produce el emisor y que actúa como base para la señal de información.

- o El receptor está ajustado para la señal portadora.

- o La información digital se modula sobre la señal portadora modificando alguna de sus características.

- o La información digital se modula sobre la señal portadora modificando alguna de sus características. Este tipo de modificación se denomina modulación por desplazamiento.

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.

Una señal analógica transporta 4 bits en cada elemento de señal. Si 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

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

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 .

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

Figura 5.3 *Modulación binaria en amplitud*

Se modifica la amplitud de la señal portadora, para crear elementos de señal.

- ASK binario (BASK):
- Se define como la modulación binaria en amplitud o modulación *on-off* (OOK, *on-off keying*).

Se implementa usando solo dos niveles.

La amplitud pico de un nivel de señal es 0, el otro es el mismo que la amplitud de la señal portadora.

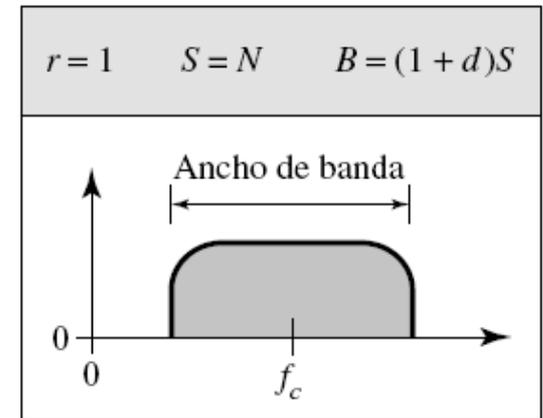
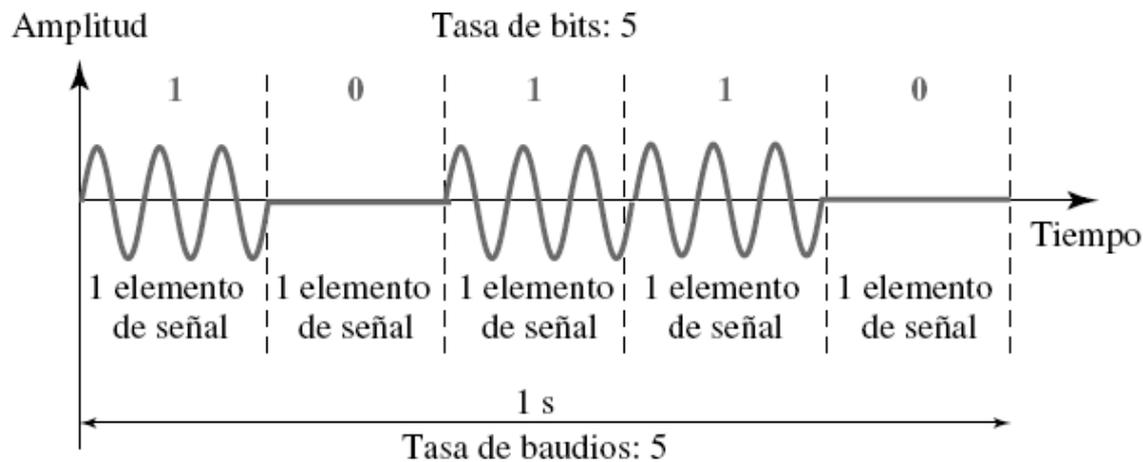
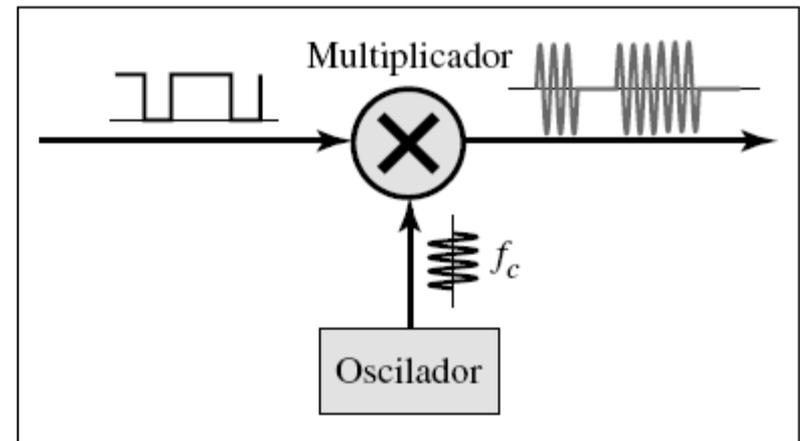
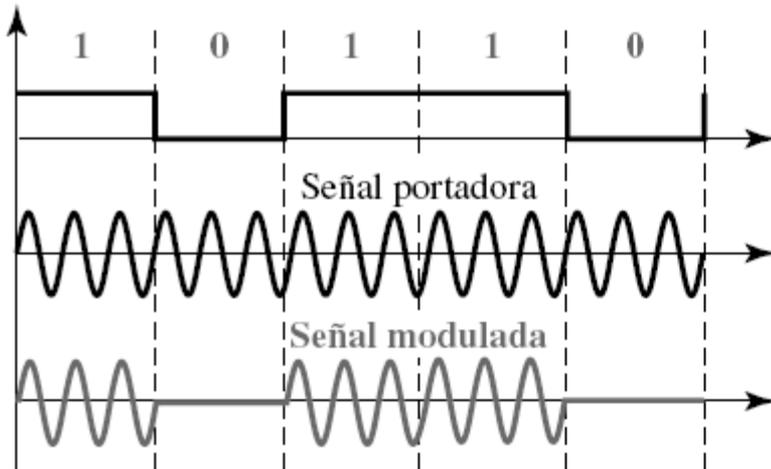


Figura 5.4 Implementación de ASK binario.

Si los datos digitales se presentan como una señal digital NRZ unipolar con un voltaje alto de 1 y bajo de 0, la implementación se lleva a cabo multiplicando la señal digital NRZ por la señal portadora f_c , que viene de un oscilador.

Cuando la amplitud de la señal NRZ es 1, la amplitud de la frecuencia portadora se mantiene; cuando es 0 la amplitud de la frecuencia portadora es 0.



Ancho de banda ASK:

o Es proporcional a tasa de baudios 'S'.

o Existe un factor, denominado d , *que depende del proceso de modulación y filtrado, tomando valores entre 0 y 1.*

o Siendo 'B' el ancho de banda, *todo esto se expresa como sigue:*

$$B = (1 + d) \cdot S$$

o La mitad del ancho de banda se encuentra en f_c , *donde se sitúa la frecuencia portadora.*

o Si hay disponible un canal paso banda, se puede elegir f_c *de forma que la señal modulada ocupe el ancho de banda.*

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 $r = 1$)

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

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.

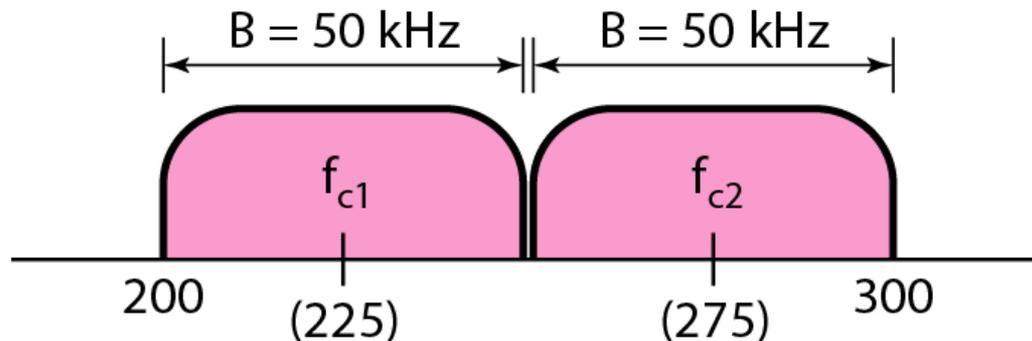
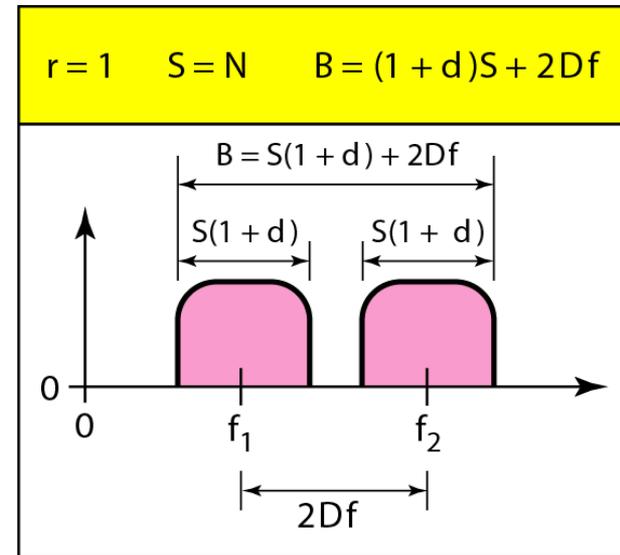
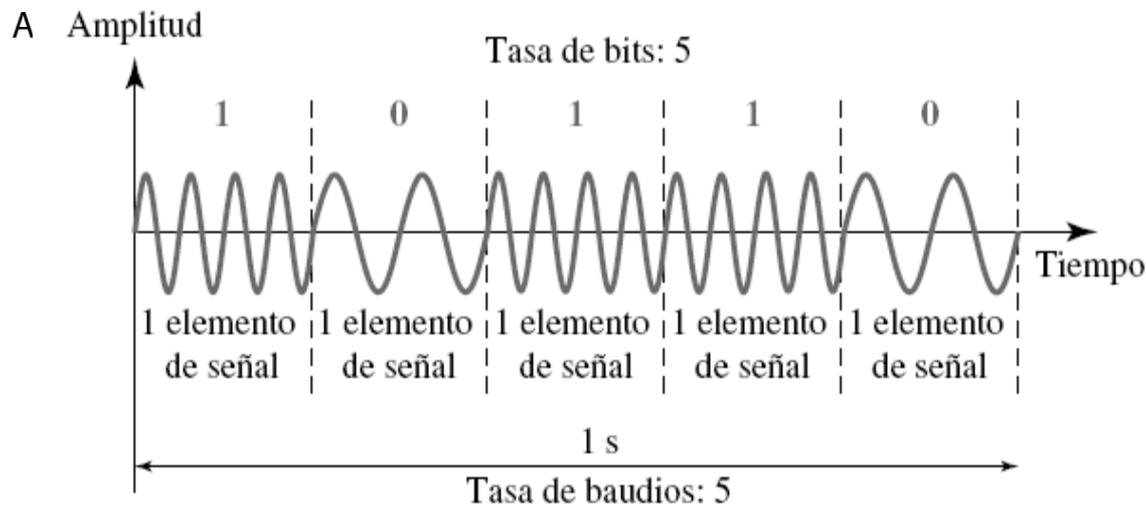


Figura 5.6 *Modulación por desplazamiento de frecuencia binaria*

Se puede usar 4, 8, 16 o más amplitudes distintas para la señal y modular los datos usando 2, 3, 4 o más bits al tiempo.



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 elije 50 kHz para $2\Delta f$; Esto significa

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

Modulación por desplazamiento de frecuencia (FSK, Frequency Shift Keying):

- La frecuencia de la señal portadora cambia para representar los datos.
- La frecuencia de la señal modulada cambia si el elemento de datos cambia.

FSK binario (BFSK):

- Idealmente se consideran dos frecuencias portadoras f_{c1} y f_{c2} .
- Se usa f_{c1} si el elemento de datos es 0 y f_{c2} si es 1.

Ancho de banda para FSK:

- o La mitad de un ancho de banda es f_1 y la mitad de la otra es f_2 .
- o Ambas, tienen una separación de Δf_c desde el punto medio de ambas bandas.
- o La diferencia entre f_{c2} y f_{c1} es $2\Delta f_c$.
- o El ancho de banda necesario es:

$$B = (1 + d) * S + 2\Delta f.$$

Se puede ver como dos señales ASK cada una con sus dos frecuencias portadoras.

Implementación:

o No Coherente:

Puede haber discontinuidad en fase cuando un elemento de señal termina y comienza el siguiente.

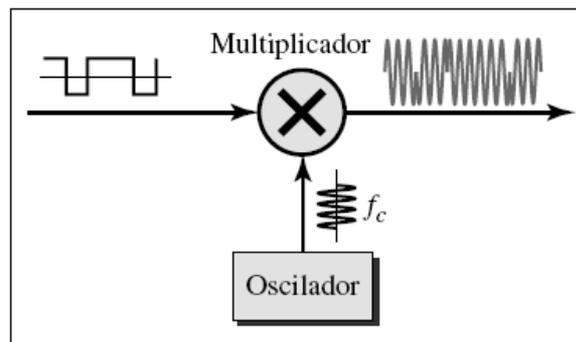
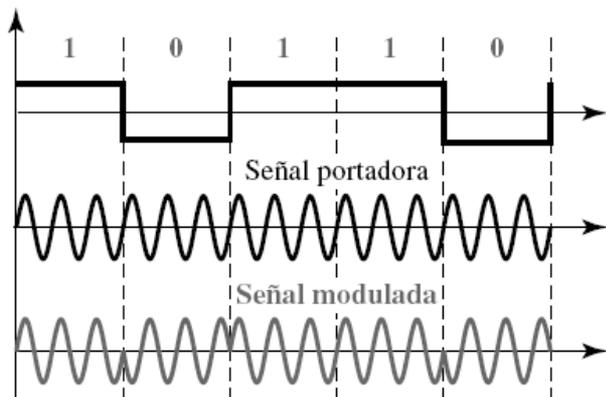
Se implementa como dos modulaciones ASK y usando dos frecuencias portadoras.

o Coherente:

La fase se mantiene a través de la frontera entre dos elementos de señal.

Se implementa usando un oscilador controlado por voltaje (OCV), que cambia su frecuencia según el voltaje de entrada.

La entrada al oscilador es una señal unipolar NRZ, cuando la amplitud de NRZ es cero, el oscilador mantiene la frecuencia regular, cuando su amplitud es positiva, se incrementa la frecuencia.



FSK multinivel (MFSK) : usar más de dos frecuencias

En general si lo que se pretende es enviar n bits al mismo tiempo se utilizan $(2^{\text{número de bits a enviar}})$ frecuencias distintas.

Las frecuencias han de estar separadas $2\Delta f_c$, para que el modulador y el demodulador funcionen adecuadamente.

Ancho de banda para MFSKs:

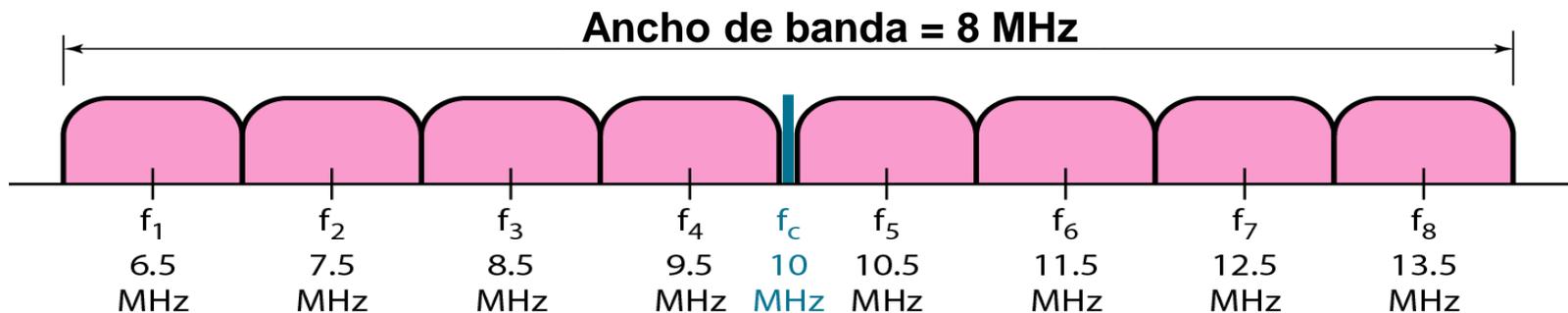
$$B = (1 + d) \cdot S + (L - 1) \cdot 2\Delta f$$

Ancho de banda mínimo $B=L.S$ si $d=0$

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 $S = 3 \text{ MHz}/3 = 1000$ 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.



Modulación por desplazamiento de fase (PSK, Phase Shift Keying):

La fase de la portadora cambia para representar dos o más elementos de señal.

PSK binaria (BPSK):

Hay dos elementos de información, uno con una fase de 0° y otro con una fase de 180° .

Es menos susceptible al ruido que ASK y es superior al FSK por que no necesita dos señales portadoras.

Ancho de banda:

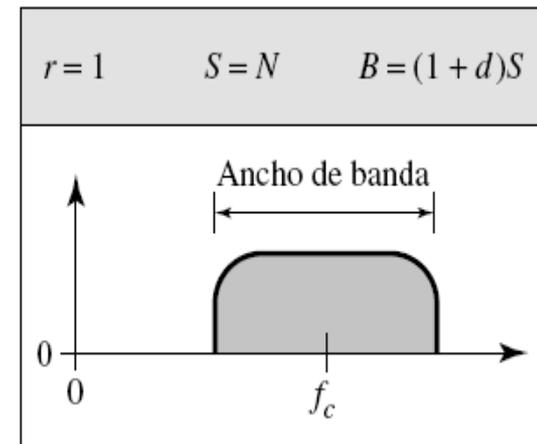
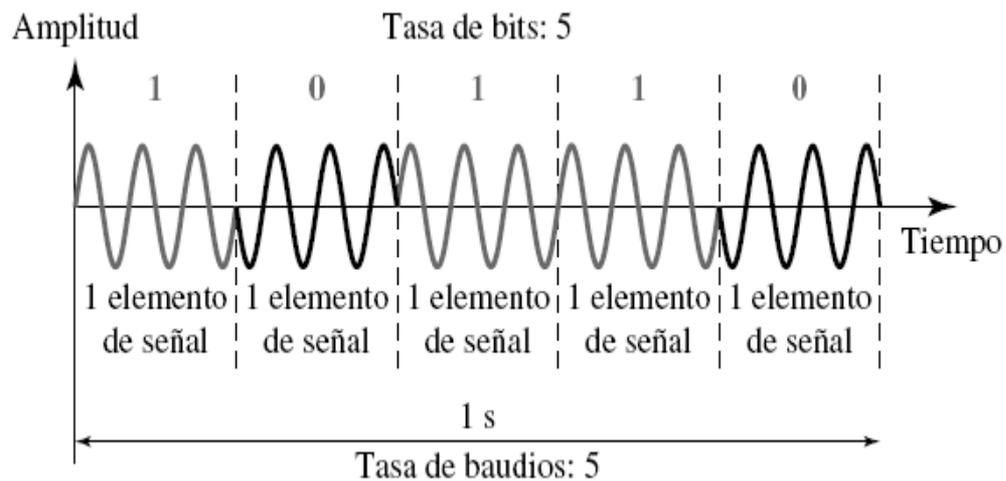
o Es el mismo que para la BASK, pero menor que BFSK.

Implementación:

o Si los datos digitales se presentan como una señal digital NRZ polar, la implementación se lleva a cabo multiplicando la señal digital NRZ por la señal portadora f_c , que viene de un oscilador.

El bit 1 (voltaje positivo) se representa con una fase que empieza en 0° y el bit 0 (voltaje negativo) con una fase que empieza en 180° .

PSK. Modulación binaria por desplazamiento en base.



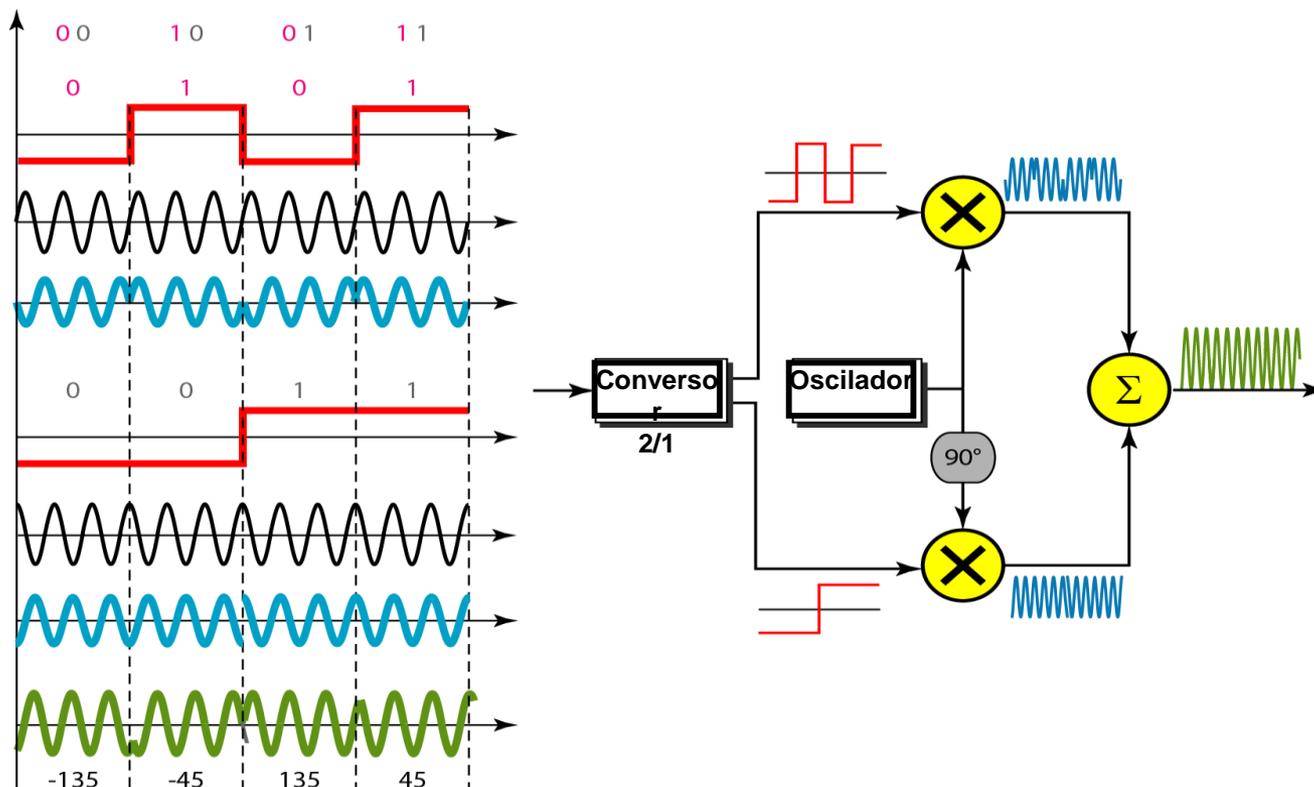
PSK en cuadratura (QPSK):

Igual que BPSK pero utilizando cuatro fases para representar 4 bit

Para ello se usan dos modulaciones BPSK separadas.

Las ondas seno creadas tienen la misma frecuencia pero una está en-fase y otra desfasada o en cuadratura.

Disminuyendo la tasa de baudios y el ancho de banda necesario.

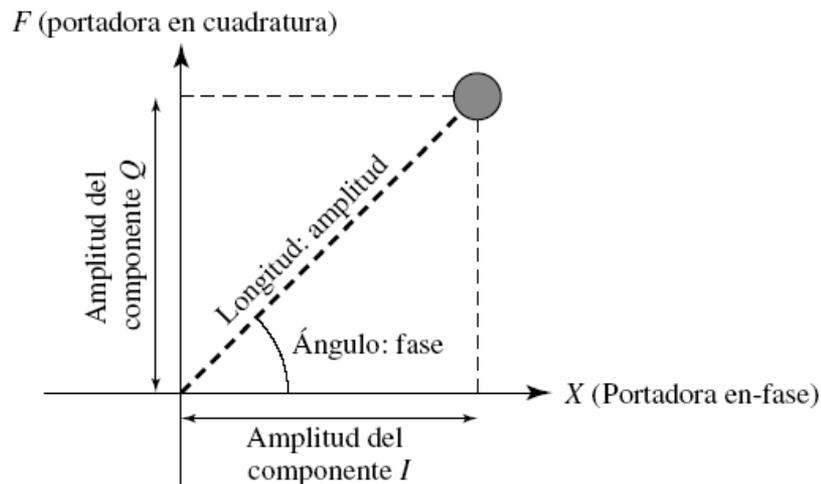


Halle el ancho de banda de una señal que se transmite a 12 Mbps para QPSK. El valor $d = 0$.

Solución

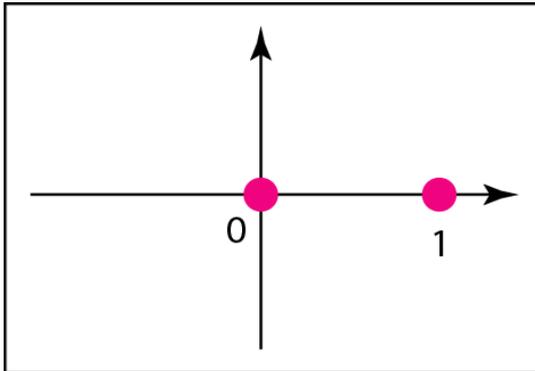
En QPSK, se transportan 2 bits en cada elemento de señal. Esto significa $r = 2$. Por tanto, la tasa de señal (tasa de baudios) es $S = N \times (1/r) = 6 \text{ Mbaud}$. Con un valor de $d = 0$, se obtiene $B = S = 6 \text{ MHz}$.

Figura 5.12 *Concepto de diagrama de constelación.*

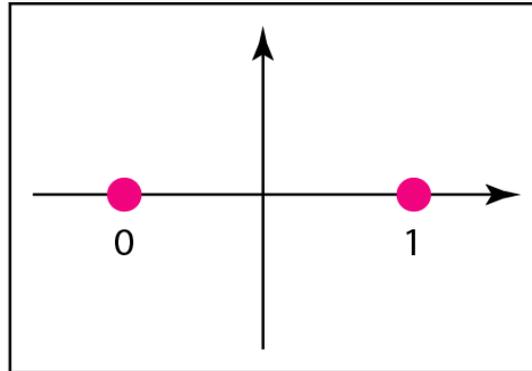


- Útil para definir la amplitud y la fase de un elemento.
- El elemento de señal se representa como un punto, acompañado a menudo con el valor del dato.
- El eje X se relaciona con la portadora en-fase y el eje Y con la portadora en cuadratura.
- La proyección sobre el eje X define la amplitud de pico del componente en-fase.
- La proyección sobre el eje Y define la amplitud de pico del componente en cuadratura.
- El vector que conecta el punto al origen es la amplitud de pico de la señal.
- El ángulo del vector con el eje X es la fase del elemento señal.

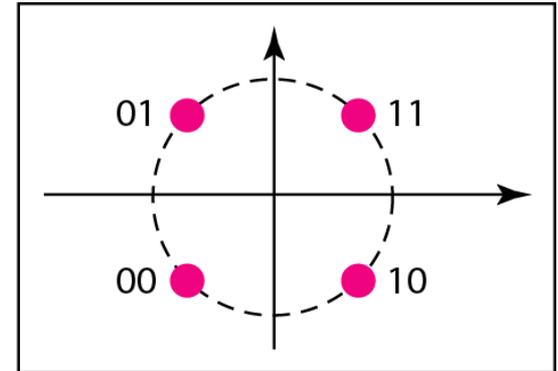
Muestre los diagramas de constelación para señales ASK (OOK), BPSK, y QPSK.



a. ASK (OOK)



b. BPSK



c. QPSK

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

Figura 5.14 *Diagramas de constelación para algunos QAM*

Es una combinación de ASK y PSK.

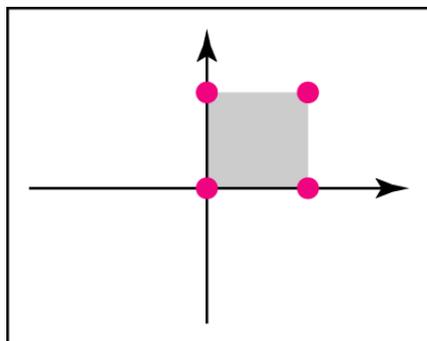
Se utilizan dos portadoras, una en fase y otra en cuadratura, con distintos niveles de amplitud para cada portadora.

Las variaciones posibles de QAM son numerosas.

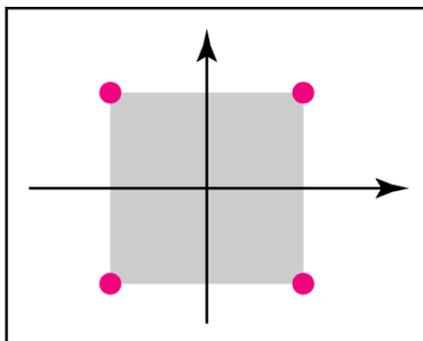
Ancho de banda para QAM:

Es el mismo que en ASK y PSK.

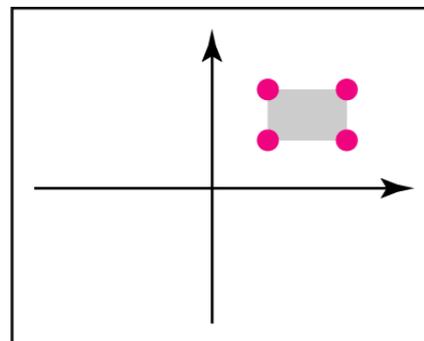
Tiene las mismas ventajas que PSK sobre ASK.



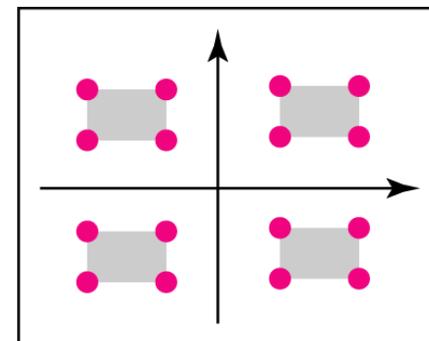
a. 4-QAM



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.

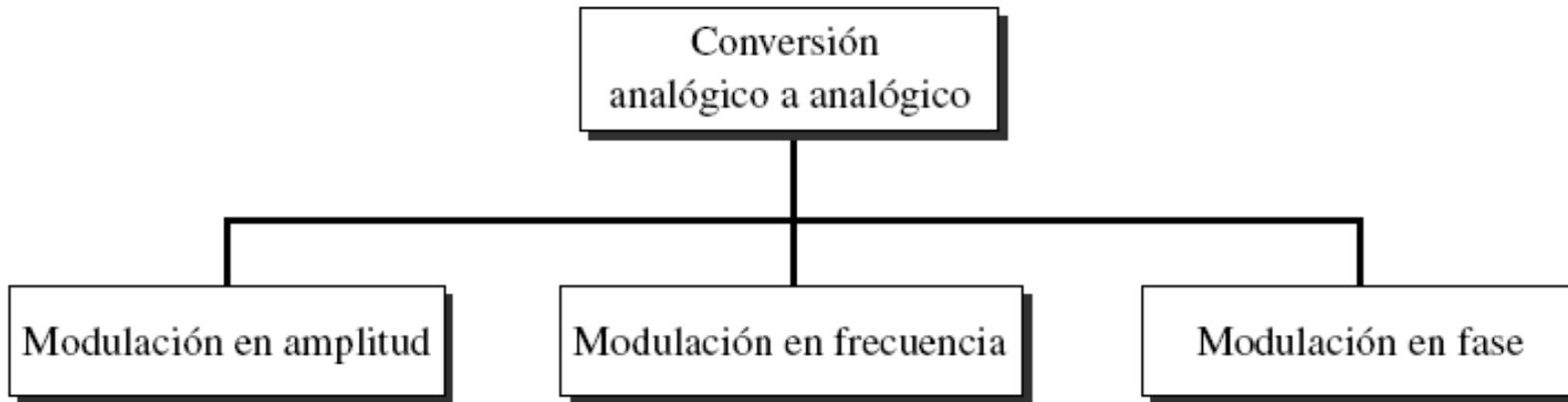
Temas a tratar en esta sección:

Modulación en amplitud (AM)

Modulación en frecuencia (FM)

Modulación en fase (PM)

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



Modulación en amplitud

Se modula la amplitud de la señal portadora a medida que la señal de cambia.

La señal modulada se convierte en una envoltura de la portadora.
Se implementa usando una única portadora.

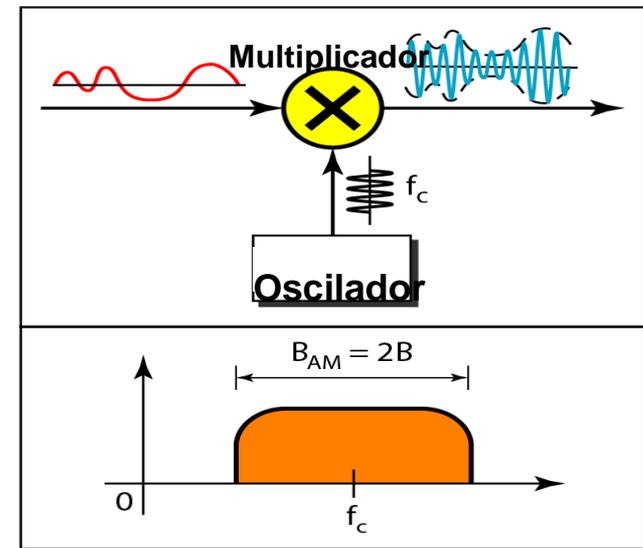
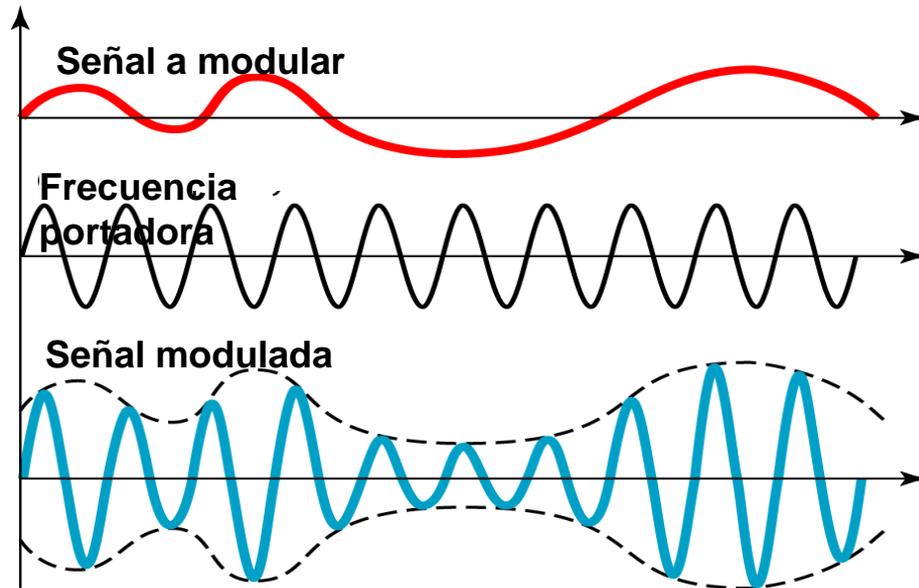
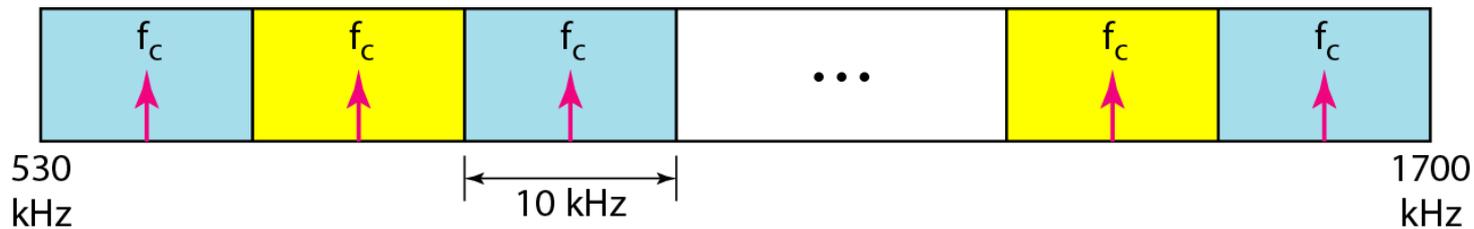


Figura 5.17 Asignación de banda AM

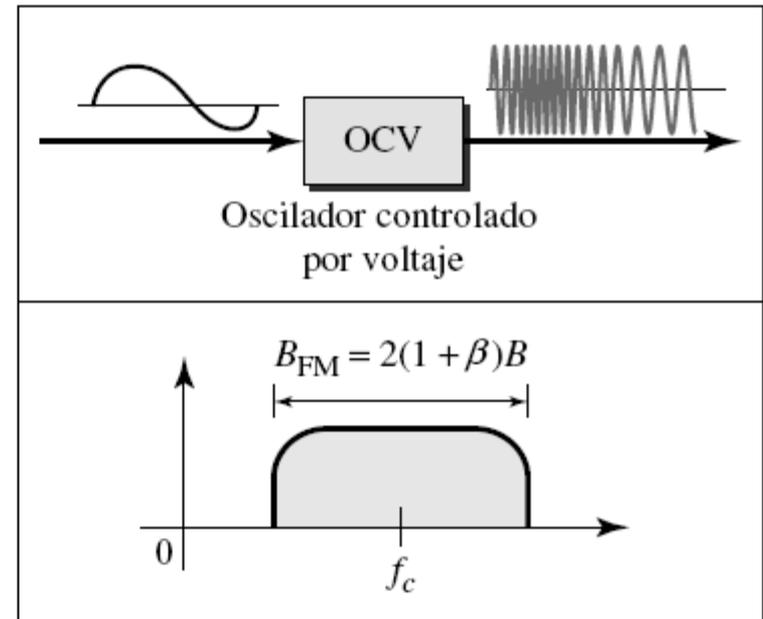
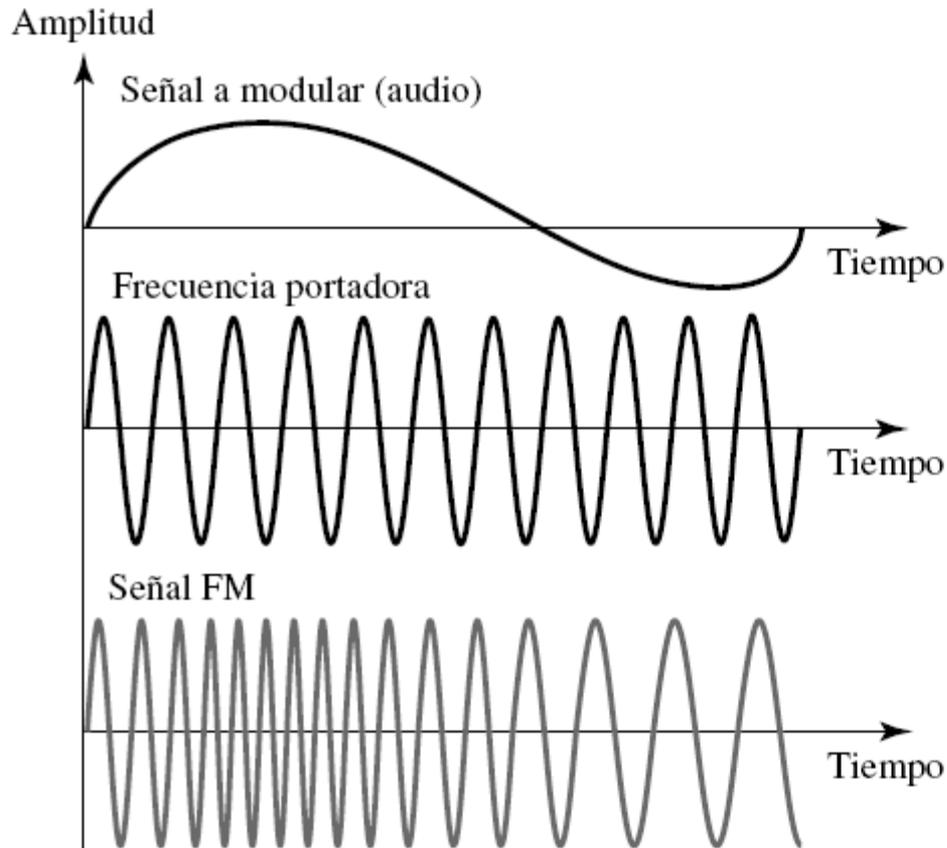
La modulación crea un ancho de banda que es igual al doble del ancho de banda de la señal a modular y cubre un rango centrado alrededor de la frecuencia de la portadora.

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



Modulación en frecuencia (FM)

Se modula la frecuencia de la señal portadora a medida que la amplitud de la señal de información cambia.



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

Donde β es un factor que depende de la técnica de modulación, siendo 4 un valor muy frecuente.

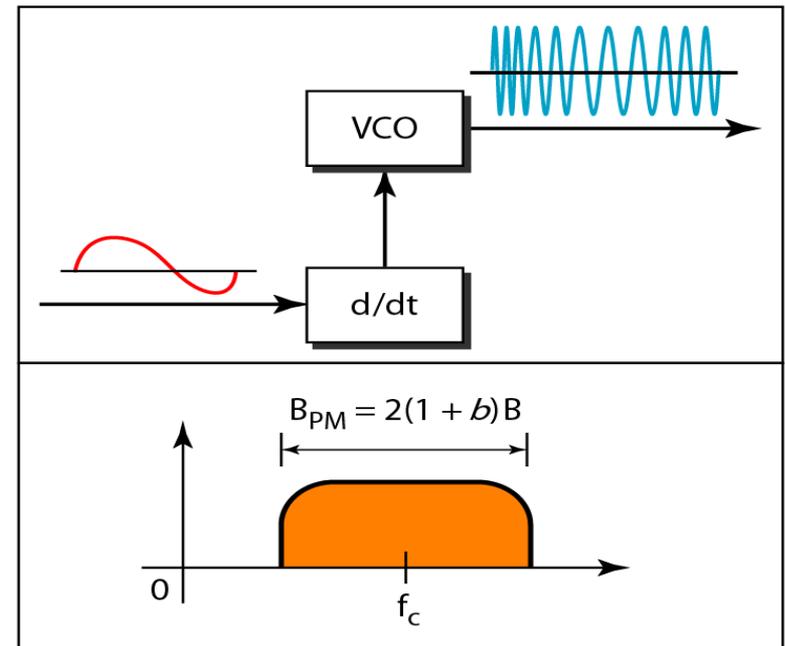
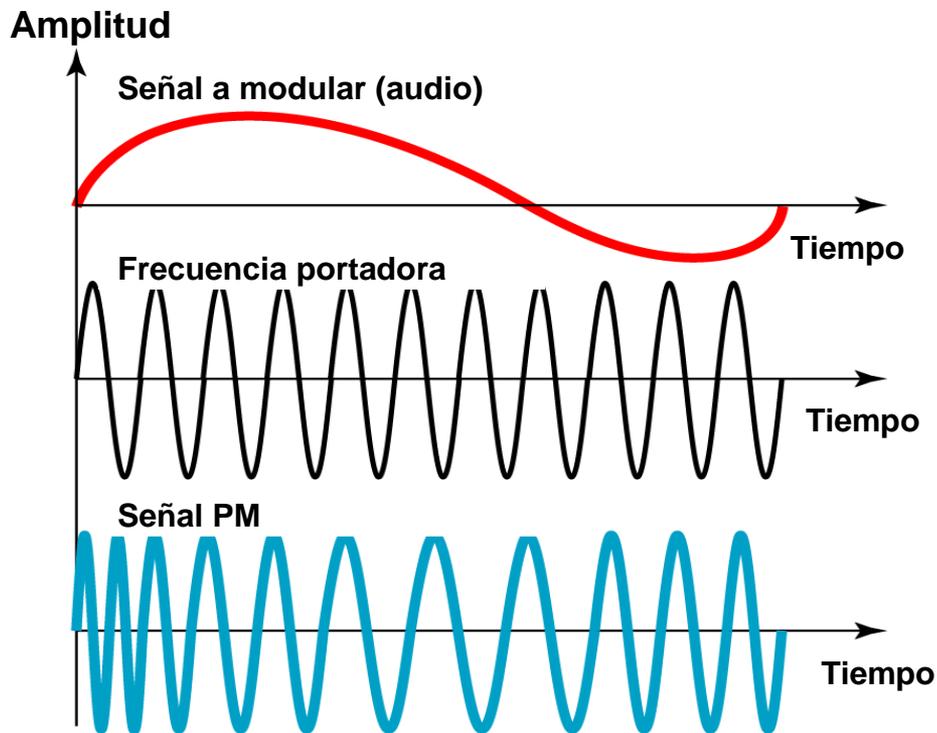
Modulación en fase (PM)

Se modula la fase de la señal portadora a medida que la amplitud de la señal de información cambia.

En FM los cambios instantáneos de la frecuencia portadora es igual a la amplitud de la señal a modular.

En PM los cambios instantáneos de la frecuencia portadora son proporcionales a la derivada de a la amplitud de la señal a modular.

Se implementa con un oscilador controlado por voltaje junto con un derivador.



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

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

Donde β es un factor que depende de la técnica de modulación, siendo 1 para banda estrecha y 3 para banda ancha.

En **transmisión AM** la señal portadora se modula de forma que su amplitud varía con los cambios de amplitud de la señal a modular. La frecuencia y la fase de la portadora no cambian; solo la amplitud cambia para seguir las variaciones de información.

En **transmisión FM** la señal portadora se modula para seguir los cambios en el nivel de voltaje (amplitud) de la señal a modular. La amplitud pico y la fase de la señal portadora permanecen constantes, pero a medida que la amplitud de la señal de información cambia, la frecuencia de la portadora cambia de acuerdo a ella.

En **transmisión PM**, la fase de la señal portadora se modula para seguir los cambios en el nivel de voltaje (amplitud) de la señal a modular. La amplitud pico y la frecuencia de la señal portadora permanecen constantes, pero a medida que la amplitud de la señal de información cambia, la fase de la portadora cambia con ella.

•42. El proceso de cambiar una de las características de la portadora de una señal analógica basado en la información en una señal digital se llama conversión _____ .

- a. analógica a analógica
- b. analógica a digital
- c. digital a analógica
- d. digital a digital

•43. En _____ la frecuencial de una señal portadora se varía basándose en la información en una señal digital.

- a. ASK
- b. PSK
- c. FSK
- d. QAM

•44. En _____ la amplitud de la señal portadora se varía basándose en la información en una señal digital.

- a. ASK
- b. PSK
- c. FSK
- d. QAM