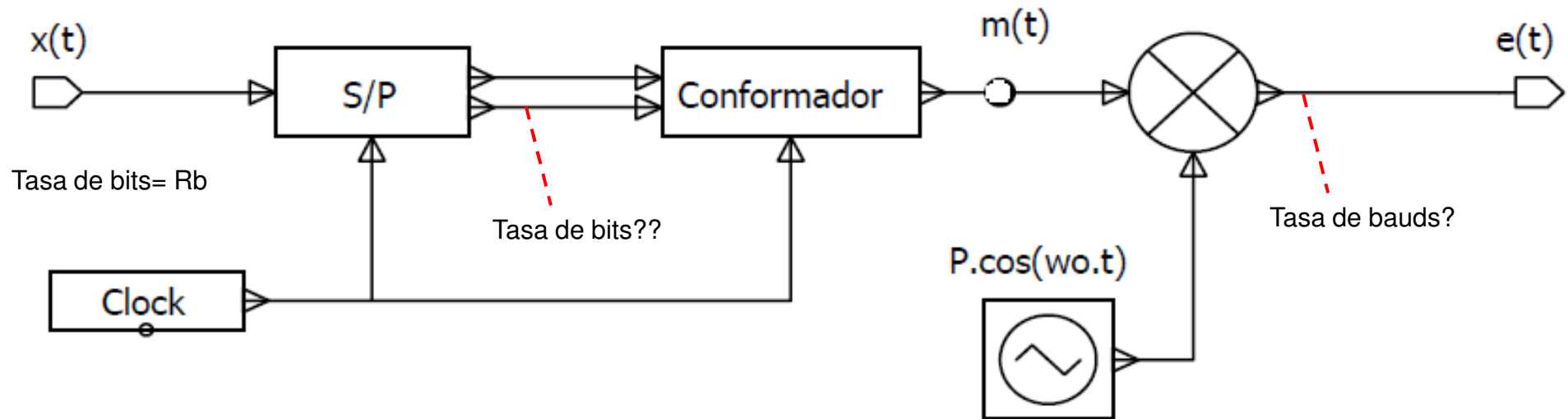


Modulación QAM (idea base)

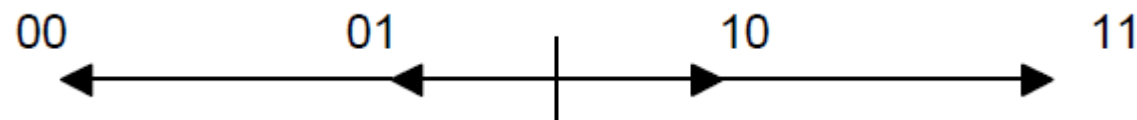


$$11 \rightarrow e(t) = P \cdot \cos(2\pi \cdot f_0 \cdot t)$$

$$10 \rightarrow e(t) = P \cdot \frac{1}{3} \cdot \cos(2\pi \cdot f_0 \cdot t)$$

$$01 \rightarrow e(t) = P \cdot \frac{1}{3} \cdot \cos(2\pi \cdot f_0 \cdot t - \pi)$$

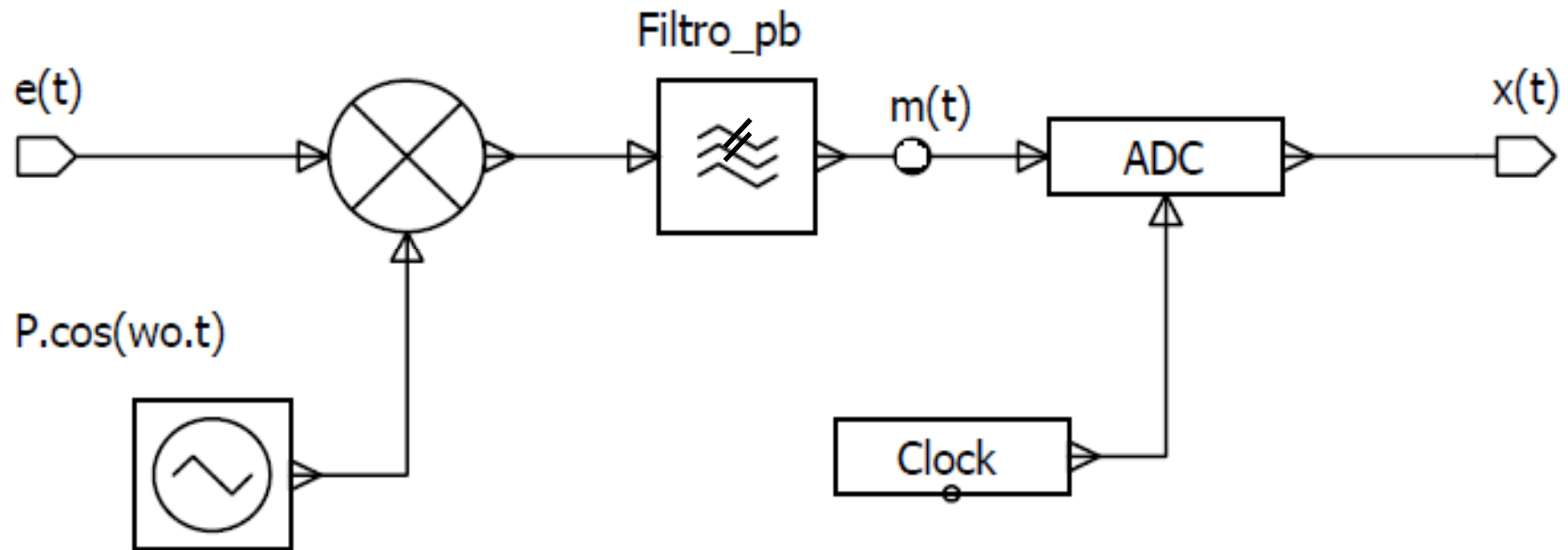
$$00 \rightarrow e(t) = P \cdot \cos(2\pi \cdot f_0 \cdot t - \pi)$$



Amplitud y Fase de $e(t)$

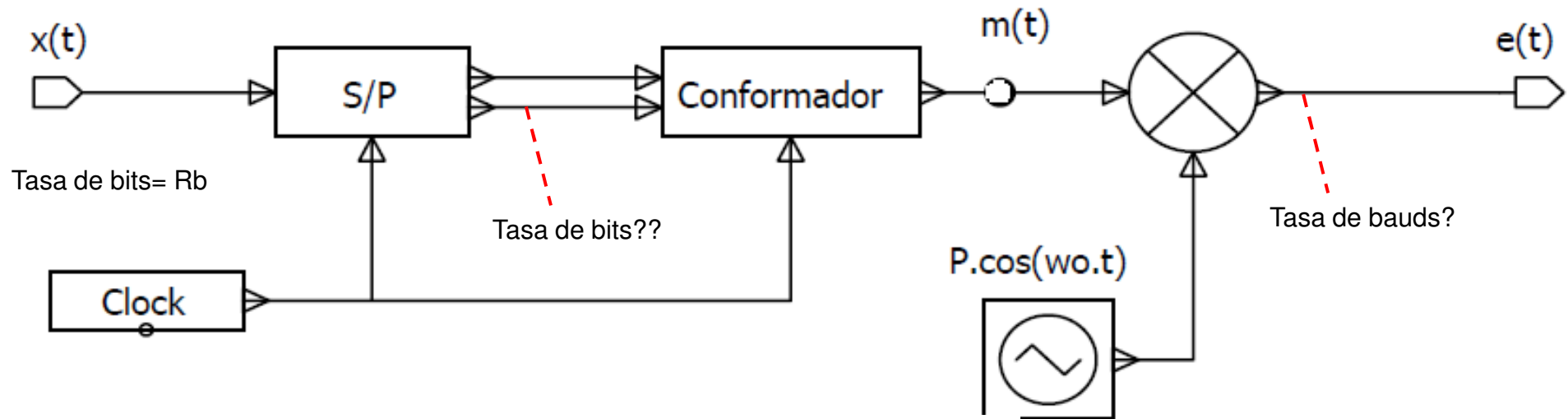
Modulación QAM (idea base)

Detección



Esta es la idea, pero en realidad... **NO SE USA**

Modulación QAM (idea base)

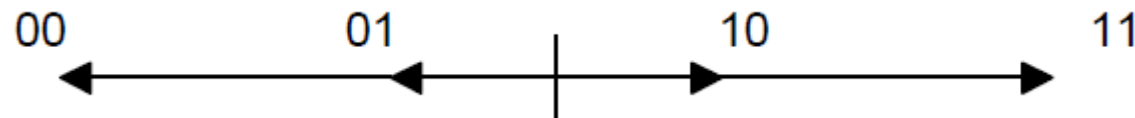


$$11 \rightarrow e(t) = P \cdot \cos(2\pi \cdot f_0 \cdot t)$$

$$10 \rightarrow e(t) = P \cdot \frac{1}{3} \cdot \cos(2\pi \cdot f_0 \cdot t)$$

$$01 \rightarrow e(t) = P \cdot \frac{1}{3} \cdot \cos(2\pi \cdot f_0 \cdot t - \pi)$$

$$00 \rightarrow e(t) = P \cdot \cos(2\pi \cdot f_0 \cdot t - \pi)$$



Esta es la idea, pero en realidad... NO SE USA

Amplitud y Fase de $e(t)$

Modulación QAM

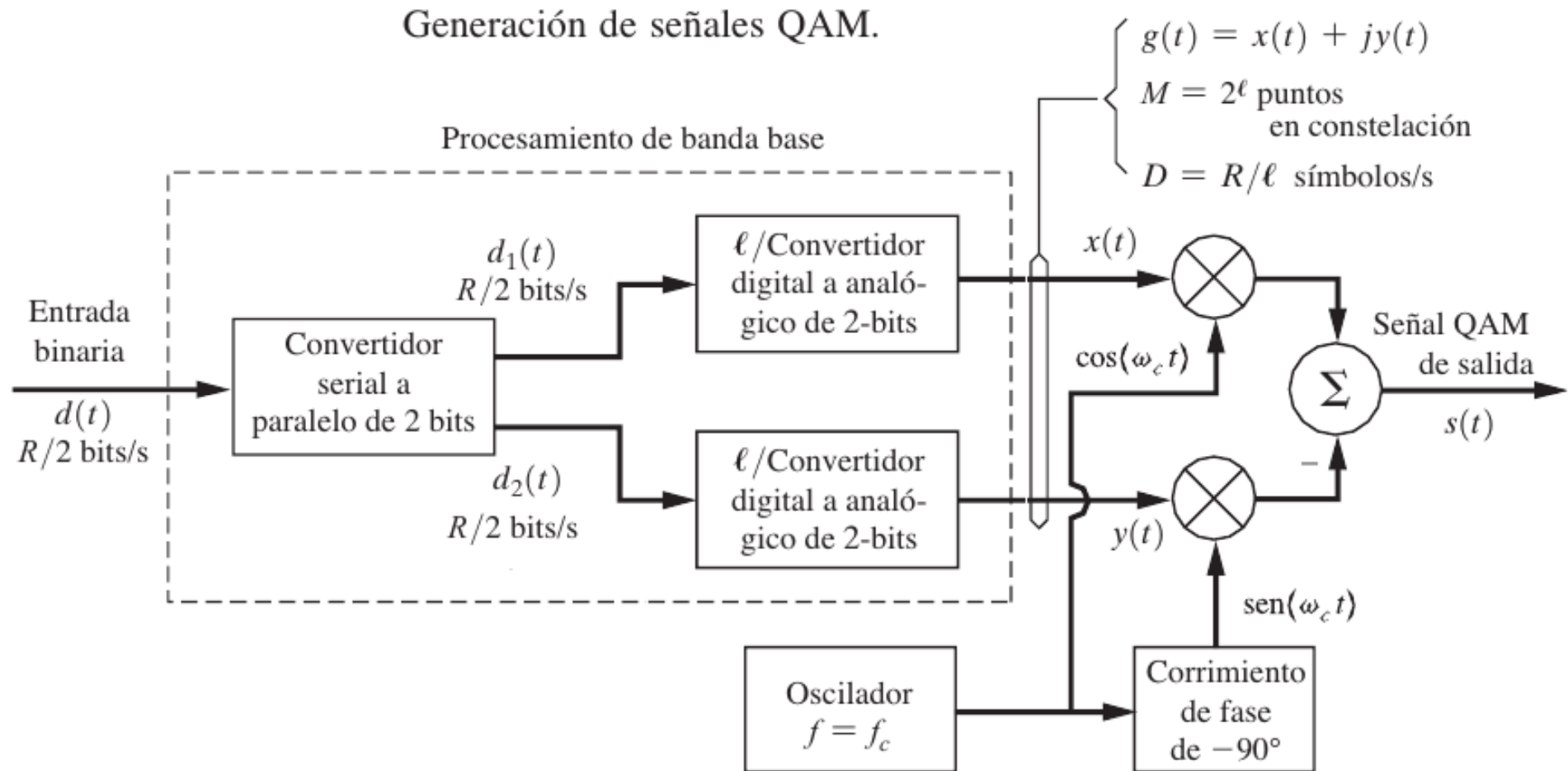
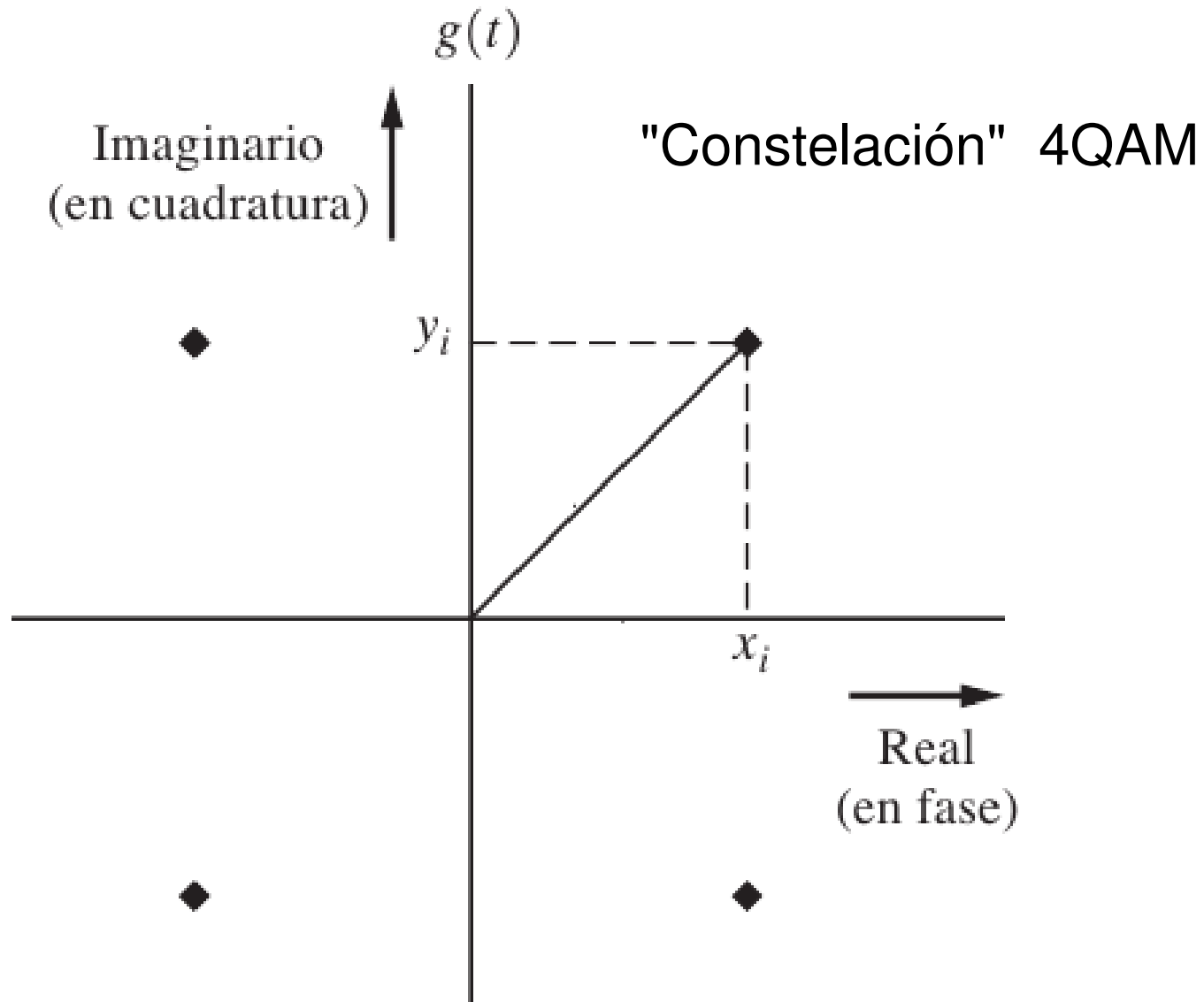


Figura 5–31 (b) (Couch-Cuevas-Romero)

Modulador para una constelación de señal rectangular

Modulación QAM



Tarea:

Averiguar dónde se emplean las modulaciones

- * BLU,
- * BPSK
- * QAM

Modulación QAM

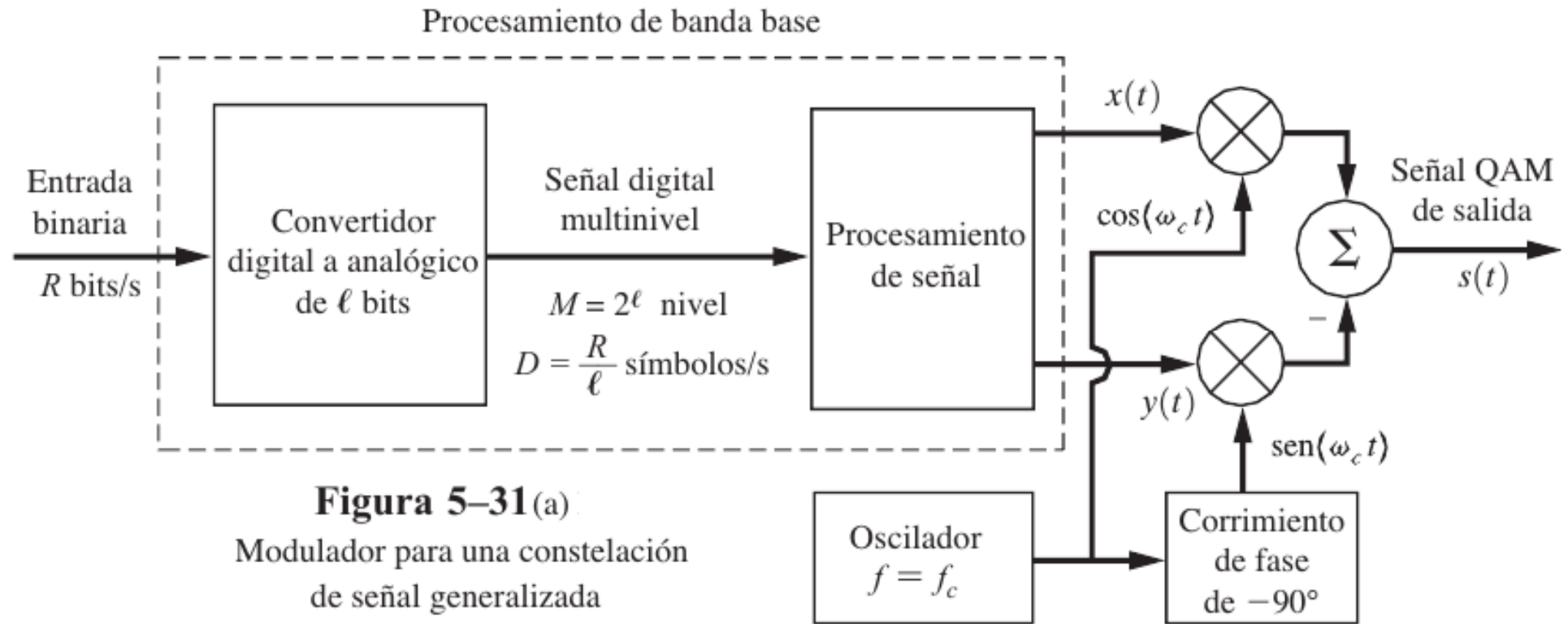
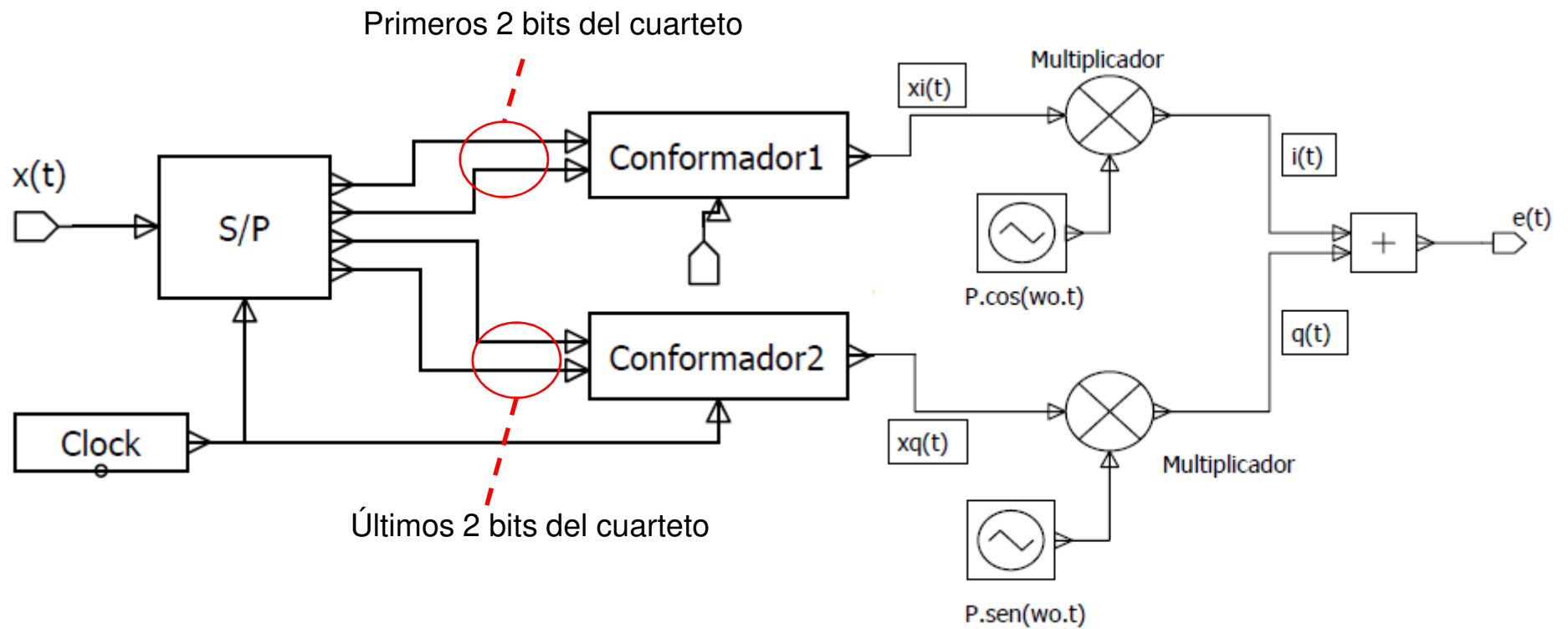
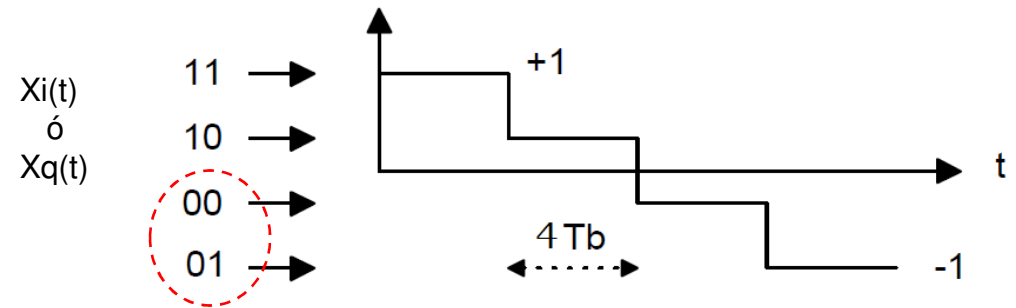


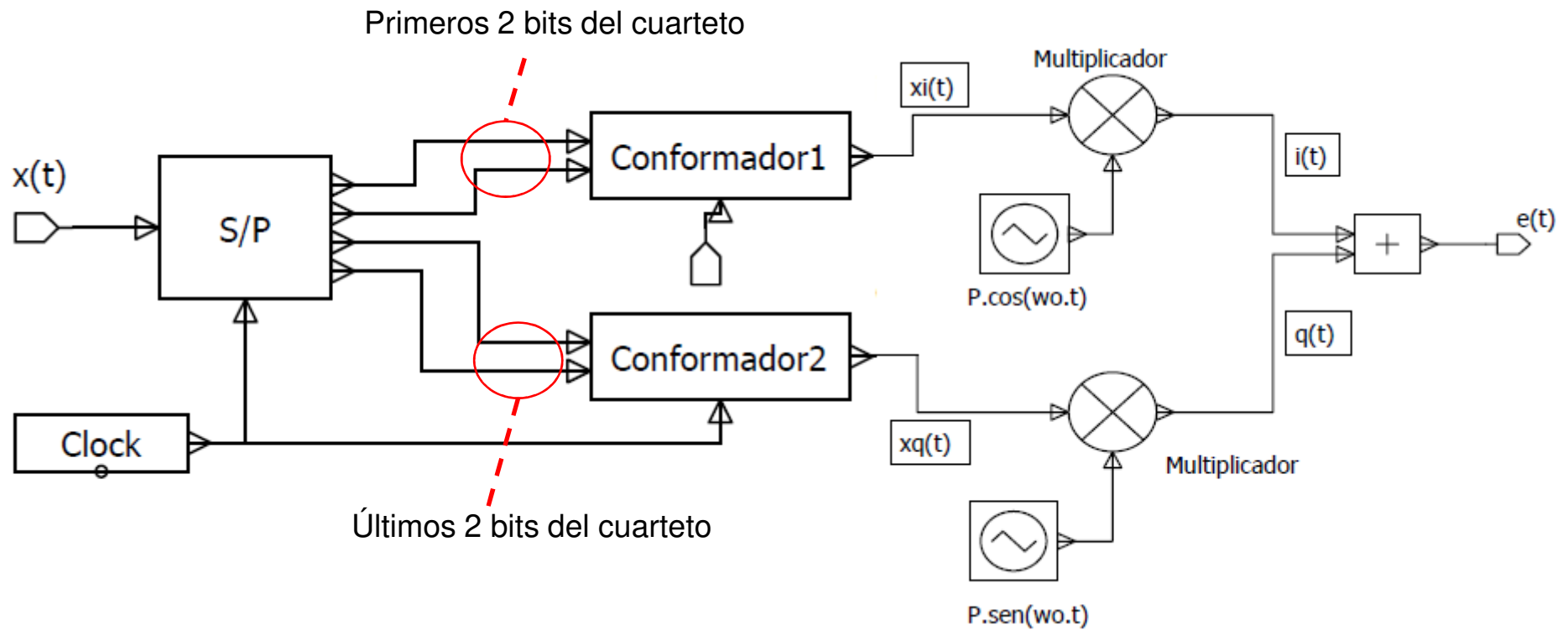
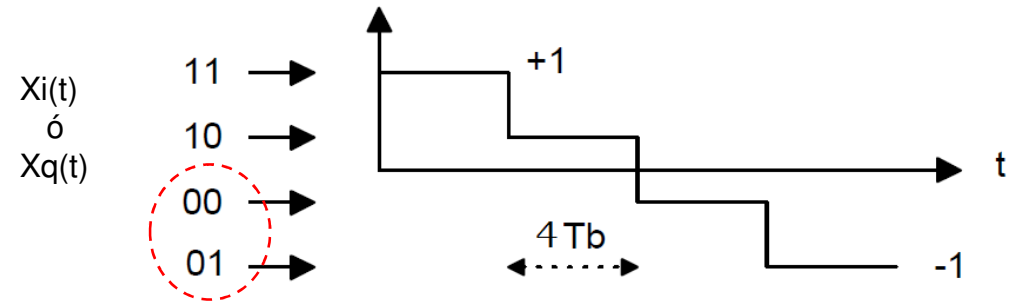
Figura 5-31(a)
Modulador para una constelación
de señal generalizada

(Couch-Cuevas-Romero)

Modulación 16-QAM



Modulación 16-QAM

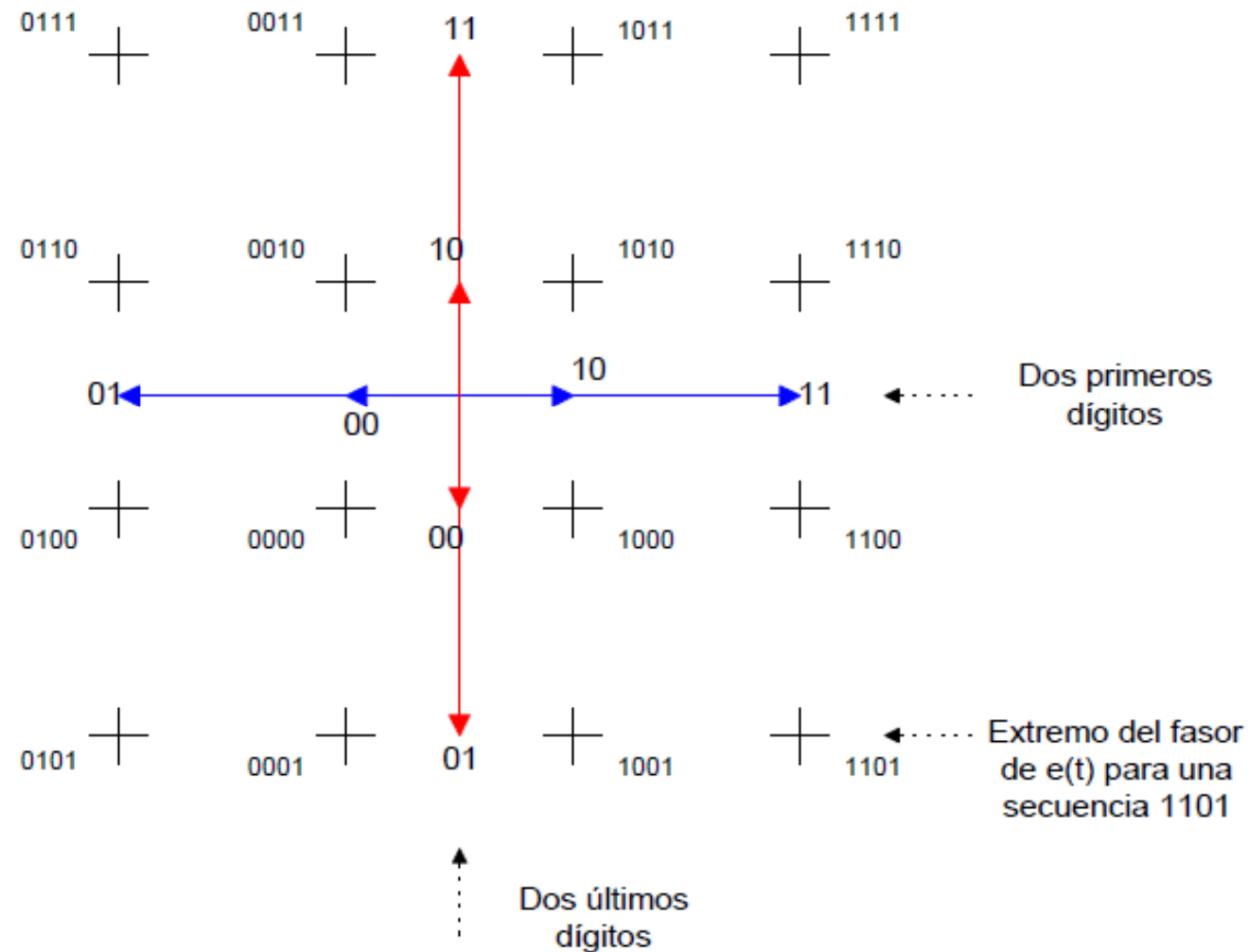


$e(t)$: Baud rate??

$e(t)$: Ancho de banda??

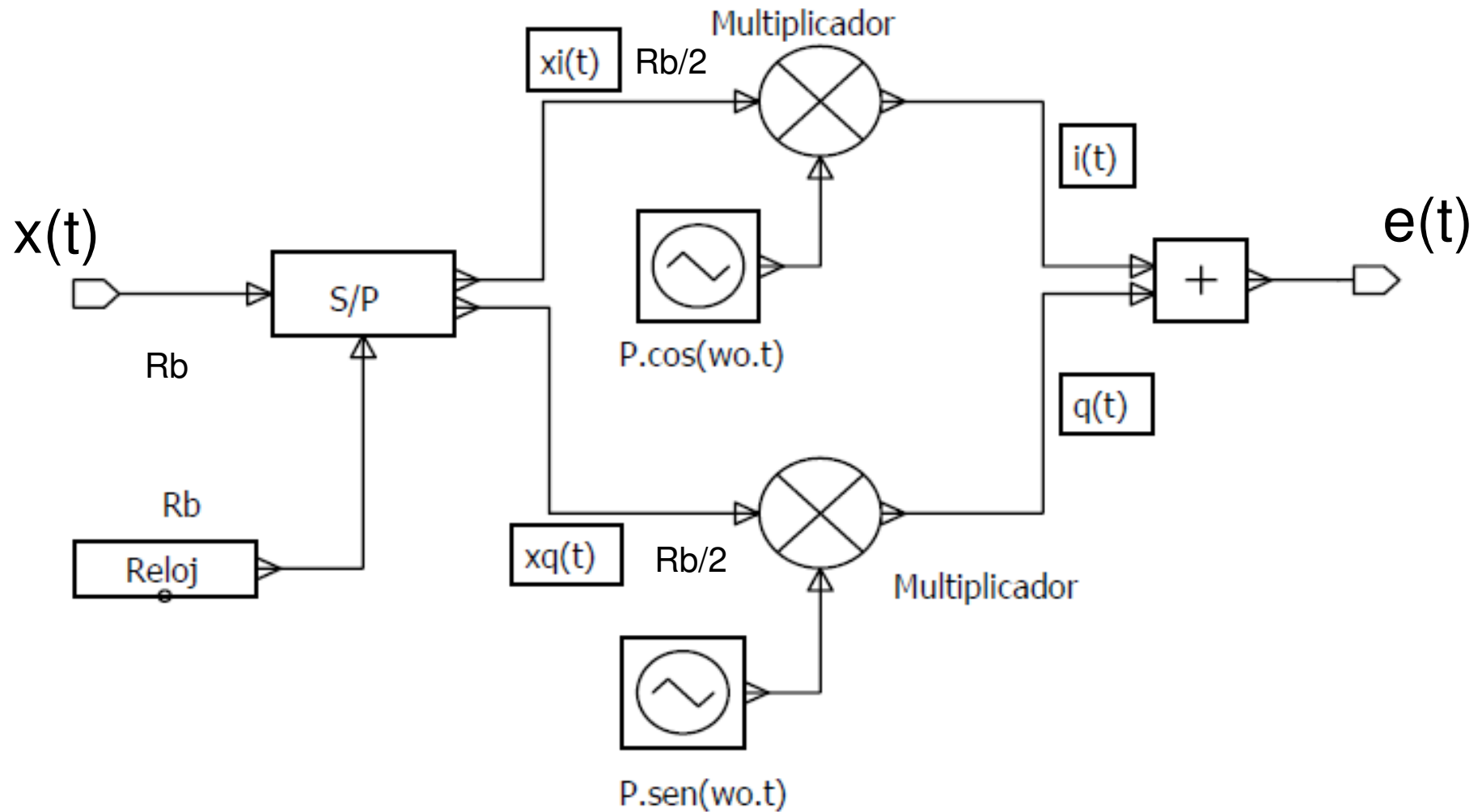
Modulación 16-QAM

Constelación de fasores o símbolos



Plano de fases de una señal 16QAM

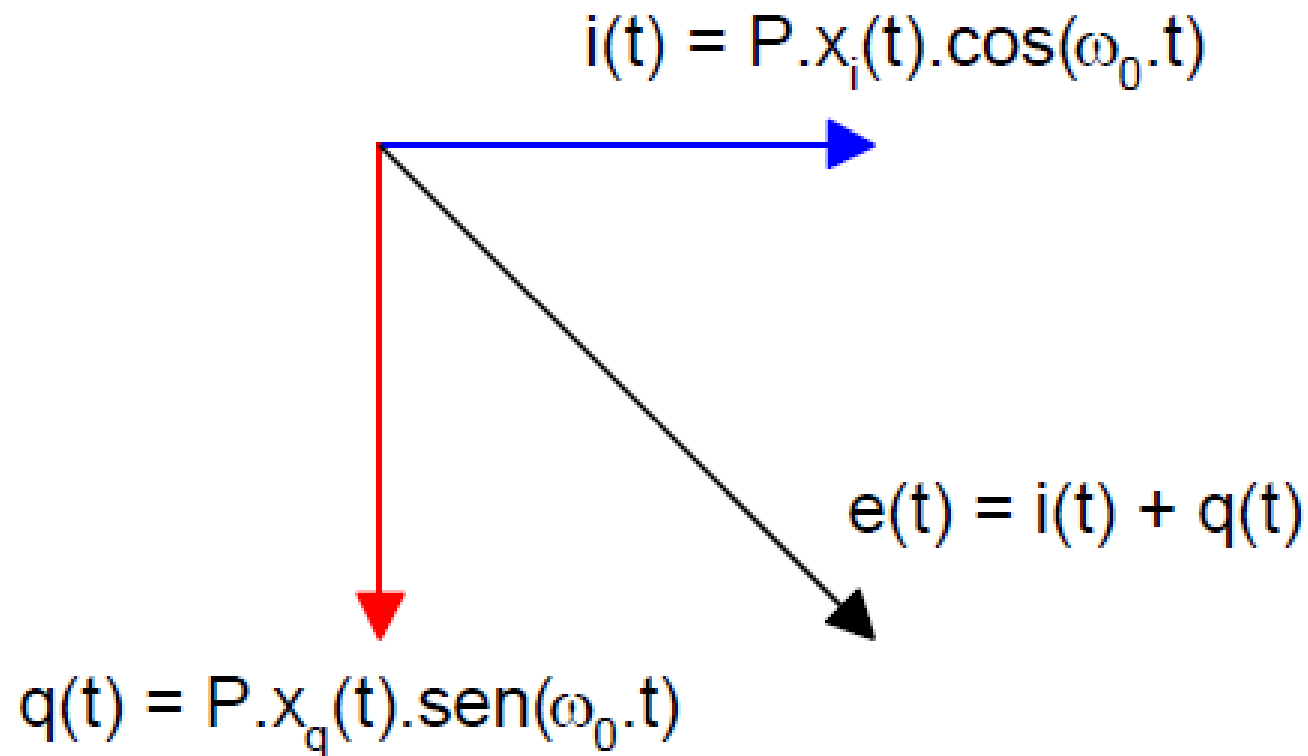
Modulación QPSK



$$e(t) = P \cdot (x_i(t) \cdot \cos(2\pi \cdot f_0 \cdot t) + x_q(t) \cdot \sin(2\pi \cdot f_0 \cdot t))$$

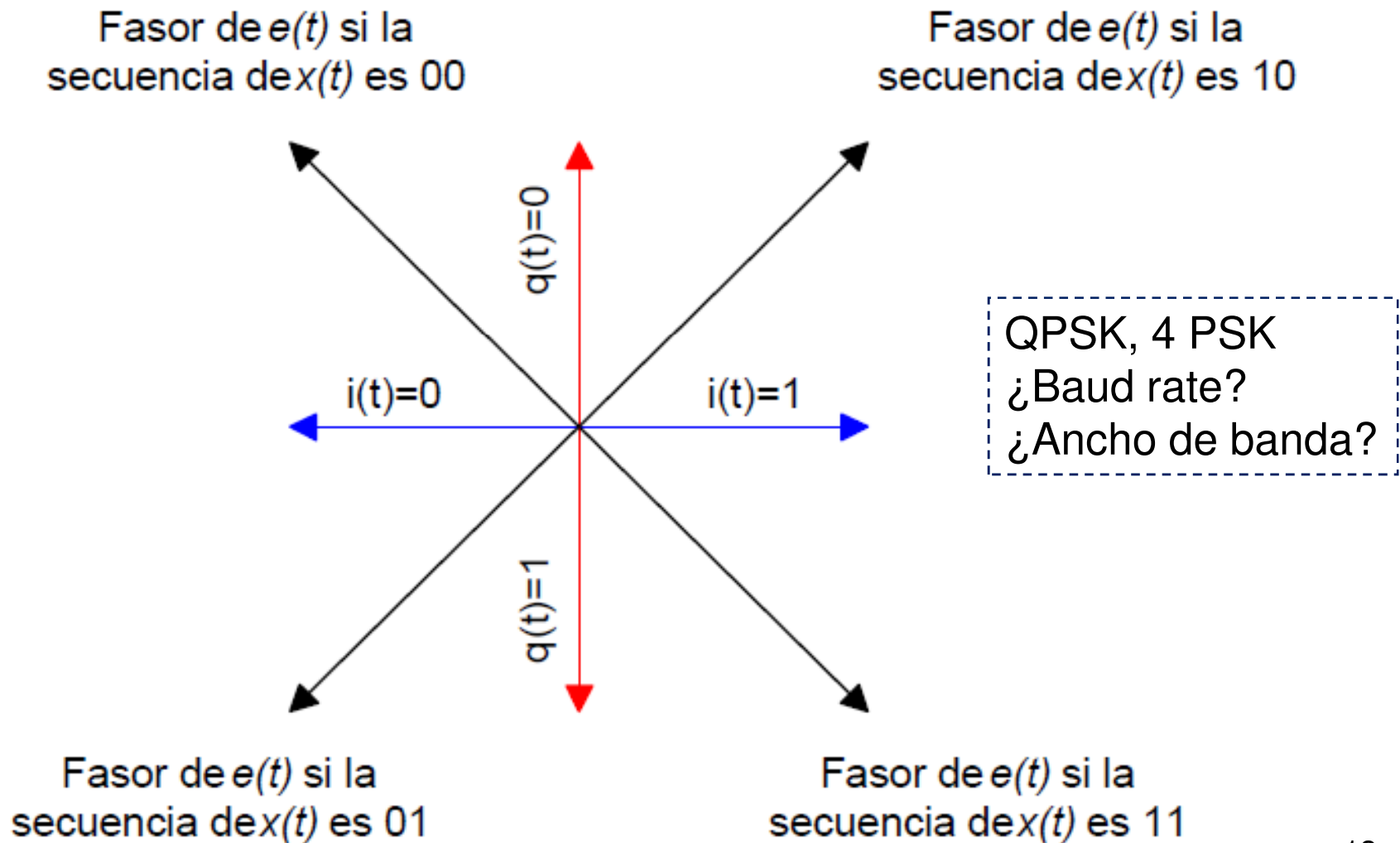
Modulación QPSK

$$e(t) = P \cdot (x_i(t) \cdot \cos(2\pi \cdot f_0 \cdot t) + x_q(t) \cdot \sin(2\pi \cdot f_0 \cdot t))$$

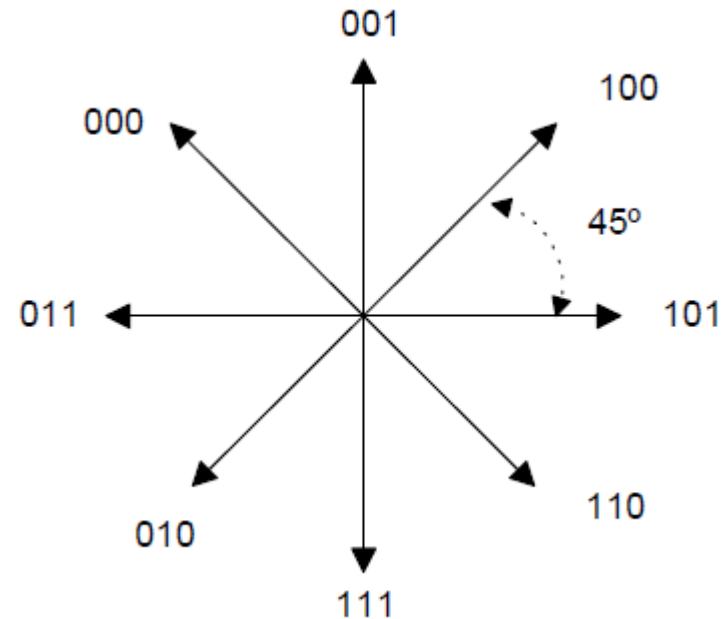
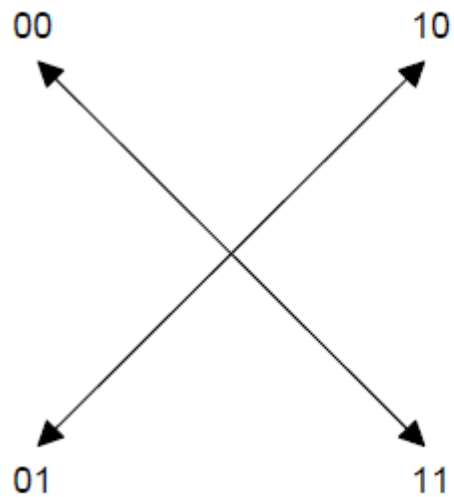
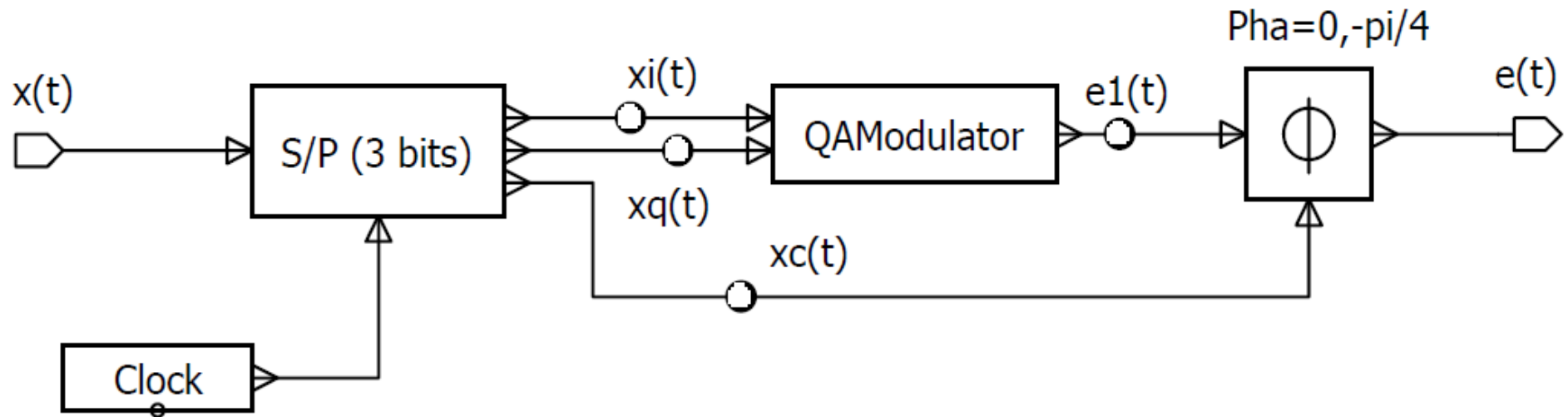


Modulación QPSK

$$e(t) = P \cdot (x_i(t) \cdot \cos(2\pi \cdot f_0 \cdot t) + x_q(t) \cdot \sin(2\pi \cdot f_0 \cdot t))$$



Modulación 8-PSK

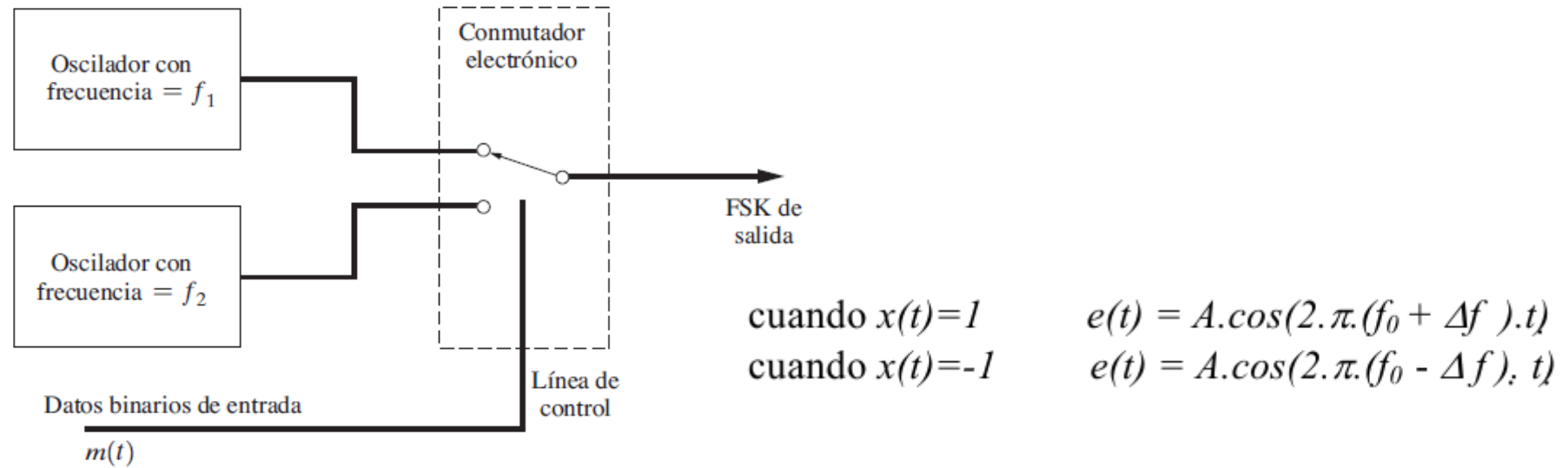


Unidad 5: Traslación de frecuencia y

modulación. Sistemas de modulación lineal: AM, DSB y SSB. Análisis en tiempo y frecuencia, ventajas y desventajas relativas. Demodulación. Detector coherente. Errores e imperfecciones. Modulación lineal de señales digitales. ASK, PSK, N-PSK, N-QAM. Diagramas en bloques. Sistemas de modulación angular, FM y PM. Generación de señales moduladas en ángulo. El VCO. Sistemas modulados en cuadratura.

Modulación en ángulo de señales digitales, FSK, FFSK, GFSK, análisis espectral. Demodulación, detector en cuadratura y PLL. Multiplexado de señales.

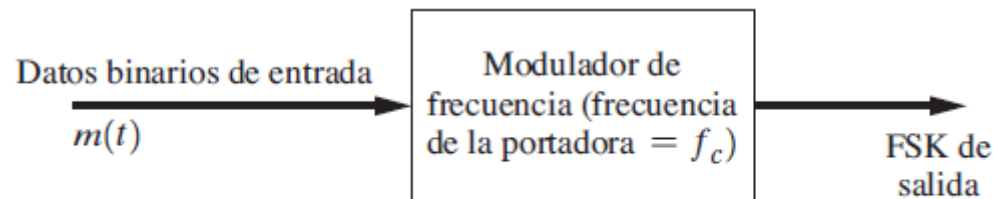
Modulación FSK



(a) FSK de fase discontinua

Regla de Carson:

$$W=2.(\Delta f + R_b/2) \text{ Hz.}$$



(b) FSK de fase continua

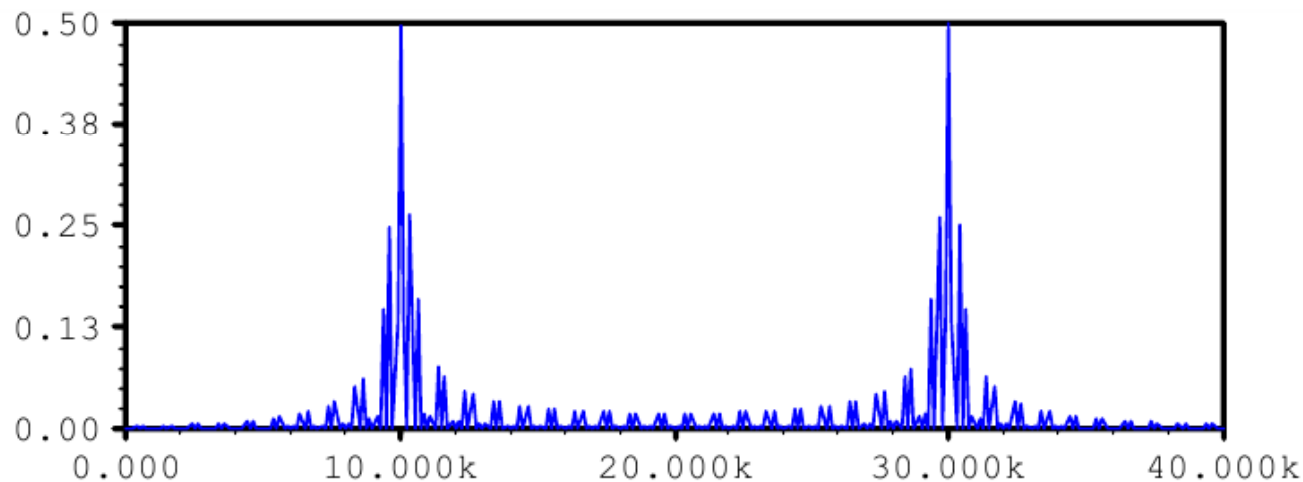
FACEyT, DEEC, EAL2025. Ing. C.

Formigli
Figura 5–23 Generación de FSK. (Couch-Cuevas- Romero)

Regla de Carson:

$$W=2.(\Delta f + R_b/2) \text{ Hz.}$$

Cuando $\Delta f \gg R_b$, caso de FSK de banda ancha (WFSK), el espectro de la señal modulada se concentra en las frecuencias de 1 y 0 (lógicos) y puede considerarse la señal FSK como la suma de dos señales ASK. P. ej., una secuencia repetitiva 11010010 de 1 kbps que module una portadora $f_0=20 \text{ kHz}$ con $\Delta f=10 \text{ kHz}$ presenta el siguiente espectro:



Si Δf es del orden de R_b : modulación FSK de banda angosta.

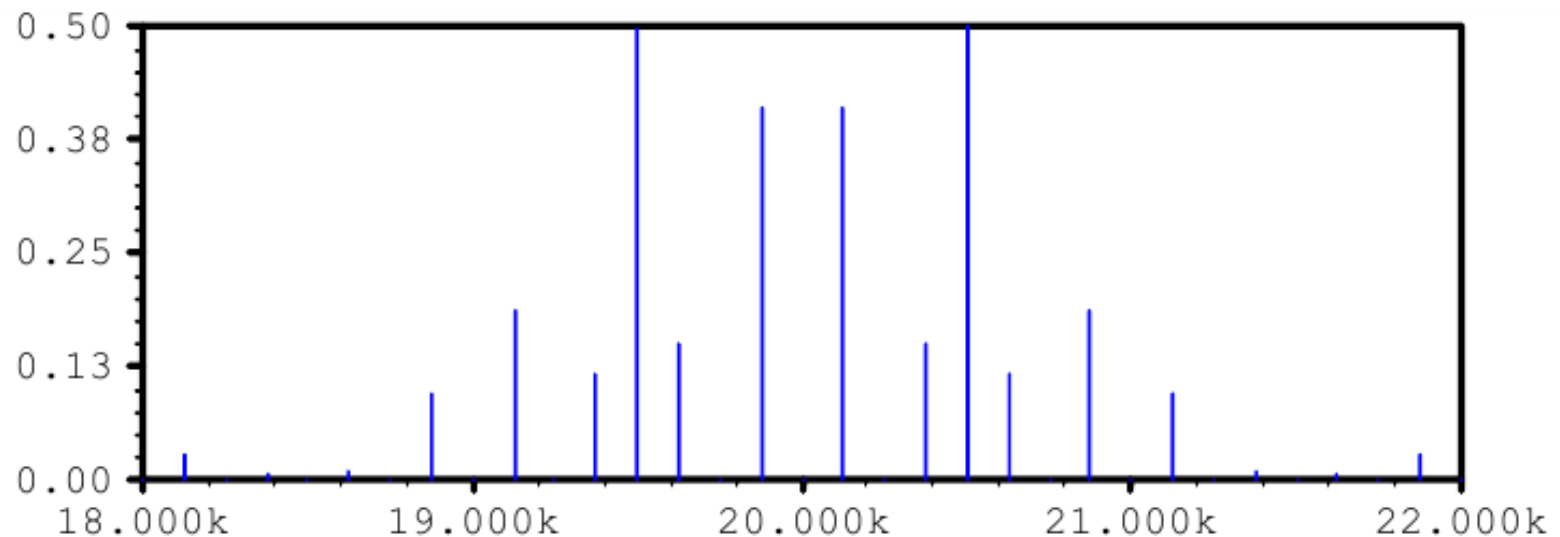
Si Δf es del orden de R_b : modulación FSK de banda angosta.

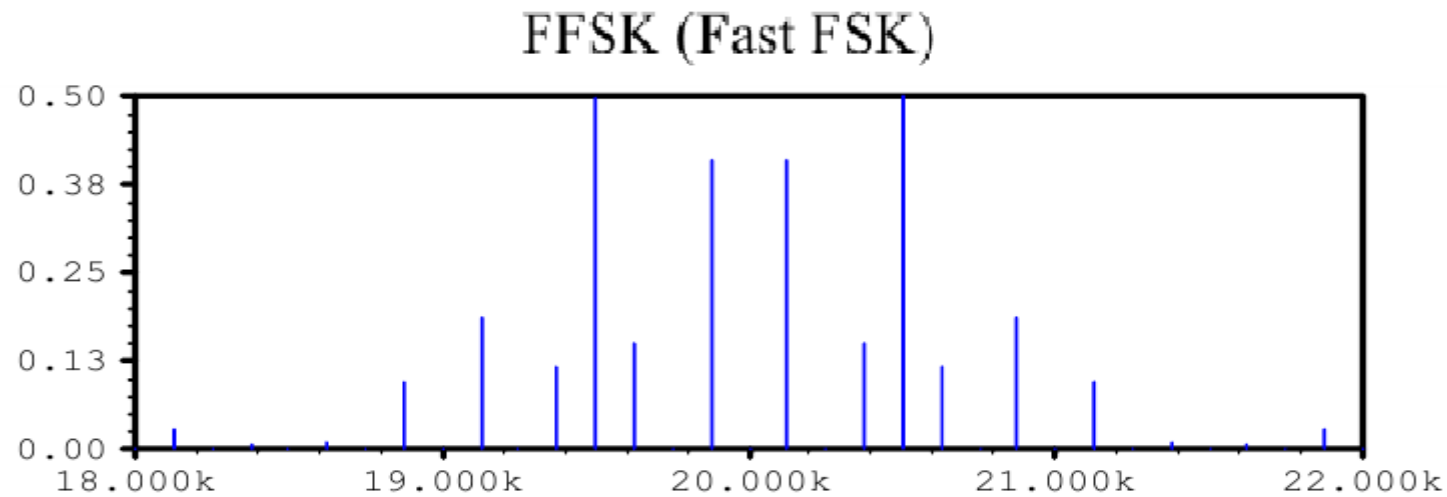
El ancho de banda resultante (componentes significativas) es, aproximadamente, 2kHz.

En éste caso $\Delta f = 0.5 \text{ kHz} = R_b/2$

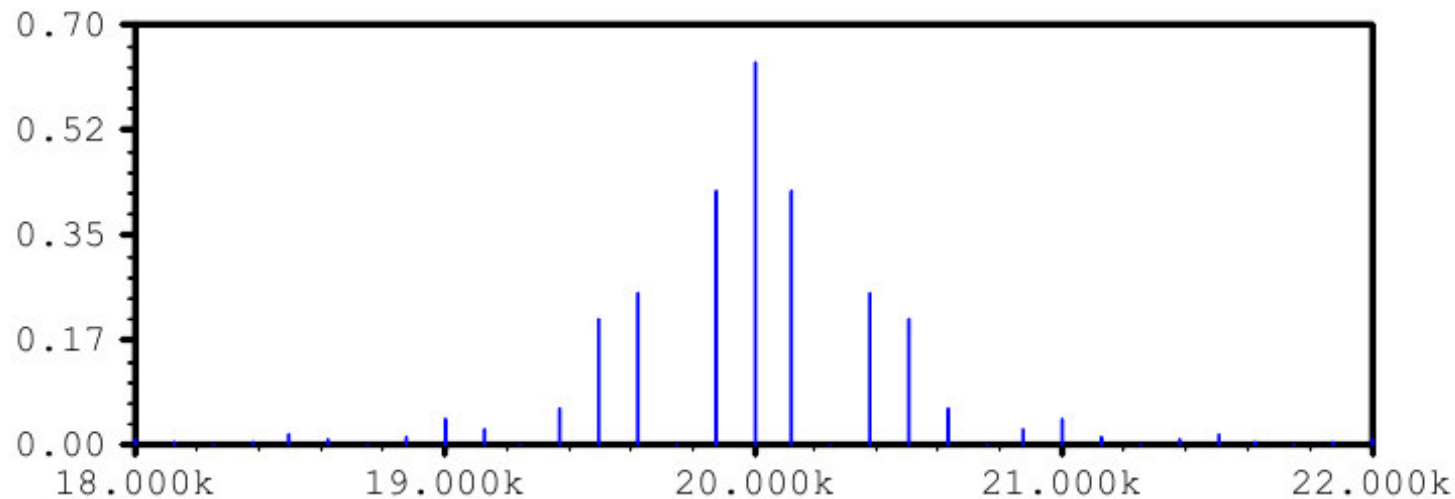
es decir que la diferencia entre las frecuencias de 1 y 0 lógicos es R_b Hz.

En la literatura se lo conoce como FFSK (**F**ast FSK).

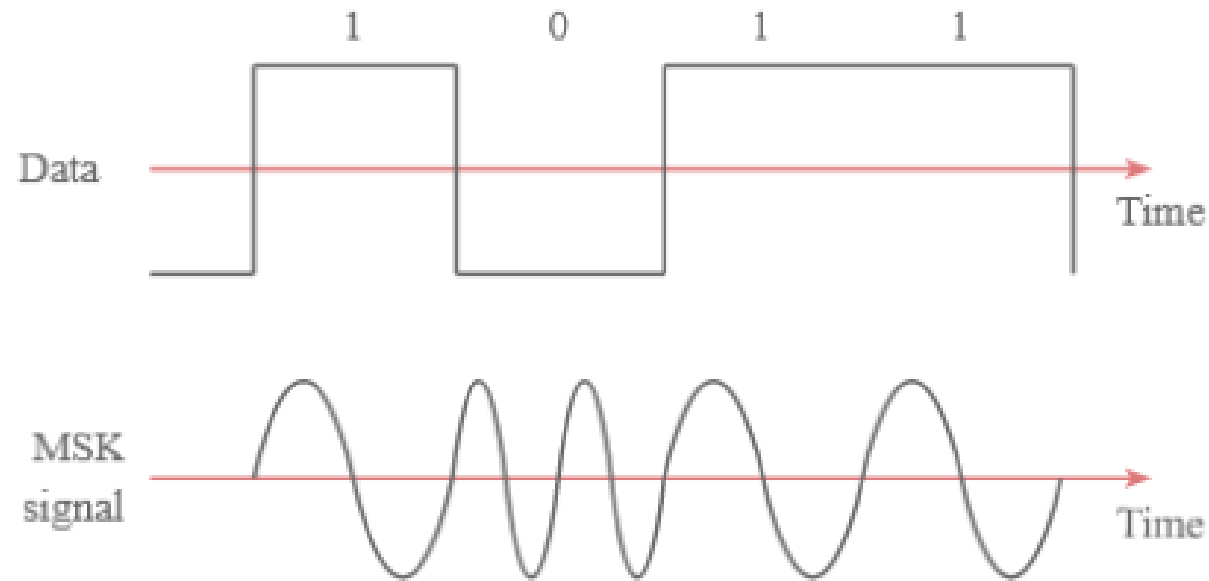




Otro caso de utilización extensa es MSK (**M**inimum **S**hift **K**eying), donde $\Delta f = R_b/4$. En el ejemplo tendría que ser $\Delta f = 0.25 \text{ kHz}$ y el espectro resultante es:

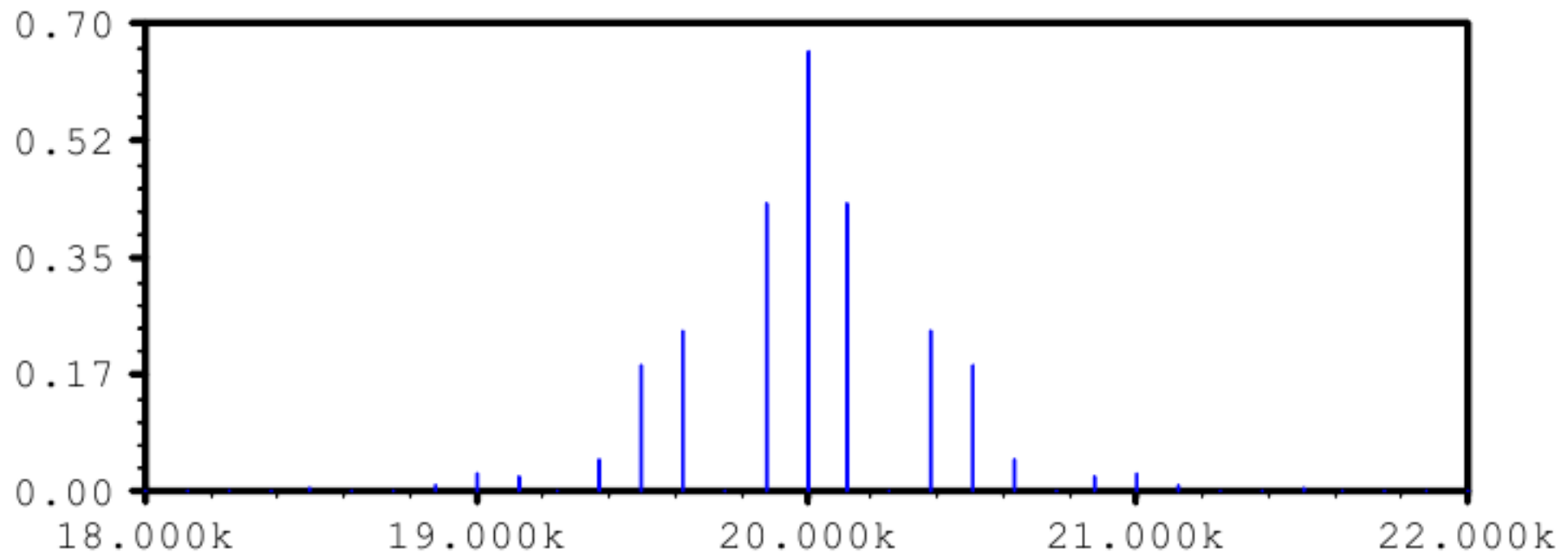


Notar la reducción del ancho de banda ocupado.
FACEyT, DEEC, EAL2025. Ing. C. Formigli



Concept of a minimum shift keying,
MSK signal

Si, previo a la modulación, se filtra la señal $x(t)$ con un filtro Gaussiano se tiene un sistema GMSK (Gaussian MSK)



¡Telefonía celular!