

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.

BIBLIOGRAFÍA

- * Carlson-Crilly-Rutledge: cap. 4. "Communication systems, an introduction to signals ..." 5^{ta} Ed.
- * Couch-Cuevas-Romero: cap. 5. "Sistemas de comunicación digitales y analógicos" 7^{ma} Ed.
- * Ing. Bilbao: Apuntes de cátedra "Traslación en frecuencia"

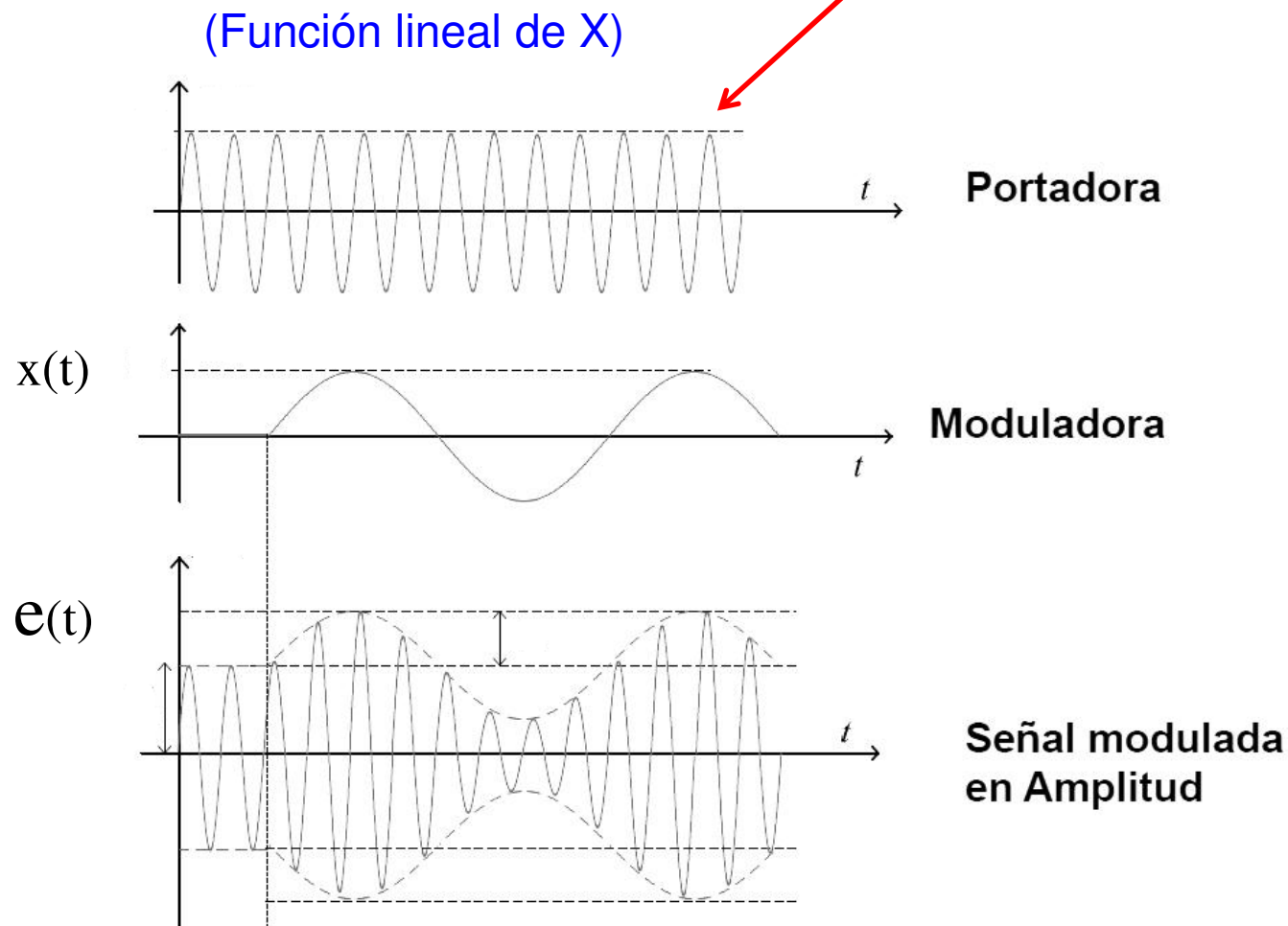
Esquema de la exposición

1. Modulación lineal en general
2. AM
3. DSB
4. SSB
5. Resumen comparativo
(ventajas y desventajas relativas)

1. Modulación lineal

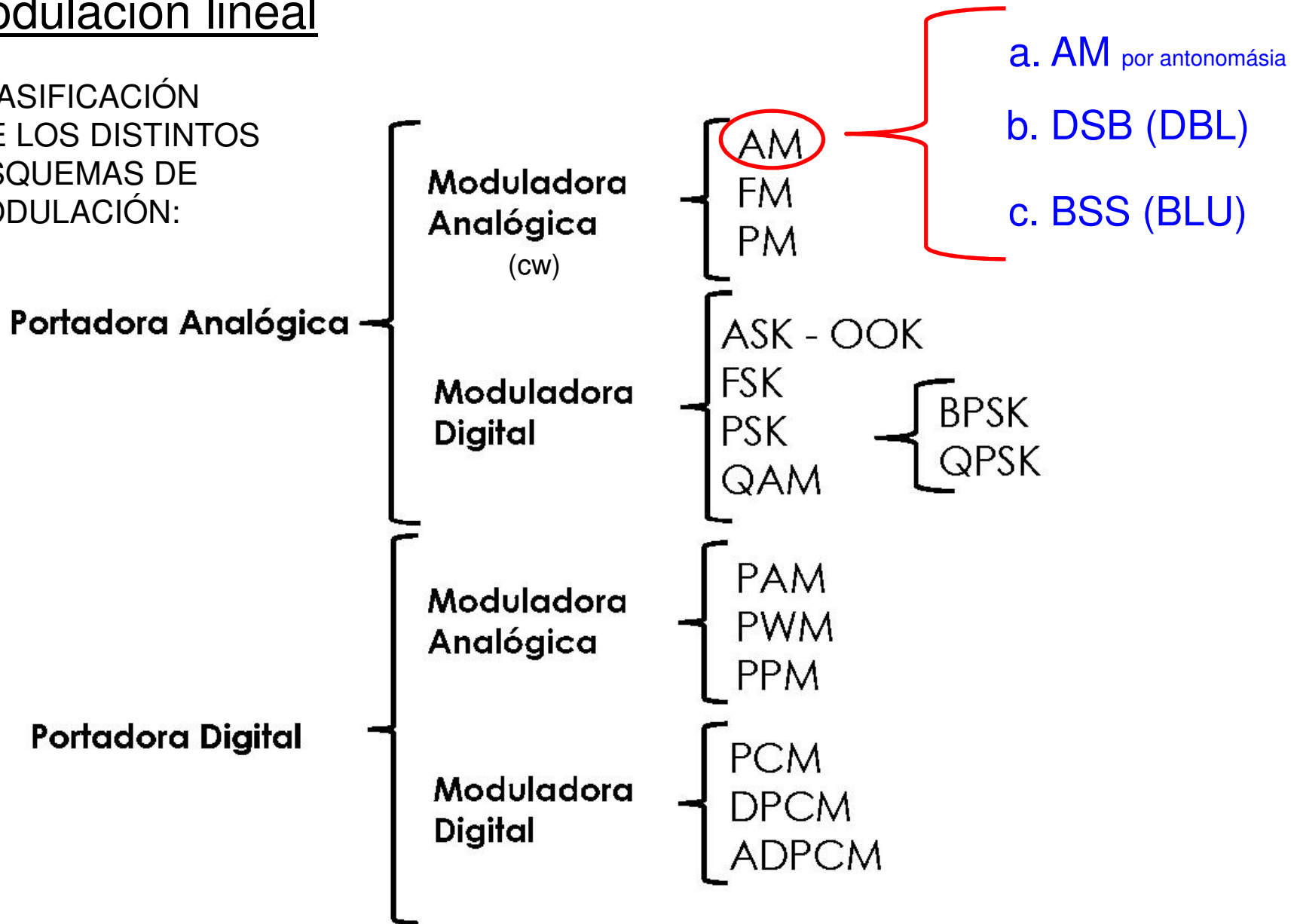
¿En que se basan los sistemas de modulación lineal?

$$e(t) = \underbrace{Amp(x(t))}_{\text{(Función lineal de X)}} \cdot \underbrace{\cos(2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot t)}_{\text{Portadora}}$$



1. Modulación lineal

CLASIFICACIÓN
DE LOS DISTINTOS
ESQUEMAS DE
MODULACIÓN:

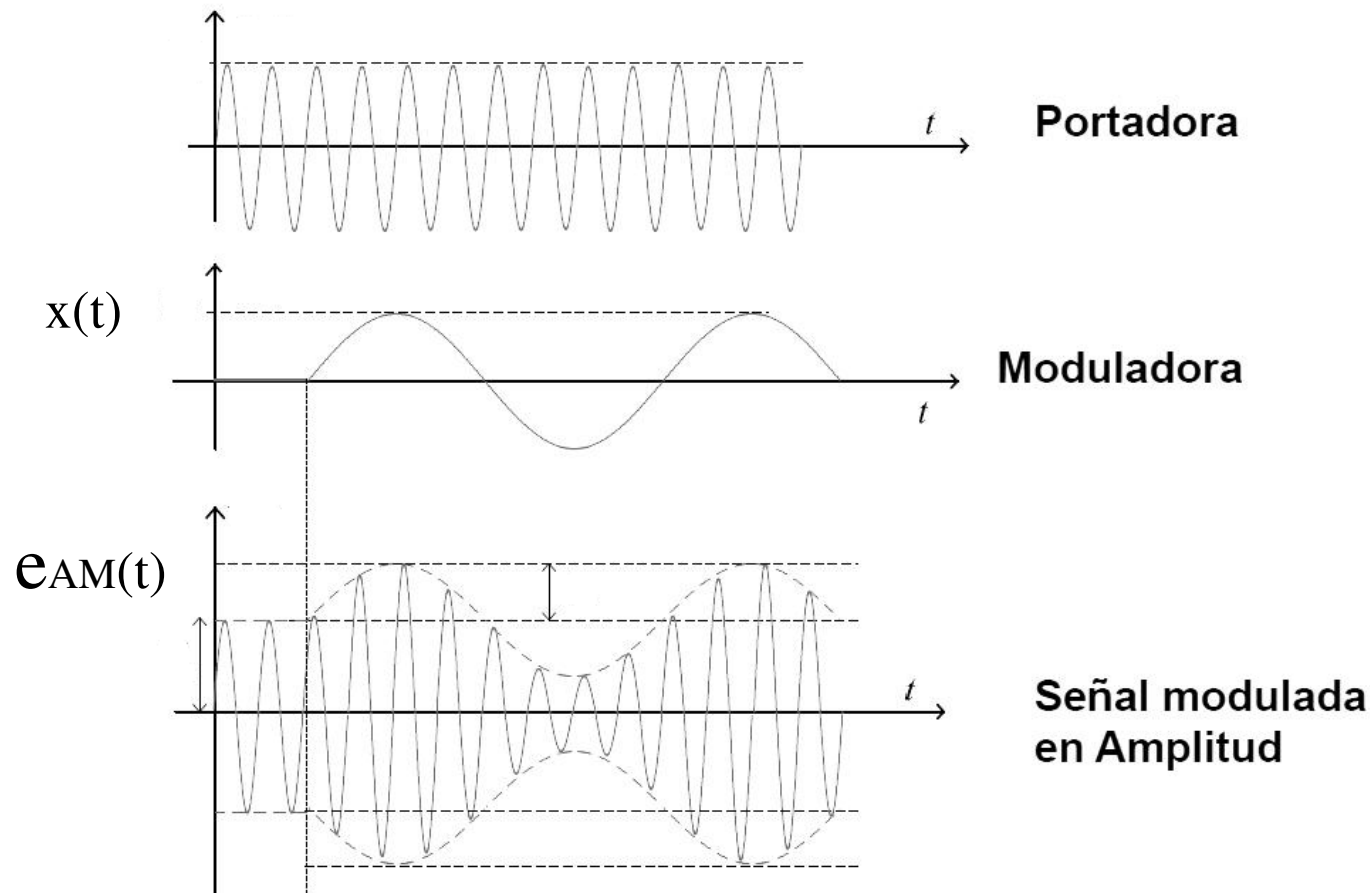


1. Modulación lineal

¿Qué ocurre en el dominio de la frecuencia?

$$e(t) = \text{Amp}(x(t)) \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot t)$$

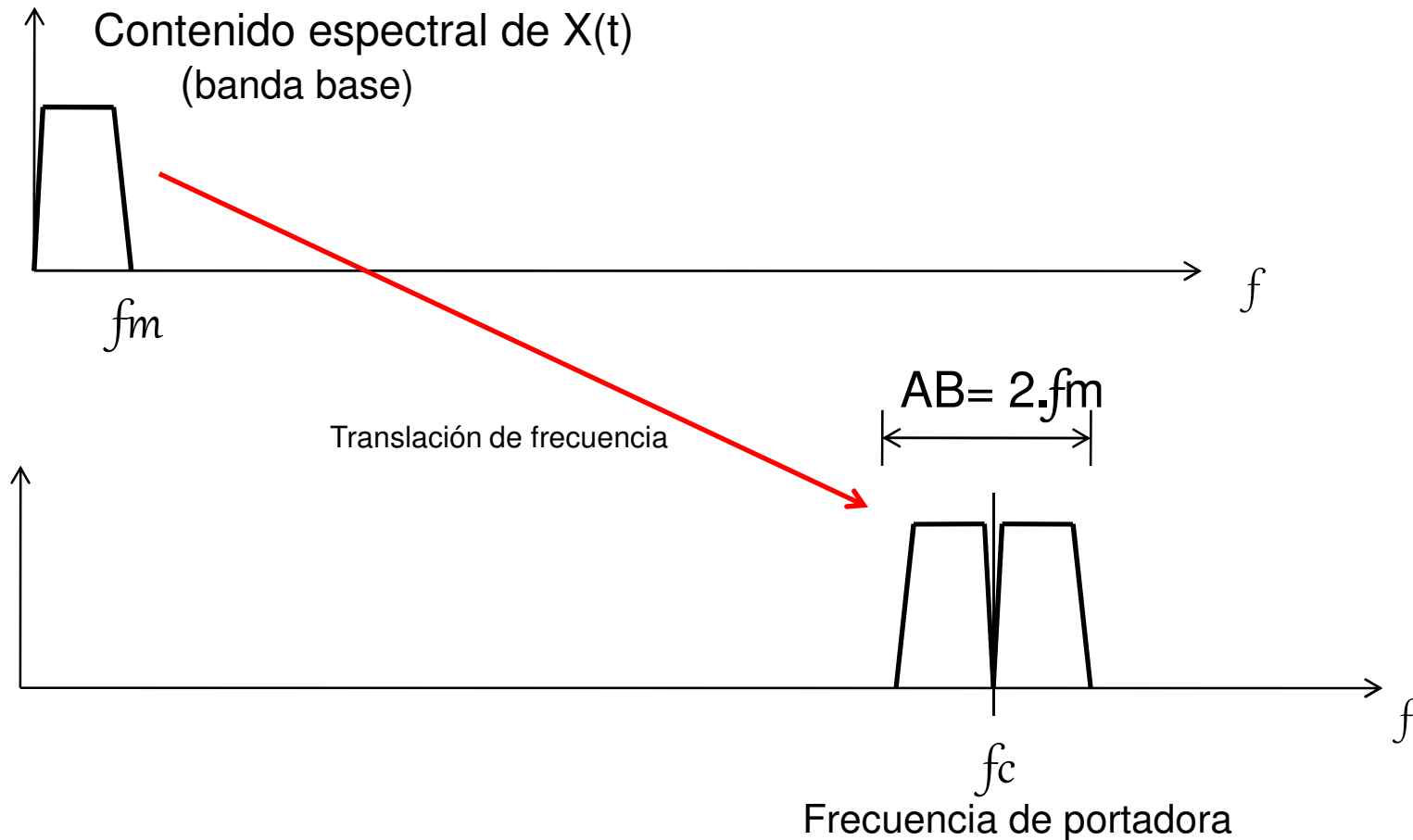
(Función lineal de X)



1. Modulación lineal

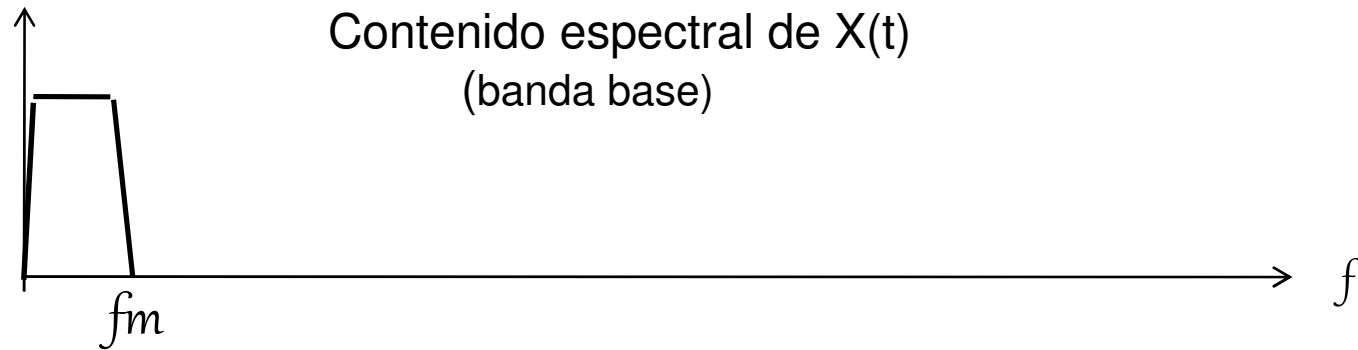
¿Qué ocurre en el dominio de la frecuencia?

$$e(t) = Amp(x(t)) \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot t)$$

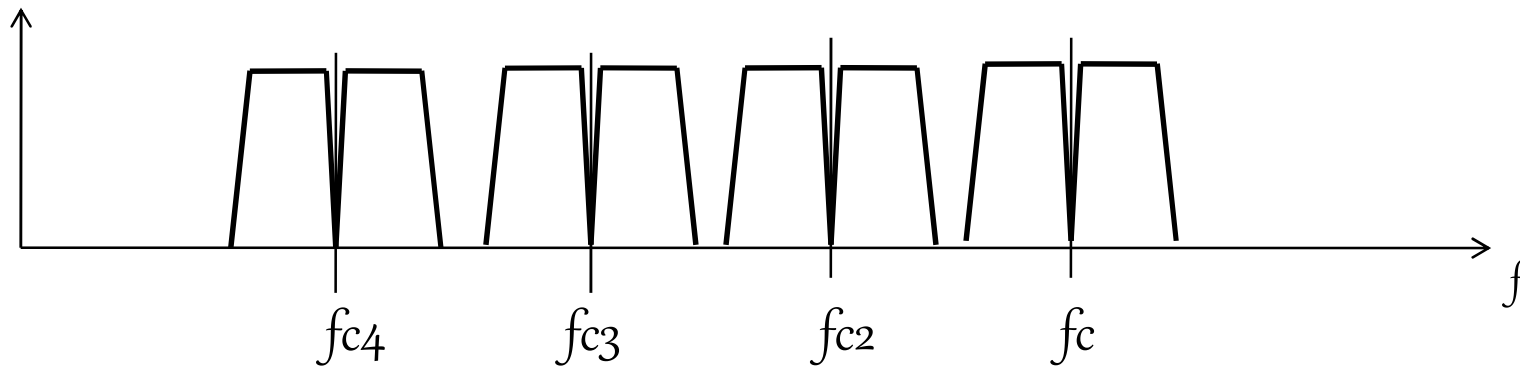


1. Modulación lineal

¿Qué ocurre en el dominio de la frecuencia?



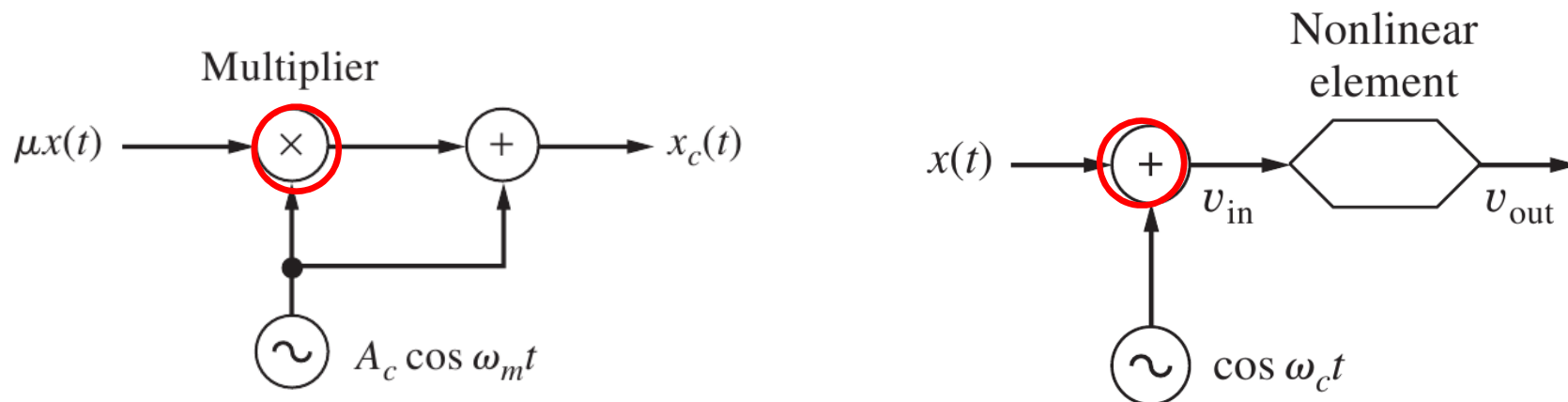
Multiplexado en frecuencia (FDM)



1. Modulación lineal

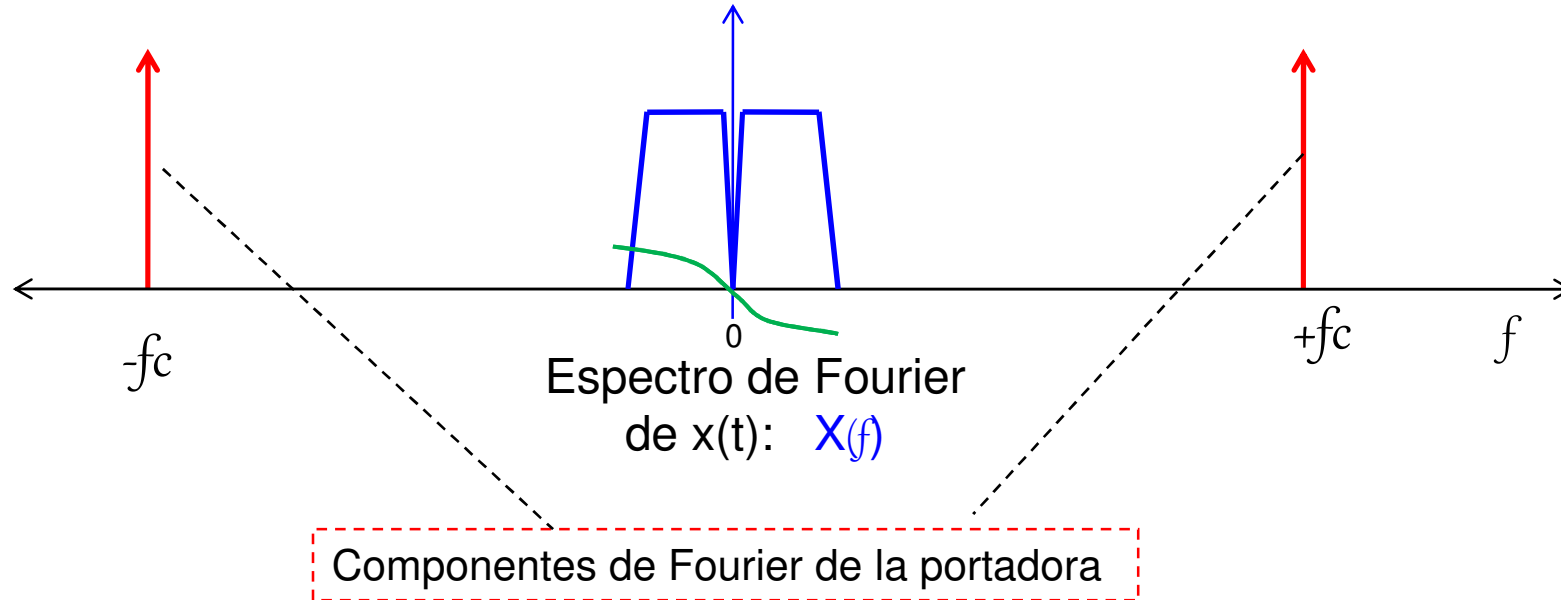
$$e(t) = \text{Amp}(x(t)) \cdot \cos(2\pi f_c t)$$

La translación de frecuencias es la consecuencia del **producto** de las dos señales.

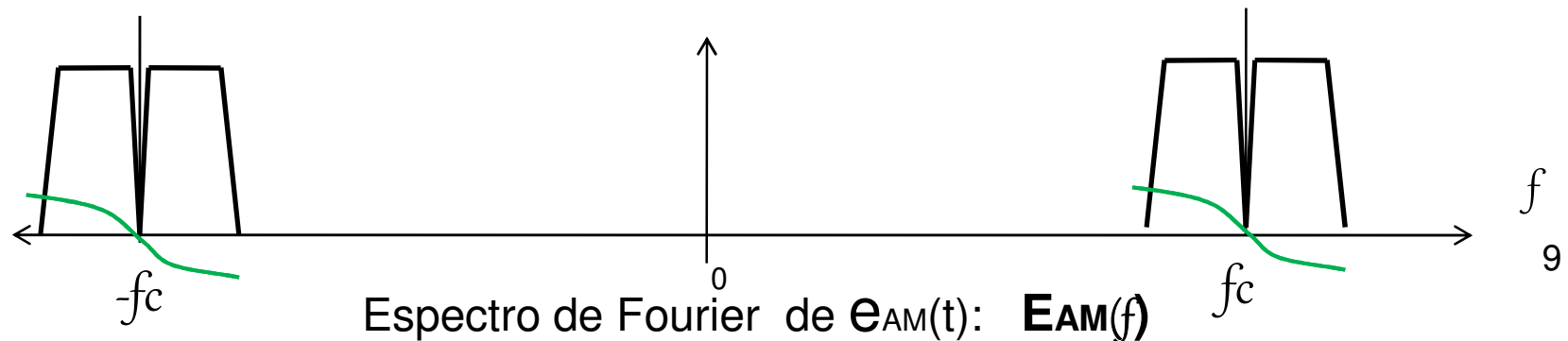


1. Modulación lineal ¿Qué ocurre en el dominio de **FOURIER**?

$$e(t) = \text{Amp}(x(t)) \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot t)$$



"Producto en el tiempo \longrightarrow Convolución en la frecuencia"



1. Modulación lineal

¿Por qué "lineal"?

$$1. e(t) = \text{Amp}(x(t)) \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot t)$$

\downarrow

$$\text{Amp}(x) = A + k \cdot x$$

("Función lineal de X")



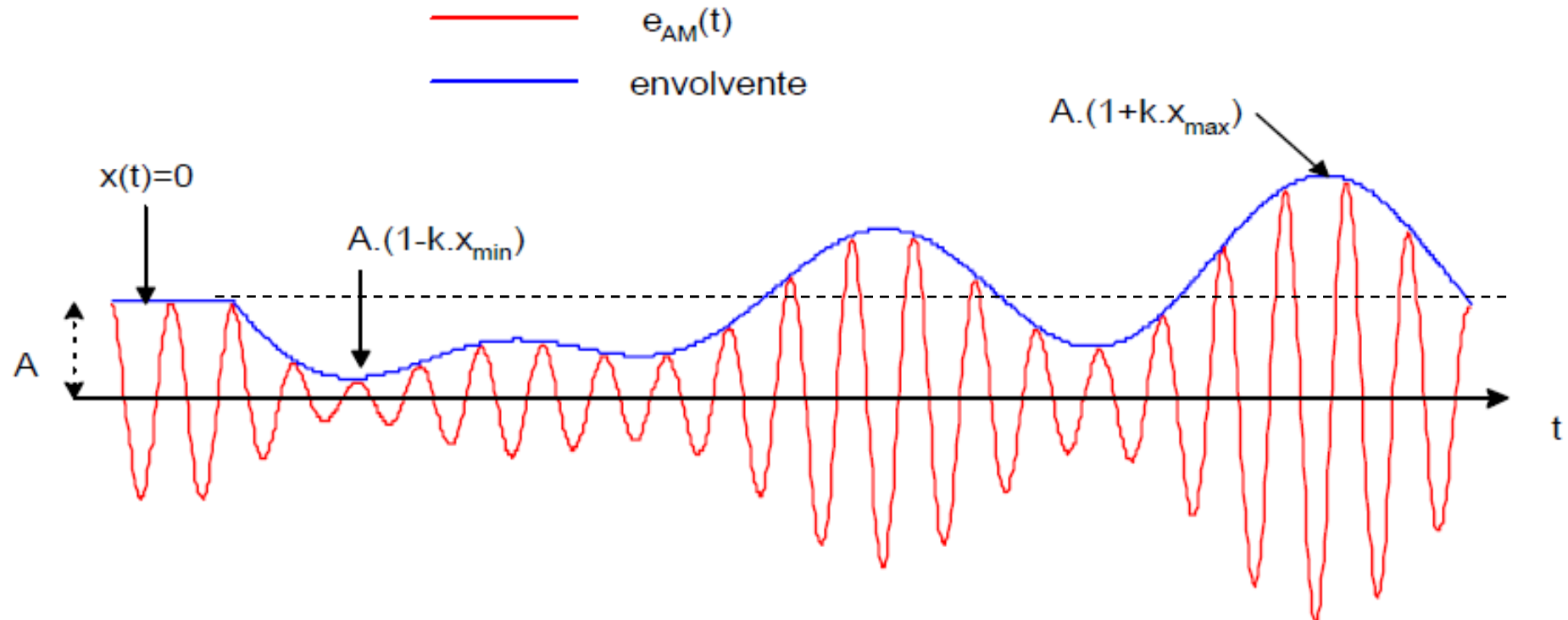
(Carlson p. 184)

Esquema de la exposición

1. Modulación lineal en general
2. AM
3. DSB
4. SSB
5. Resumen comparativo
(ventajas y desventajas relativas)

2) Modulación AM

$$e_{AM}(t) = A \cdot (1 + k \cdot x(t)) \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot t)$$

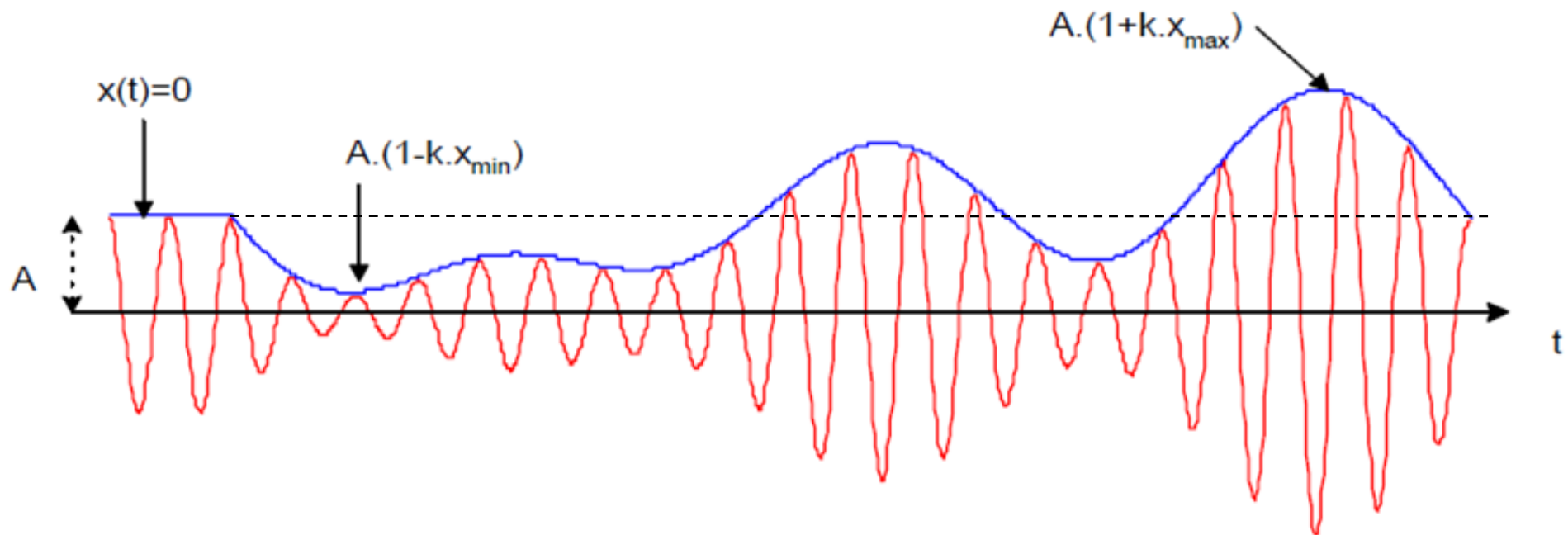


2) Modulación AM

$$e_{AM}(t) = A \cdot (1 + k \cdot x(t)) \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot t) \quad (K \leq 1/X_{max})$$

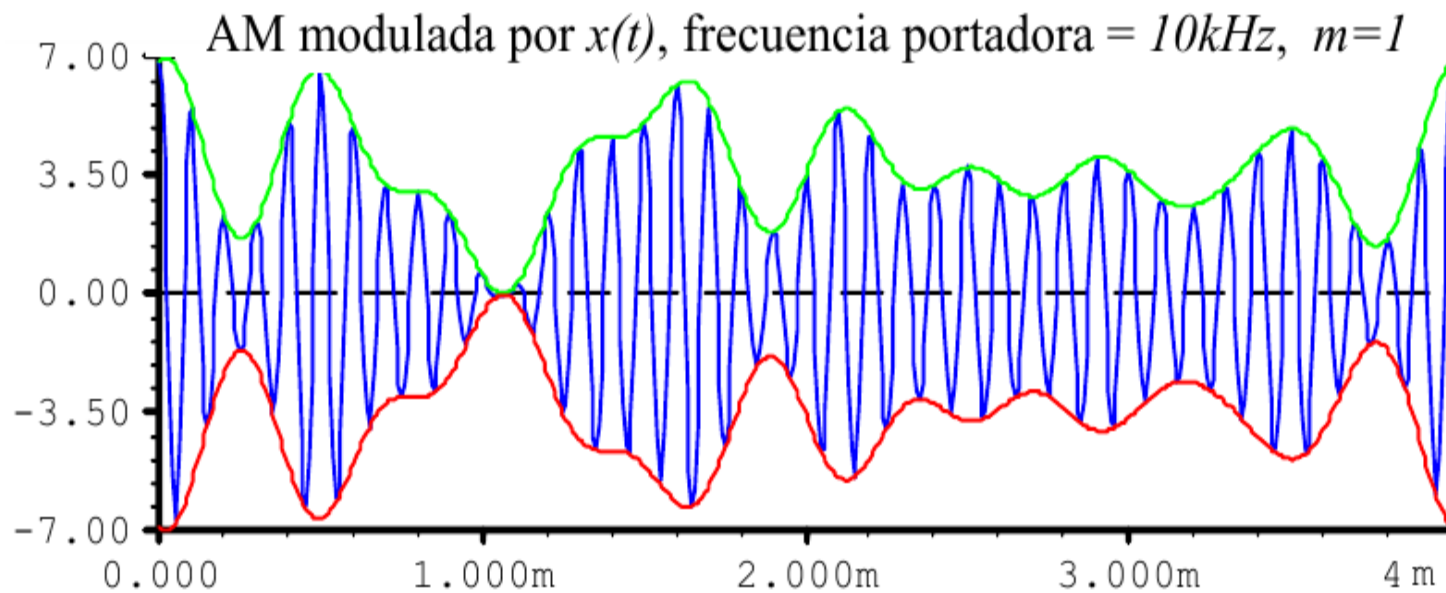
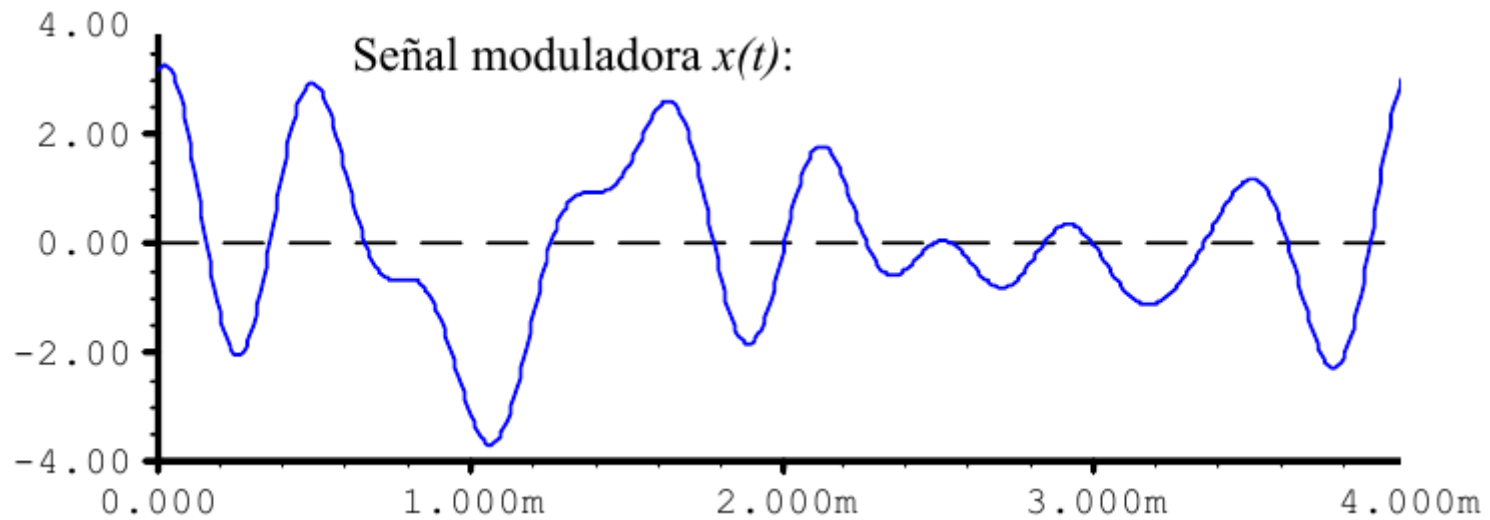
$$e_{AM}(t) = A \cdot \left(1 + \underbrace{m}_{\text{Índice de modulación}} \cdot \frac{x(t)}{x_{max}}\right) \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot t)$$

Índice de modulación



Sobremodulación?

2) Modulación AM

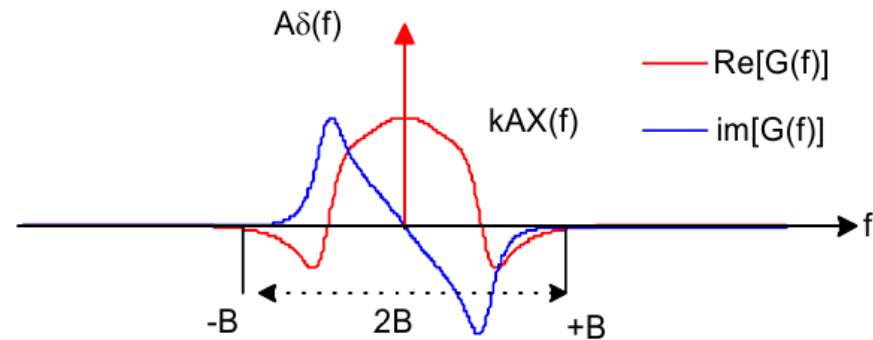


2) Modulación AM (En la frecuencia...)

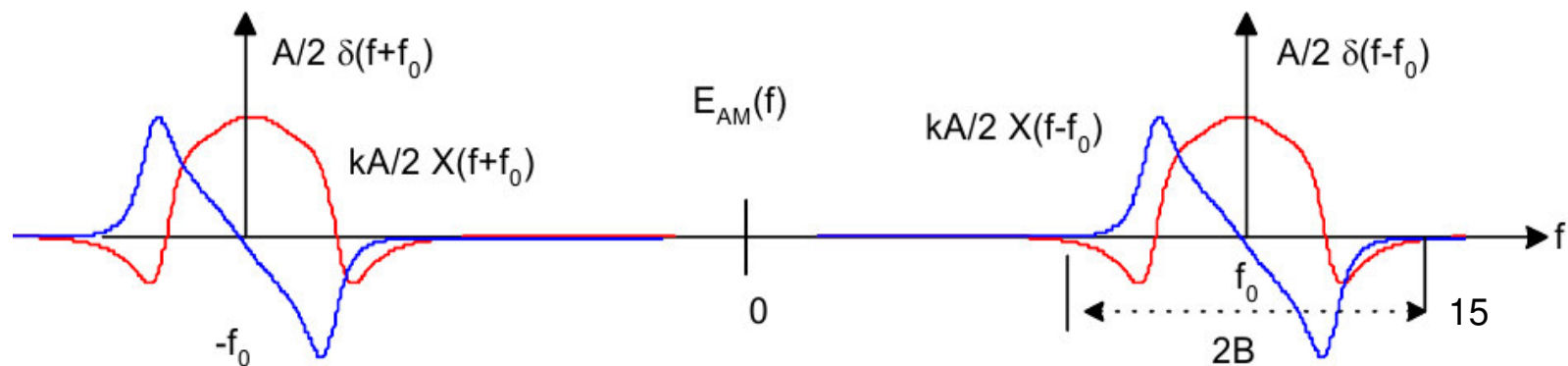
$$e_{AM}(t) = A \cdot \underbrace{(1 + k \cdot x(t))}_{g(t)} \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot t)$$

$$e_{AM}(t) = g(t) \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot t)$$

$$G(f) = A \cdot (\delta(f) + k \cdot X(f))$$



$$E(f) = G(f) * \frac{1}{2} \delta(f \pm f_0) = \frac{1}{2} G(f \pm f_0)$$

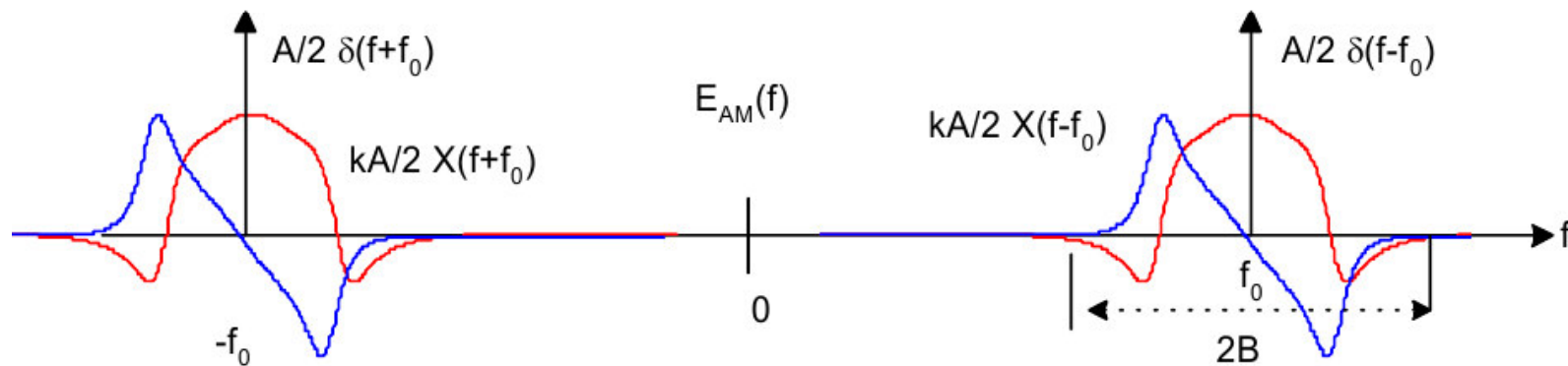


2) Modulación AM (En la frecuencia...)

$$e_{AM}(t) = A \cdot \underbrace{(1 + k \cdot x(t))}_{g(t)} \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot t)$$

$$e_{AM}(t) = g(t) \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot t)$$

$$E(f) = G(f) * \frac{1}{2} \delta(f \pm f_0) = \frac{1}{2} G(f \pm f_0)$$



Bandas...

Potencia...

Generación...

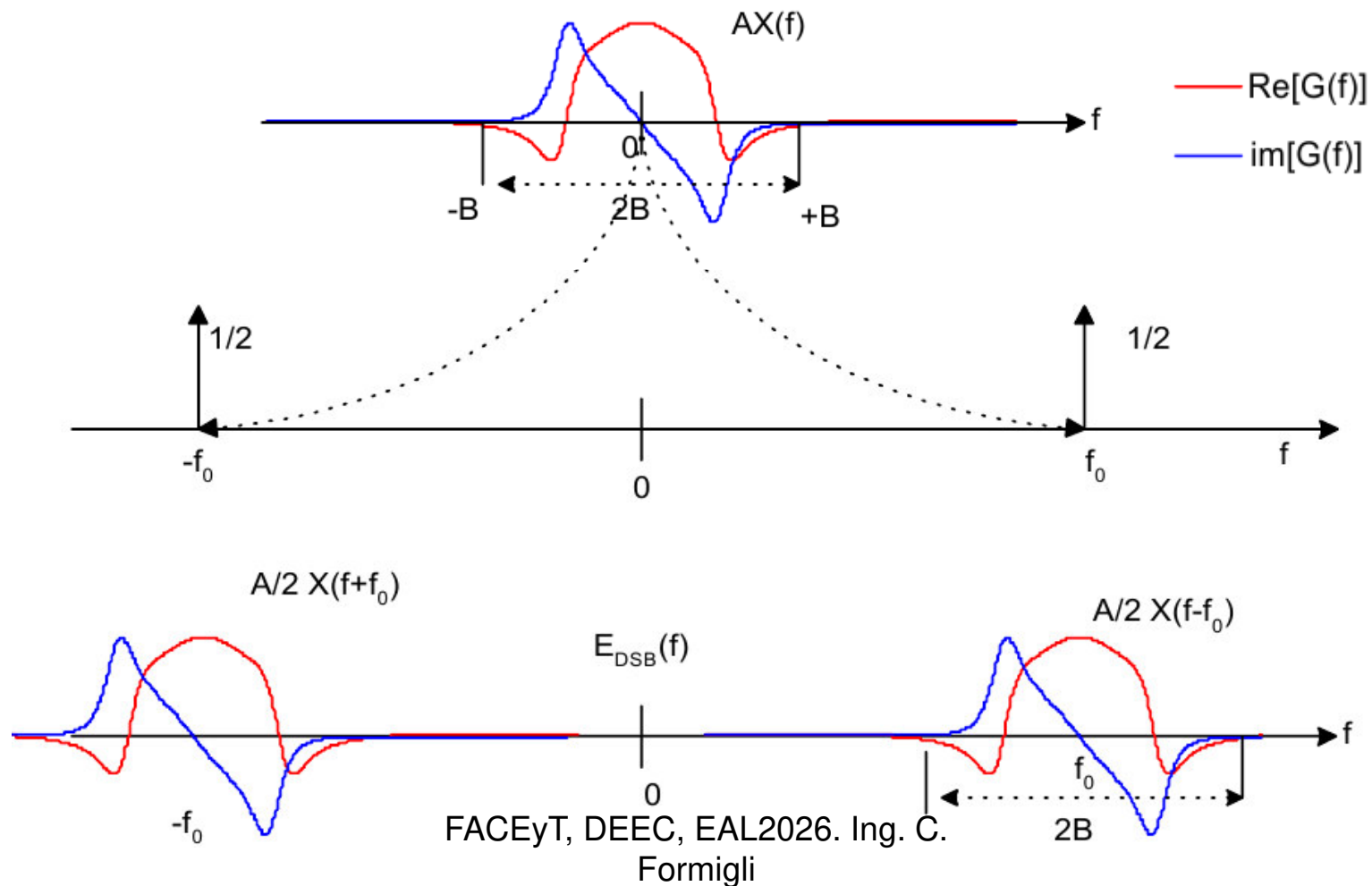
Detección...

3) Modulación DSB (Doble banda lateral)

$$e_{AM}(t) = A.(1 + k.x(t)).\cos(2\pi f_0 t)$$

$$e_{DSB}(t) = A.x(t).\cos(2\pi f_0 t)$$

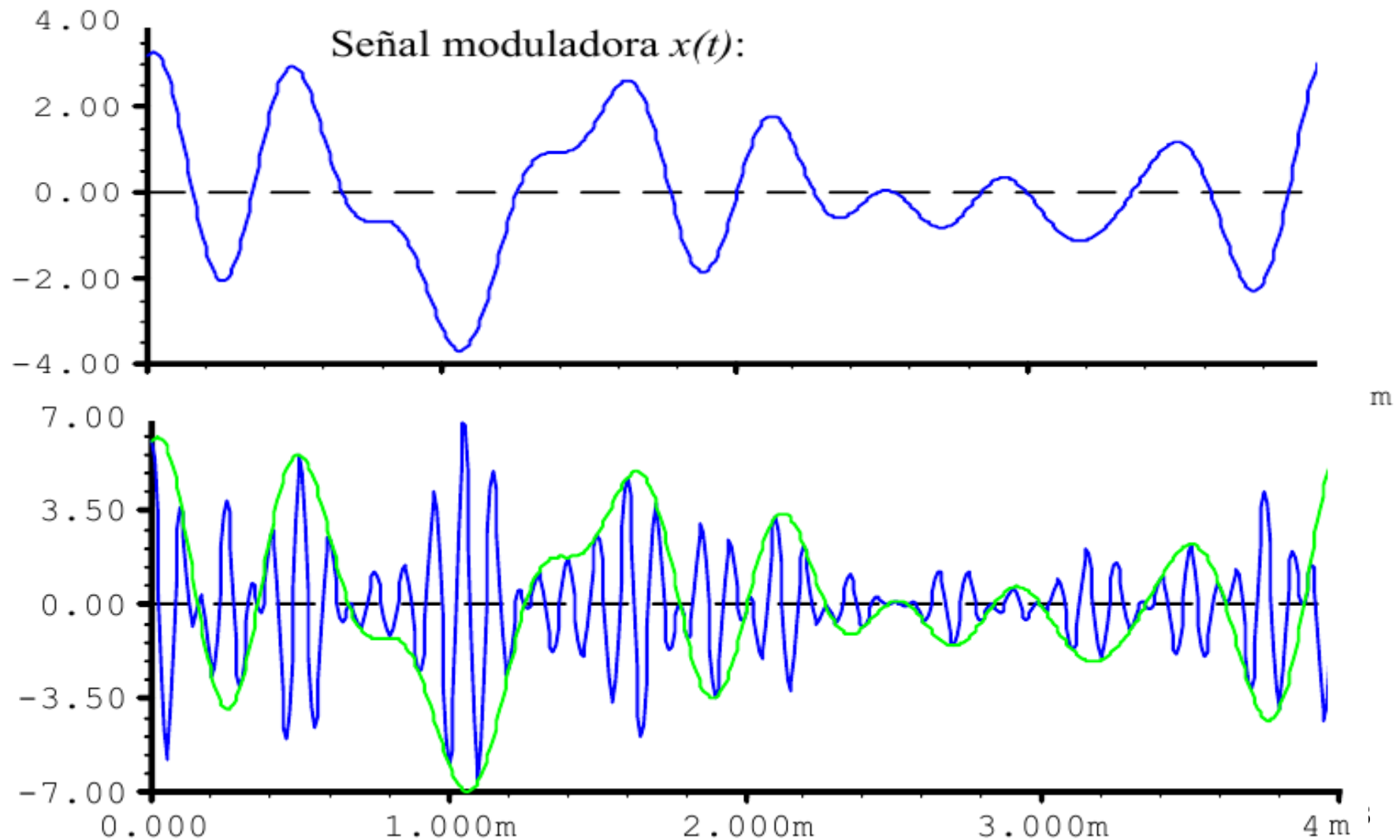
En la frecuencia...



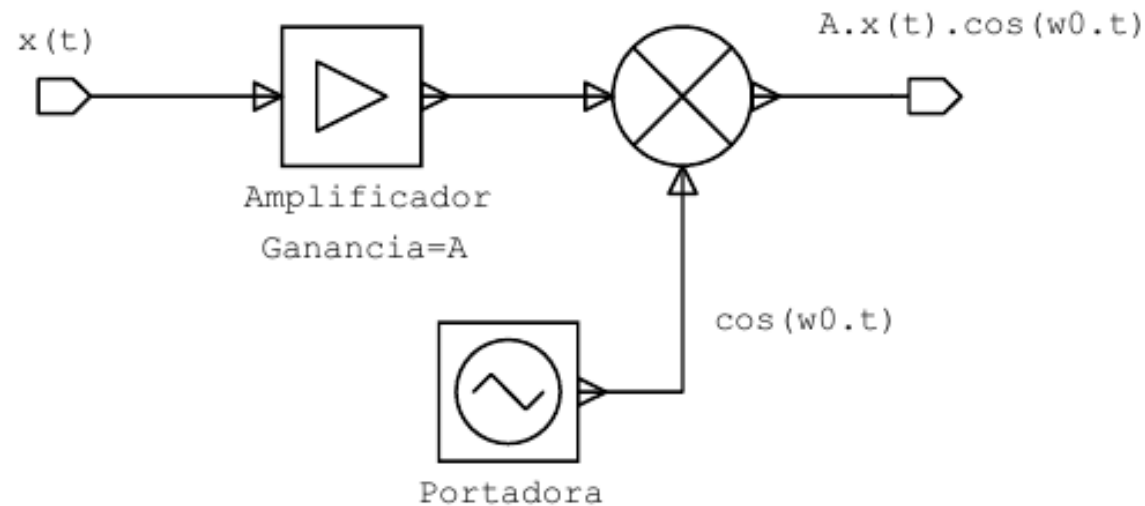
3) Modulación DSB (Doble banda lateral)

En el tiempo...

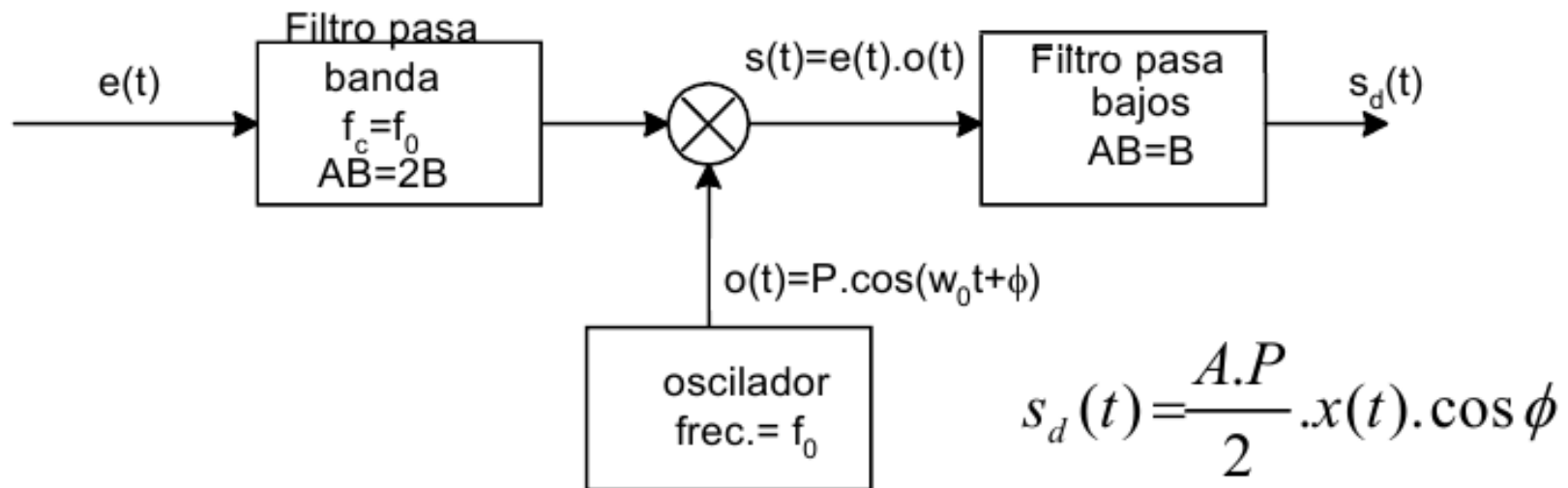
$$e_{DSB}(t) = A \cdot x(t) \cdot \cos(2\pi f_0 t)$$



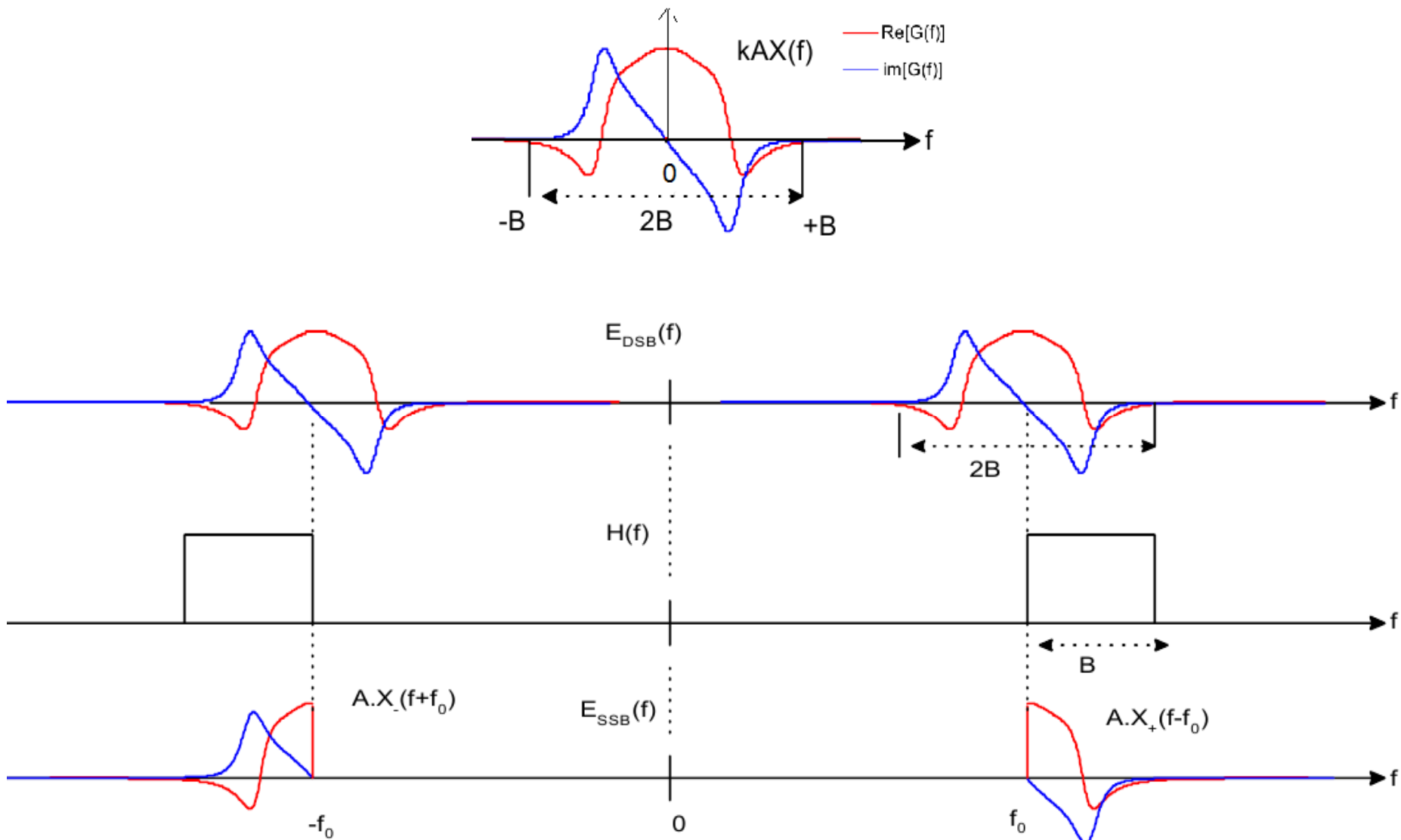
3) Modulación DSB (Doble banda lateral)



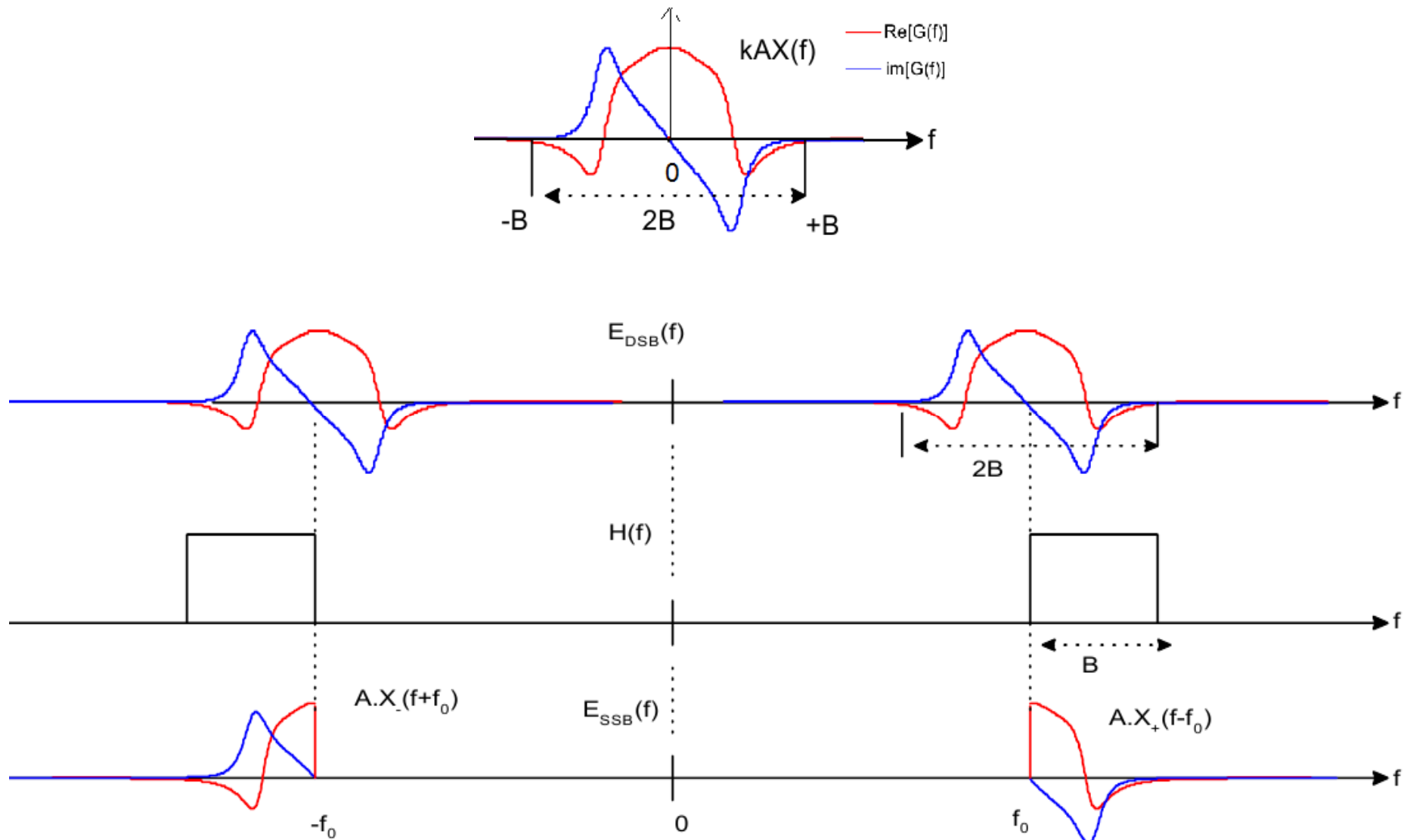
Demodulación: detector de producto



4) Banda lateral única (SSB)

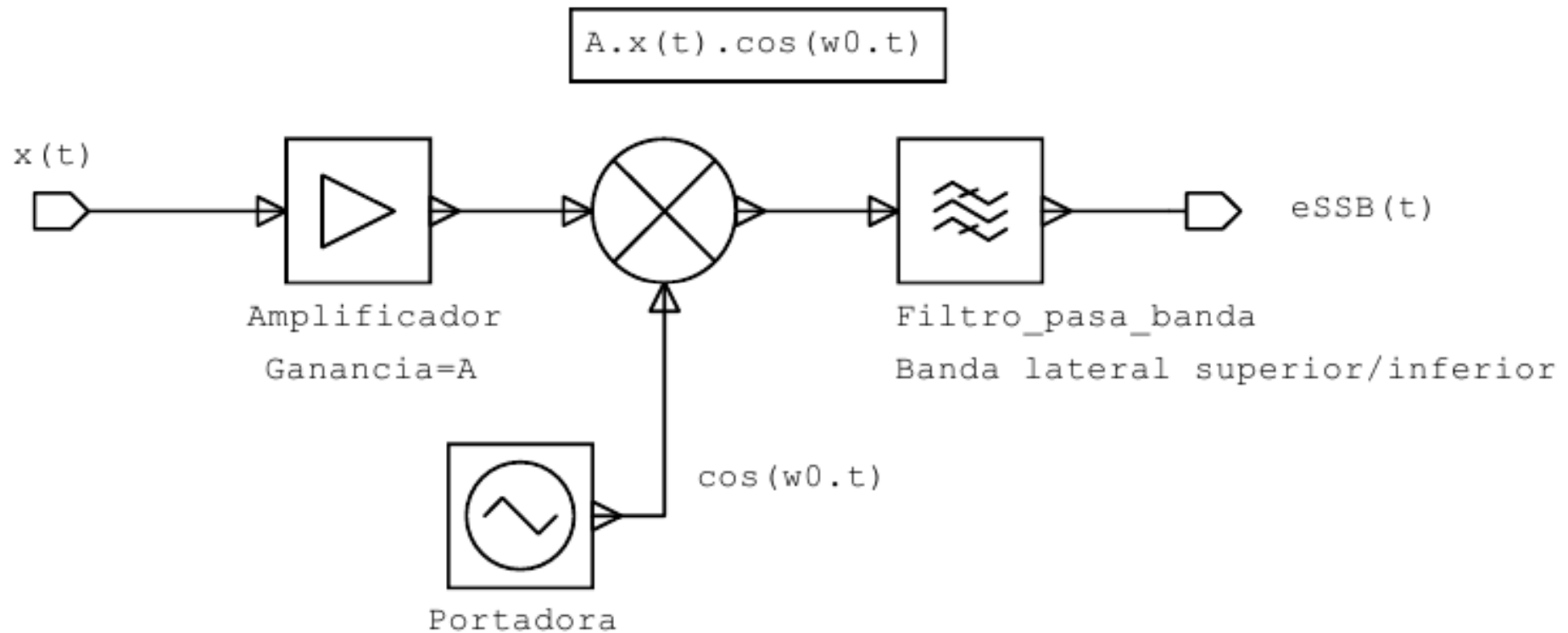


4) Banda lateral única (SSB)



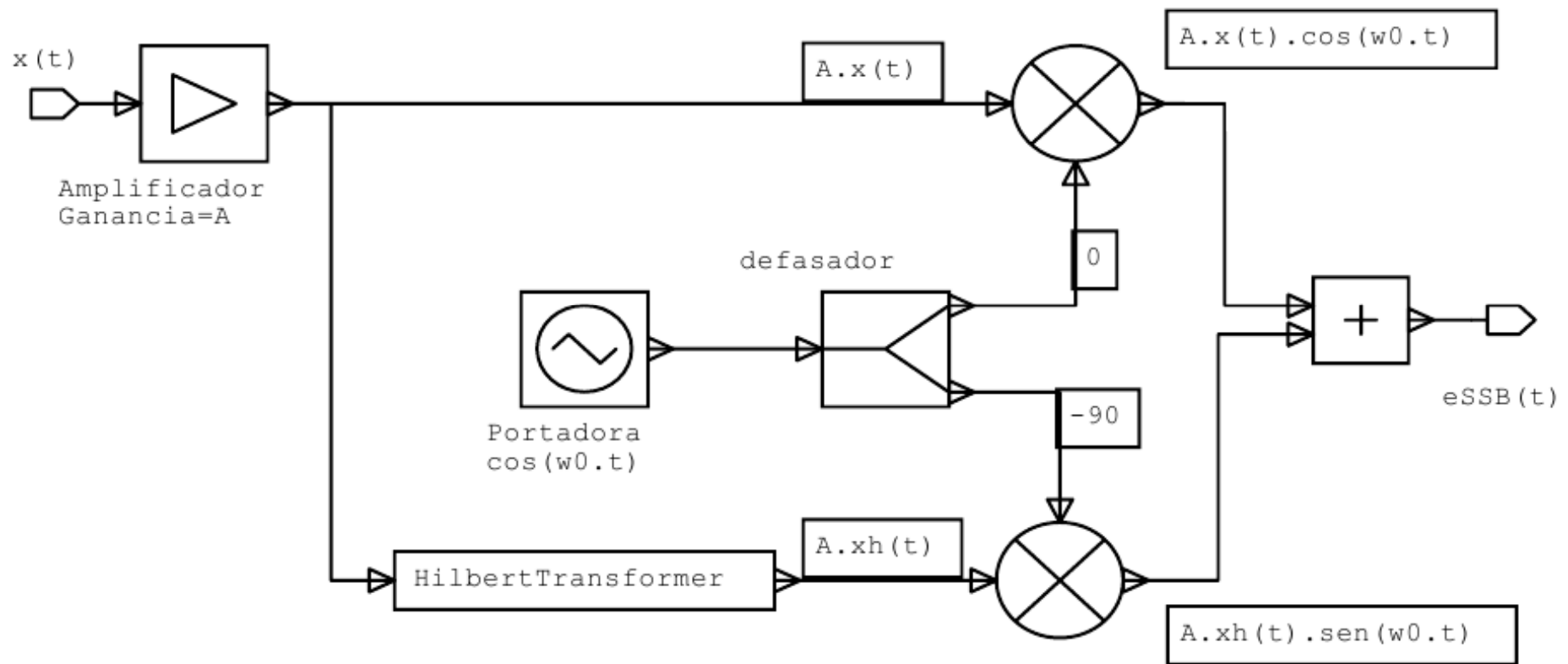
4) Banda lateral única (SSB)

a) Método de filtro



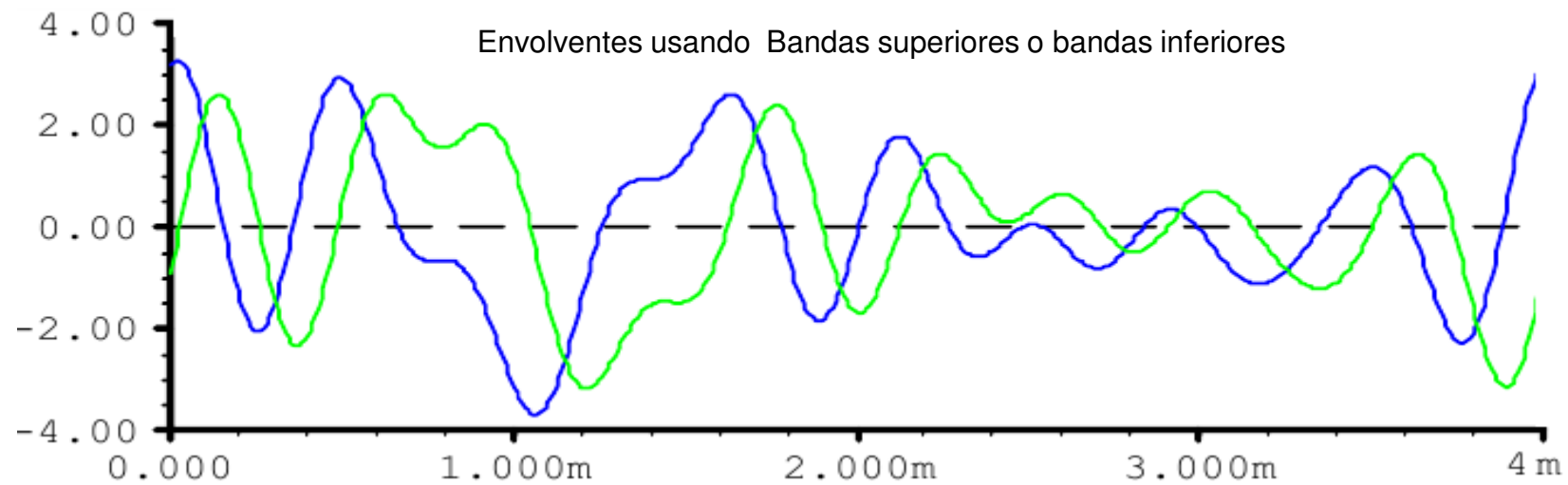
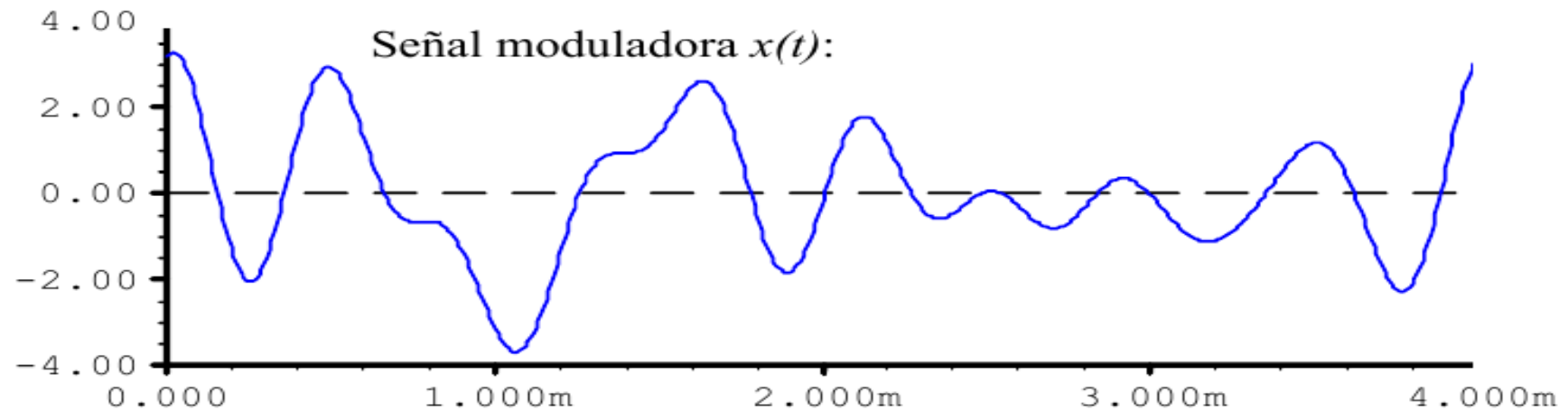
4) Banda lateral única (SSB)

b) Método de fase



4) Banda lateral única (SSB)

(en el tiempo)



5) Ventajas y desventajas relativas

Anchos de banda

$$AM = DSB = 2 \cdot f_m$$

$$SSB = f_m$$

Potencia

$$AM: P_c \text{ al menos } 2 \cdot P_{\text{mensaje}}$$

$$DSB: \text{sólo } P_{\text{mensaje}}$$

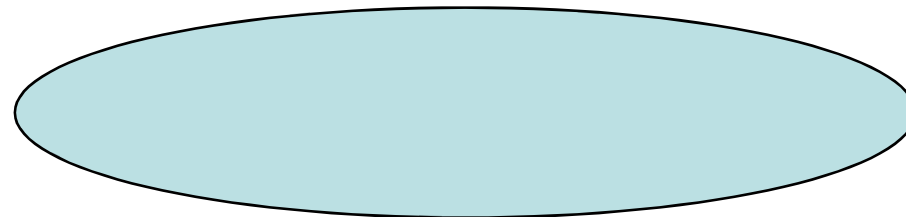
$$SSB: 0,5 \cdot P_{DSB}$$

Complejidad y costo

AM

DSB

SSB

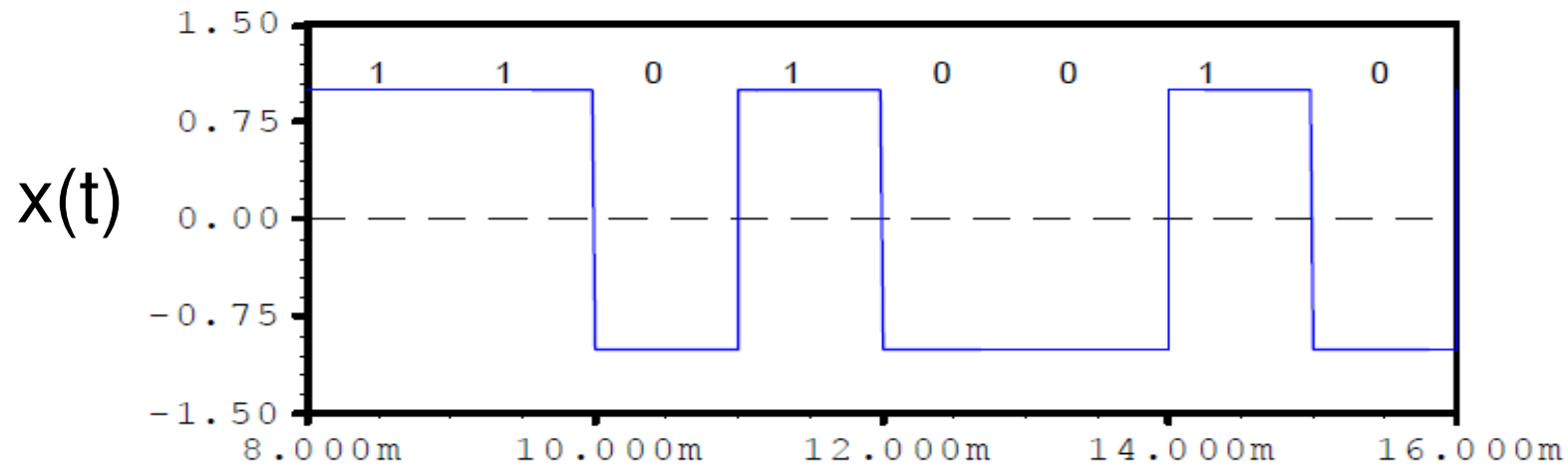


Tema 5 Traslación de frecuencia y modulación. Sistemas de modulación lineal: AM, DSB y SSB. Análisis en tiempo y frecuencia, ventajas y desventajas relativas. Demodulación. Detector coherente. Errores e imperfecciones. **Modulación lineal de señales digitales. ASK, PSK, N-PSK, N-QAM.** Diagramas en bloques. 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.

Bibliografía:

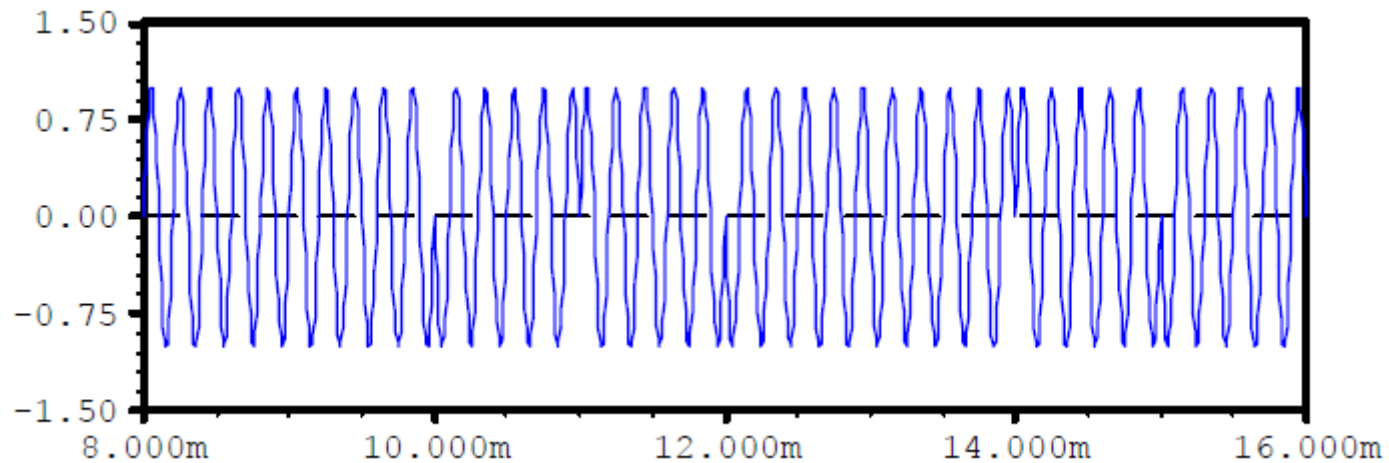
1. Apunte “Translación de Frecuencia” del Ing. Bilbao
2. Cap. 5.9 y 5.10 “Sistemas de Comunicación Digitales y Analógicos” Couch-Cuevas-Romero

Modulación lineal de señales digitales



$$e(t) = A.x(t).cos(2.\pi.f_0.t)$$

($f_0=5\text{kHz}$)



Modulación lineal de señales digitales

$$e(t) = A \cdot x(t) \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_0 \cdot t)$$

$$e_1(t) = + A \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_0 \cdot t) = A \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_0 \cdot t - 0)$$

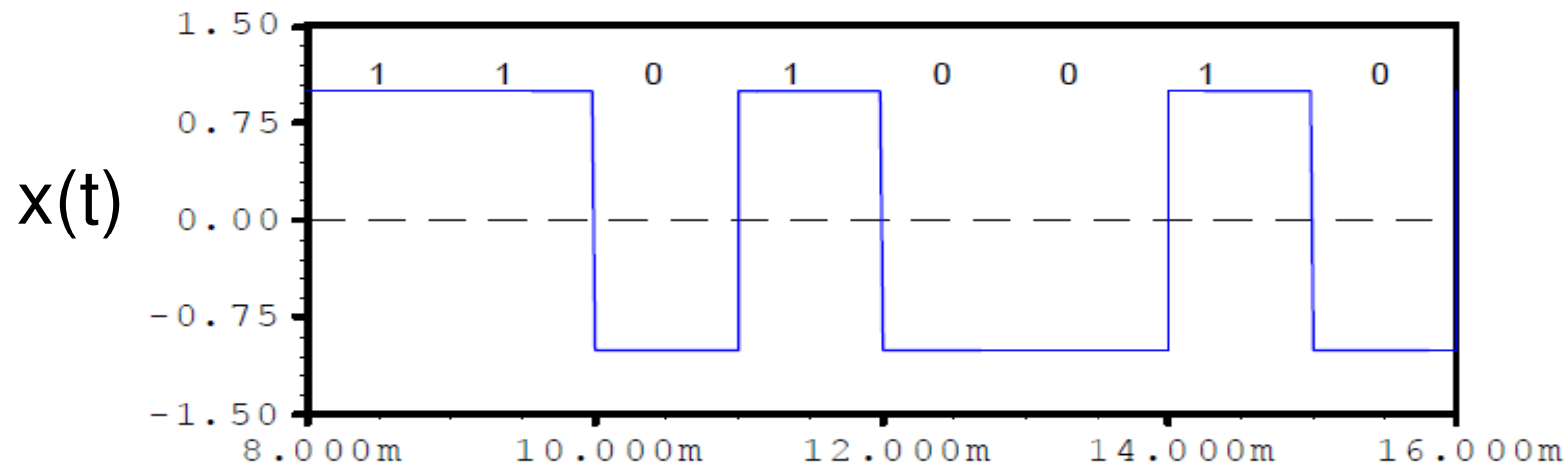
$$e_0(t) = - A \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_0 \cdot t) = A \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_0 \cdot t - \pi)$$

$$e(t) = A \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_0 \cdot t - \phi(t))$$

“modulación 2-PSK o BPSK”

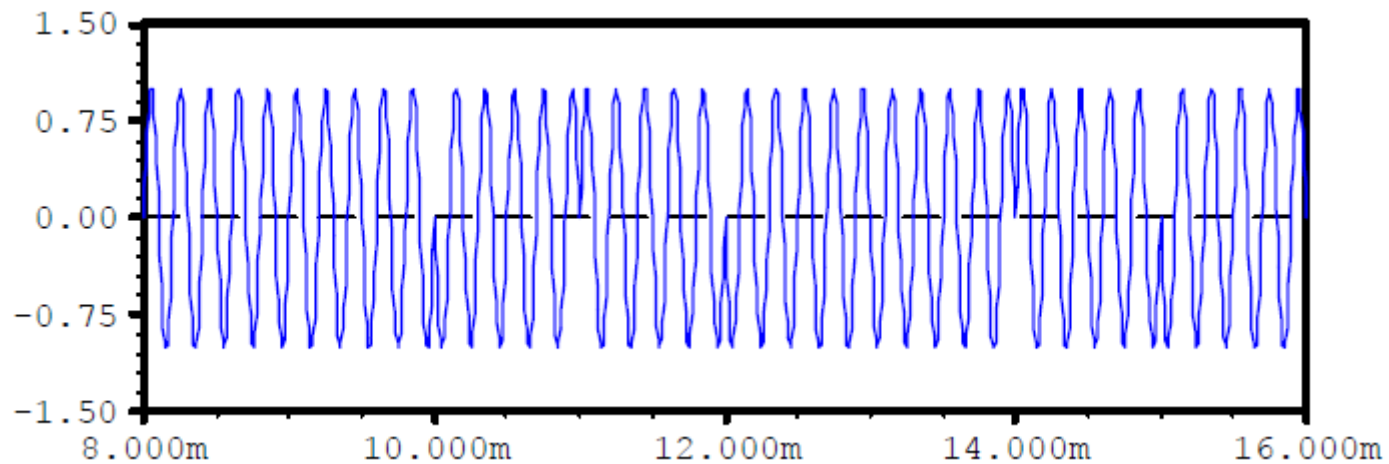
(Phase Shift Keying)

Modulación lineal de señales digitales

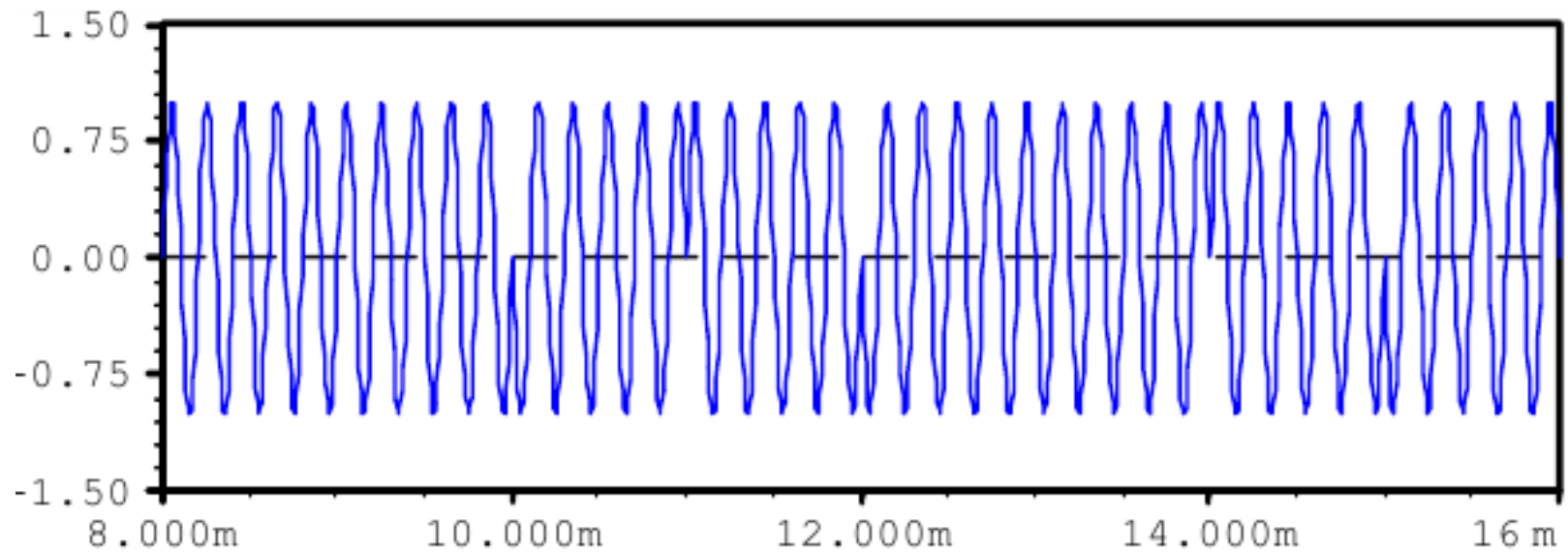


$$e(t) = A.x(t).cos(2.\pi.f_0.t)$$

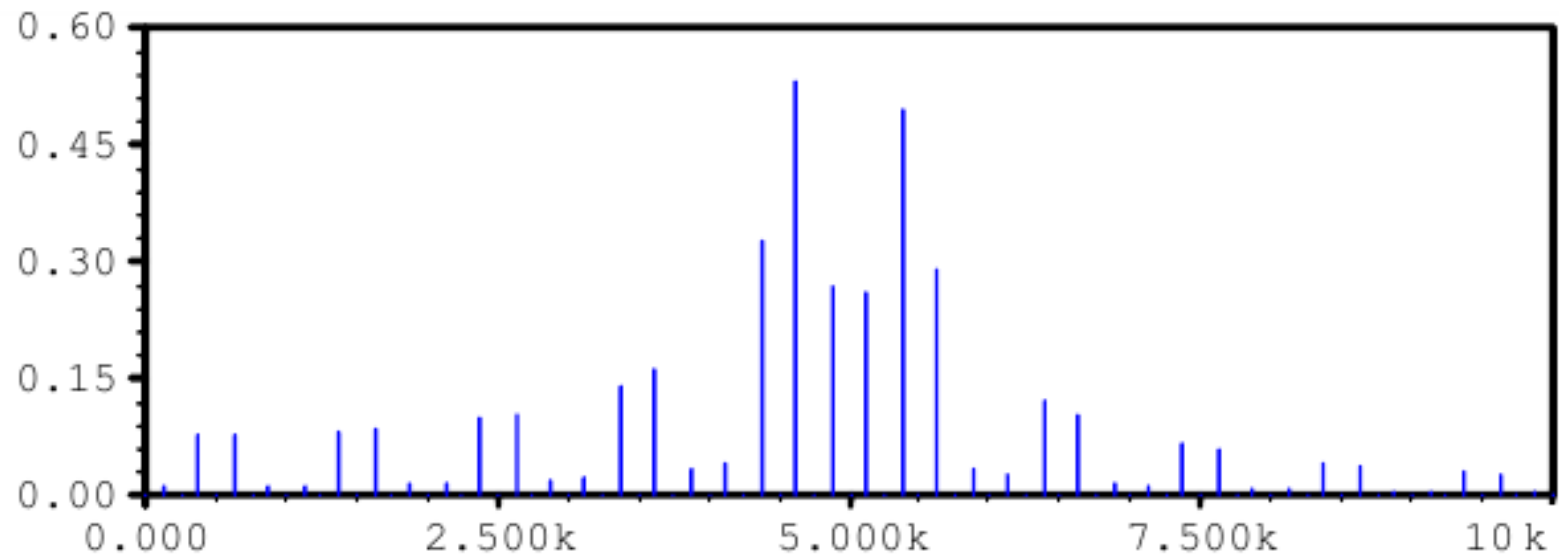
($f_0=5\text{kHz}$)



Modulación lineal de señales digitales

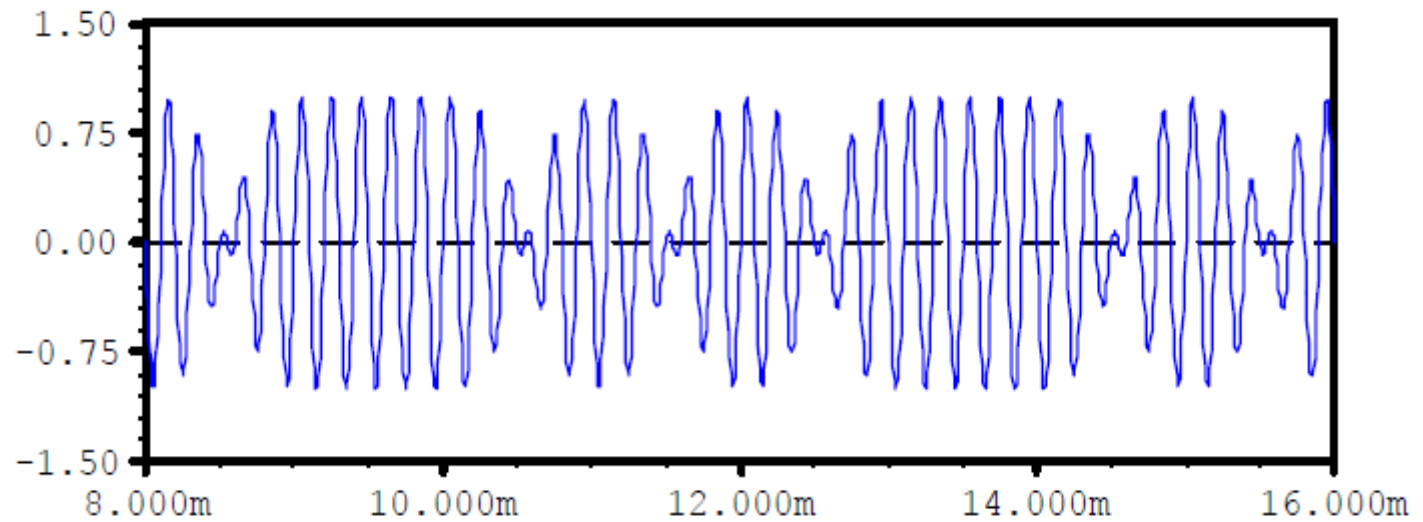
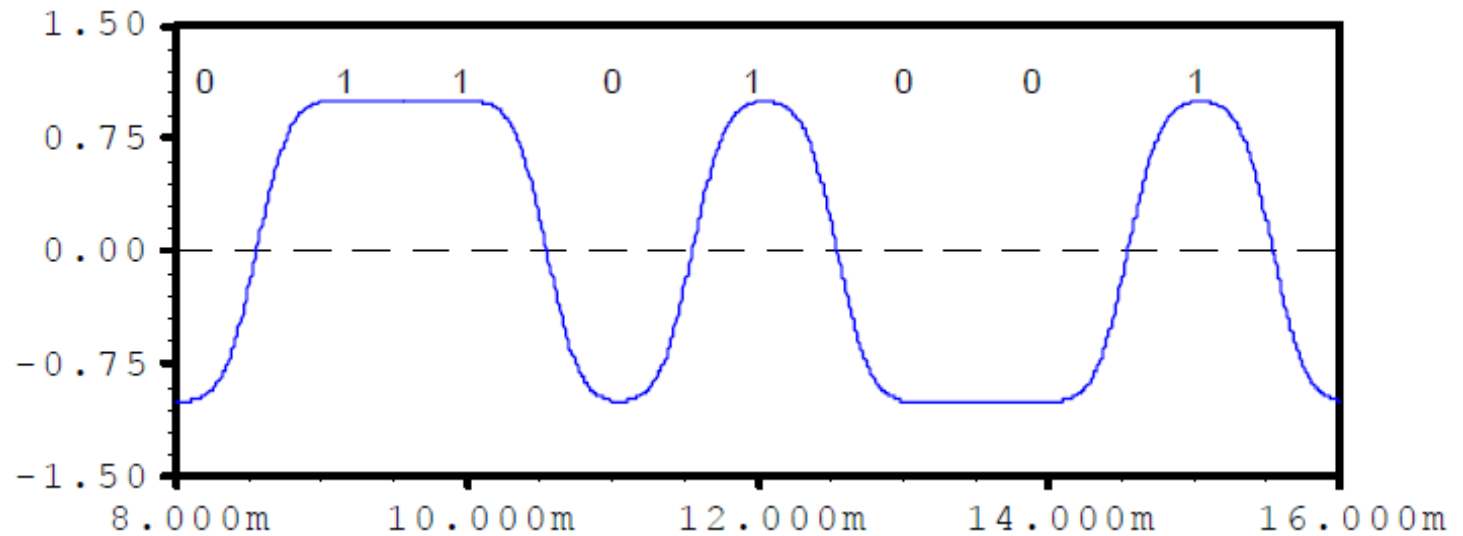


El espectro de la señal modulada es:



Modulación lineal de señales digitales **2-PSK**

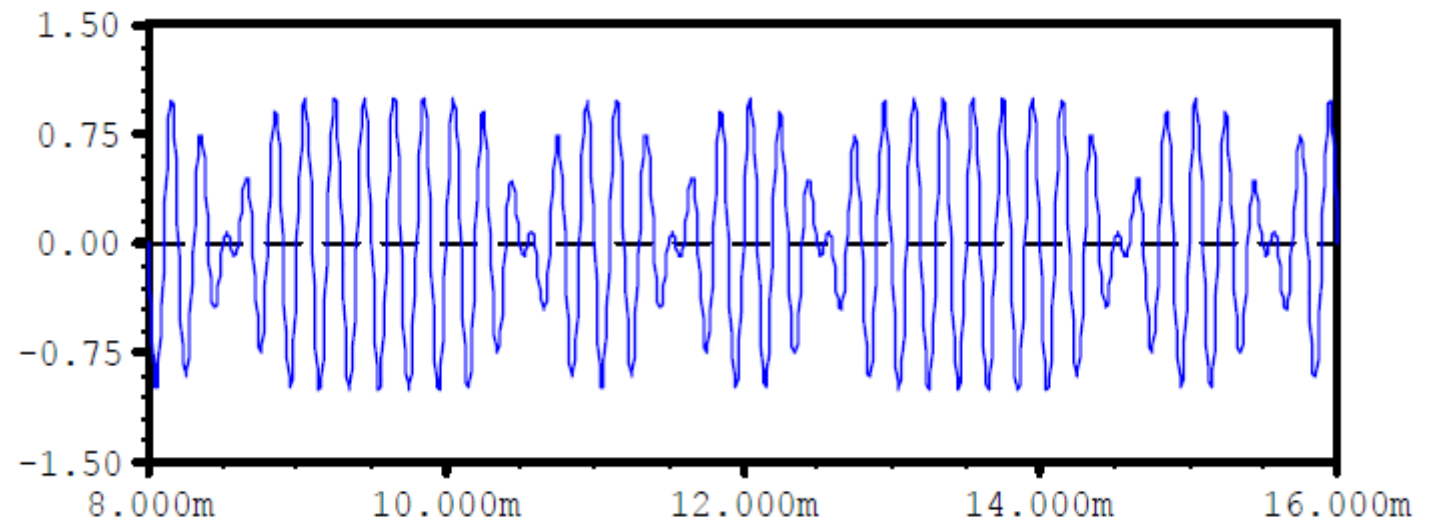
$x(t)$, filtrada
a $0,75R_b$



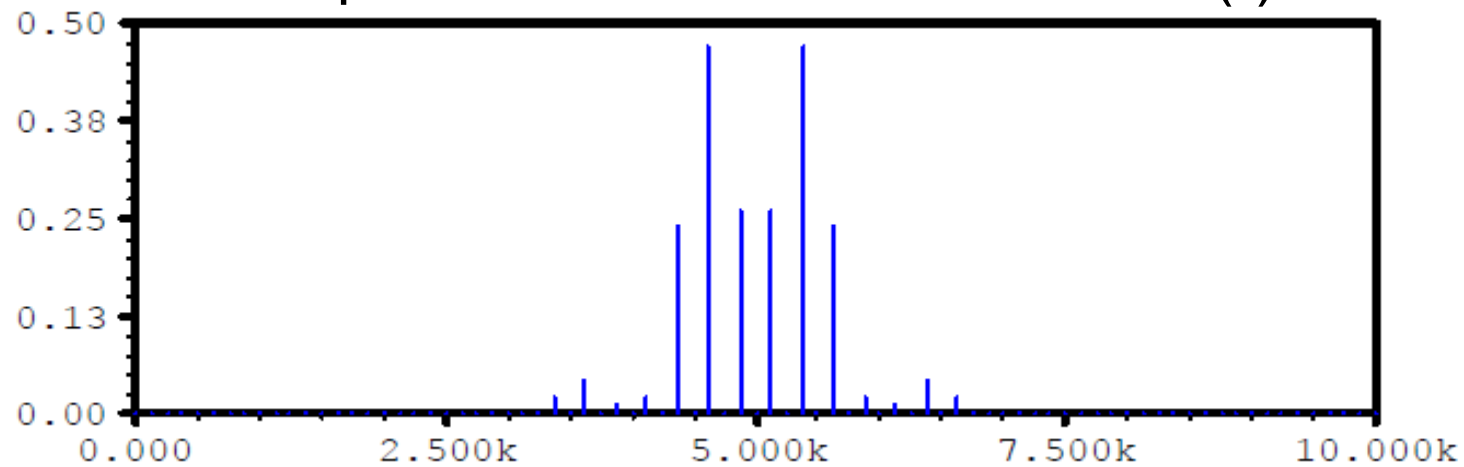
33

Modulación lineal de señales digitales **2-PSK**

$e(t)$, con
 $x(t)$, filtrada
a $0,75R_b$

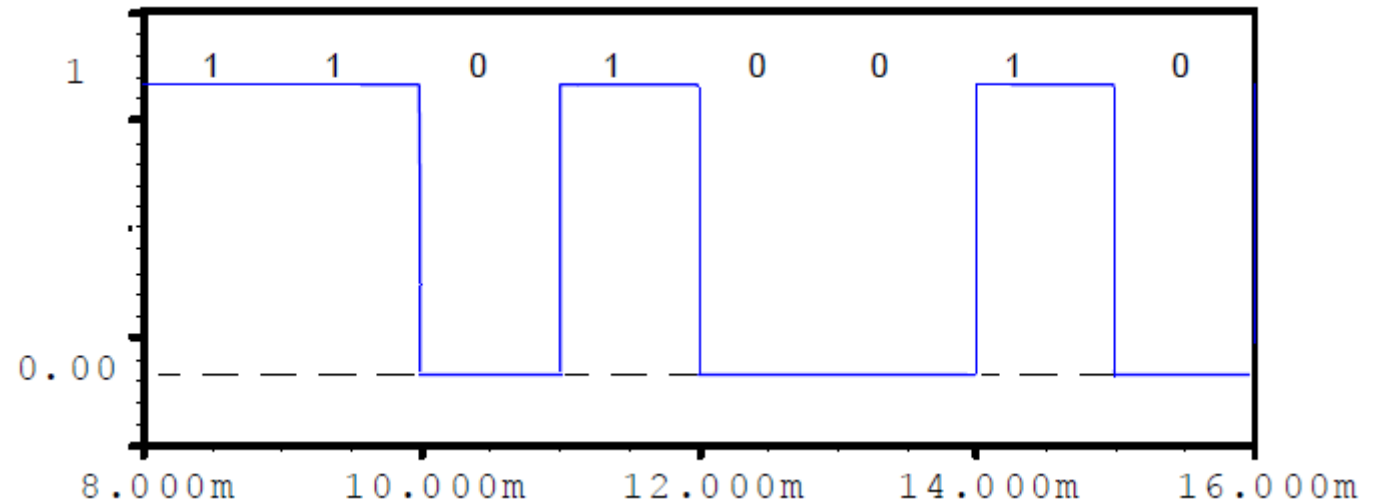


Espectro de la señal modulada $E(f)$

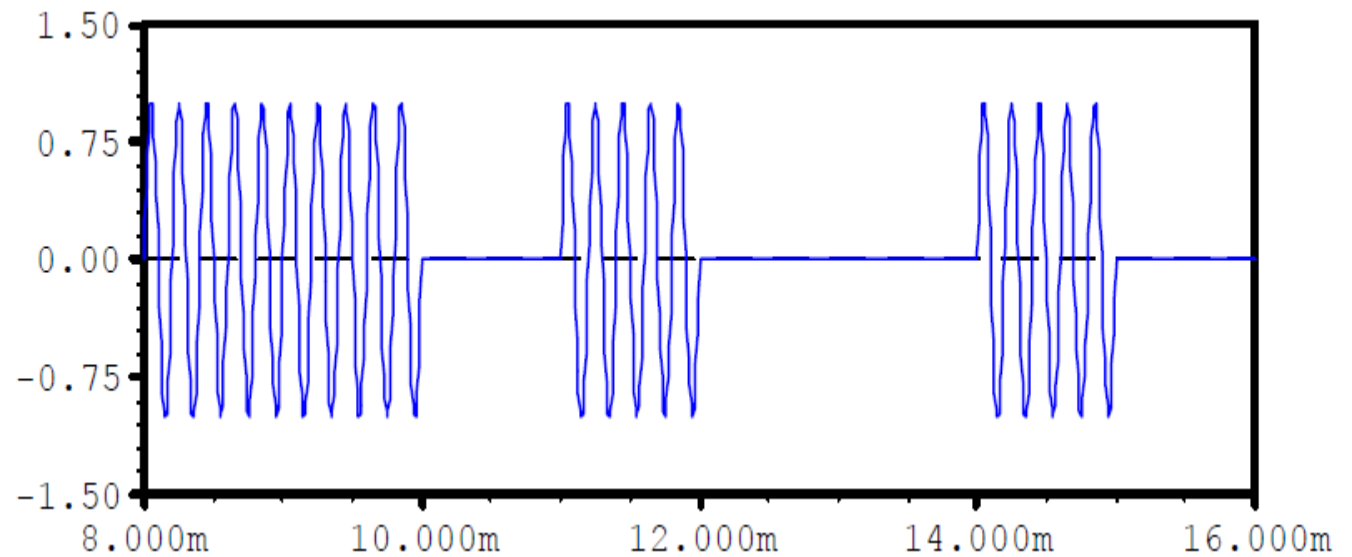


ASK (Amplitude shift keying), también llamada OOK

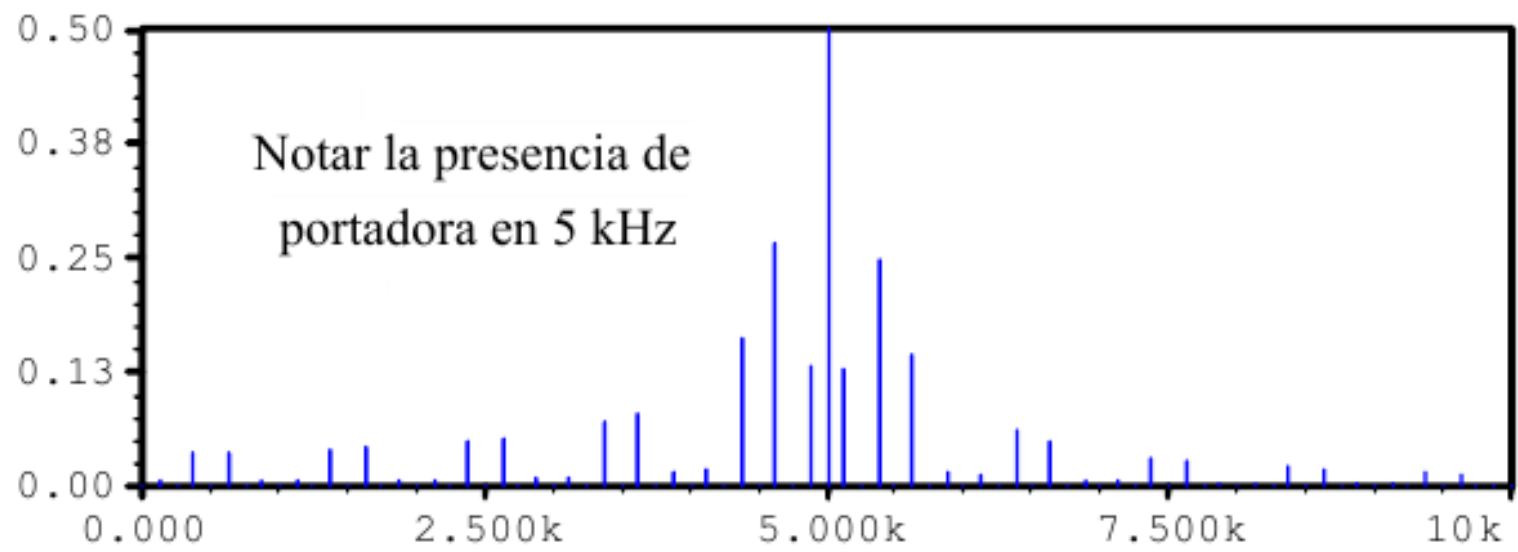
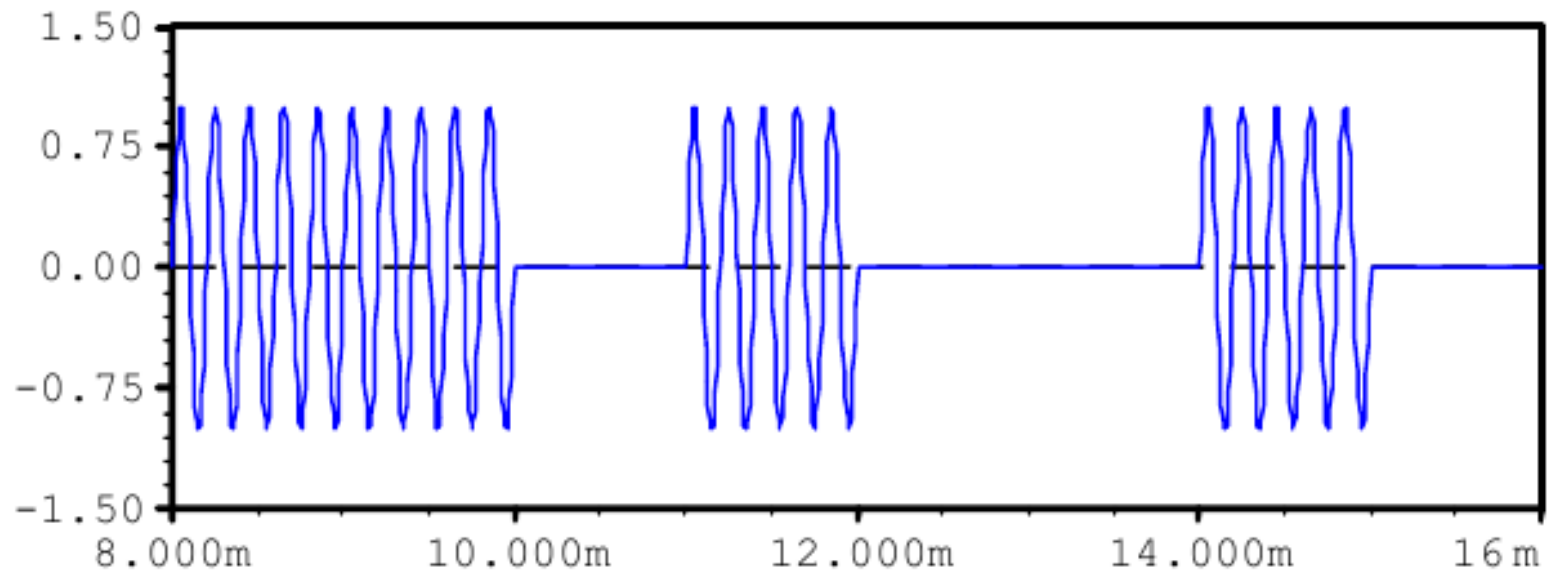
$$y(t) = \frac{1}{2} \cdot (1 + x(t))$$



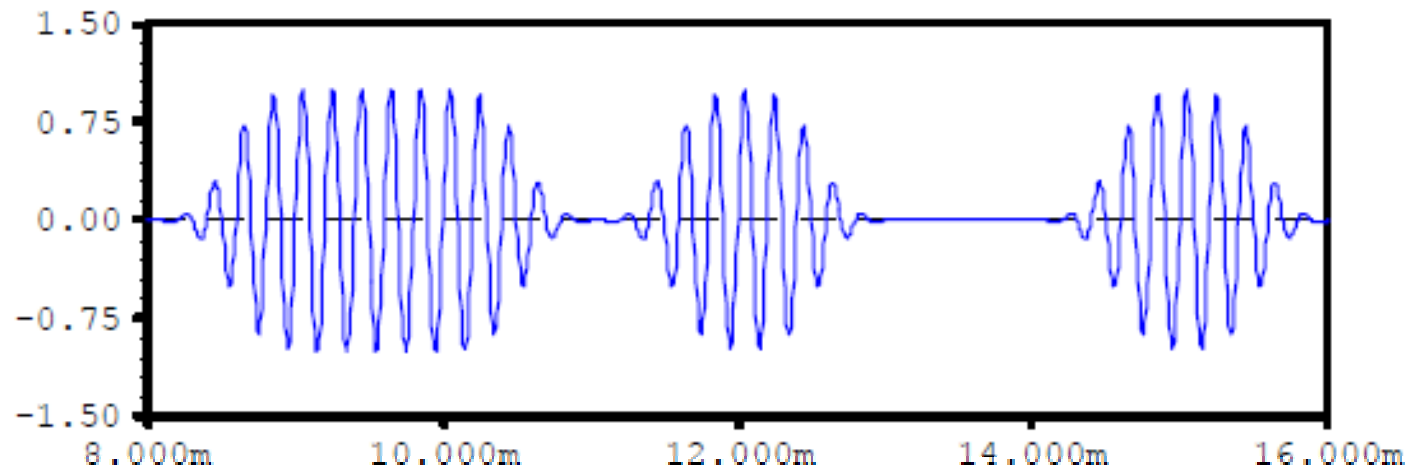
$$e(t) = A \cdot y(t) \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_0 \cdot t)$$



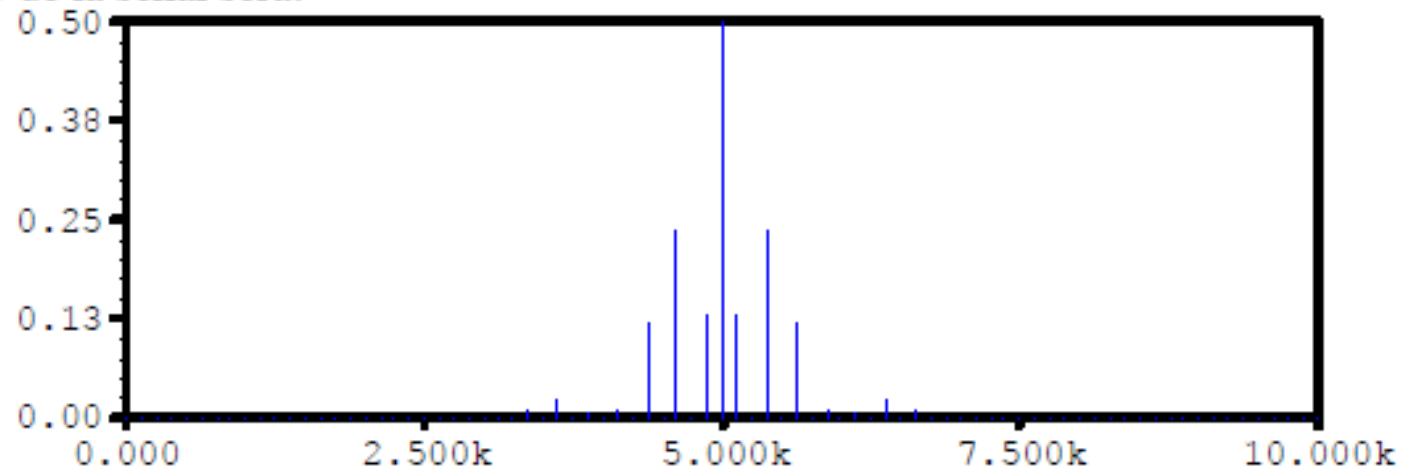
ASK (Amplitude shift keying), también llamada OOK



ASK (Amplitude shift keying), también llamada OOK

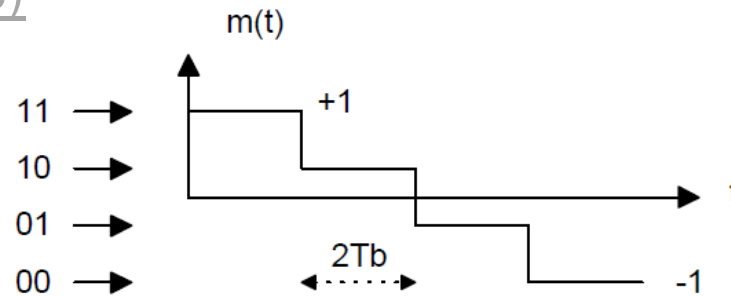


El espectro de la señal será:

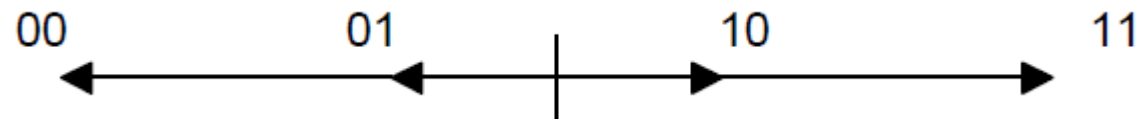
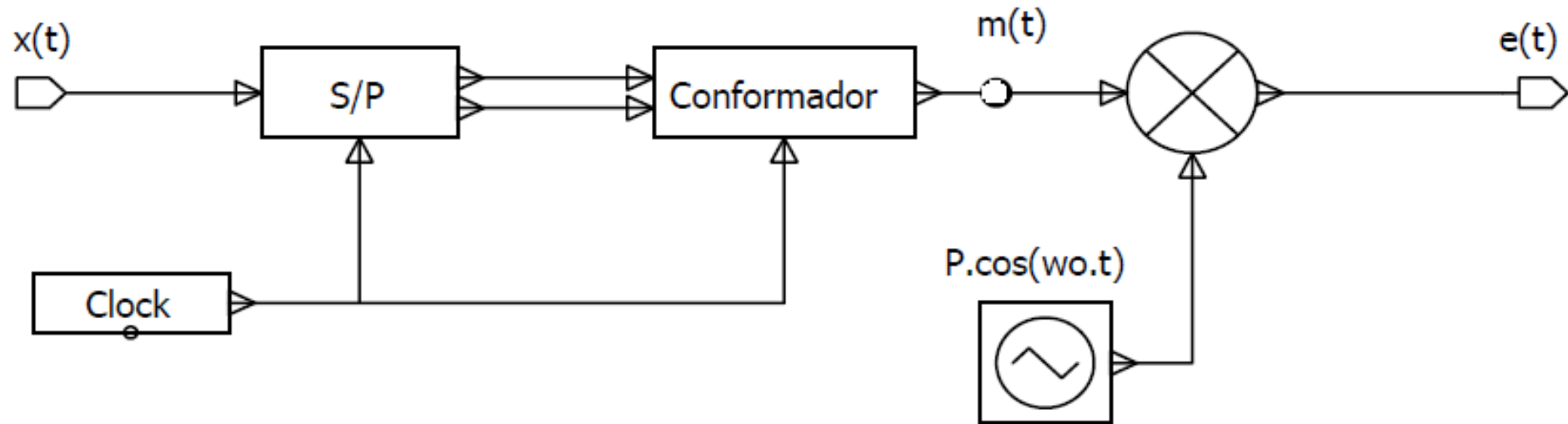


7

Modulación QAM (idea base)

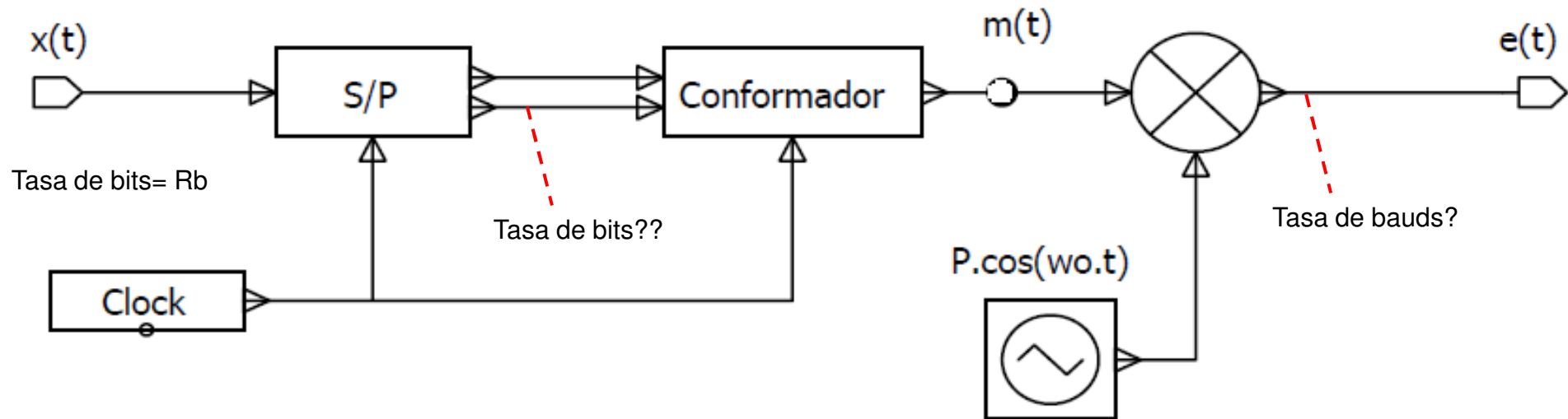


salida del conformador $m(t)$



Amplitud y Fase de $e(t)$

Modulación QAM (idea base)

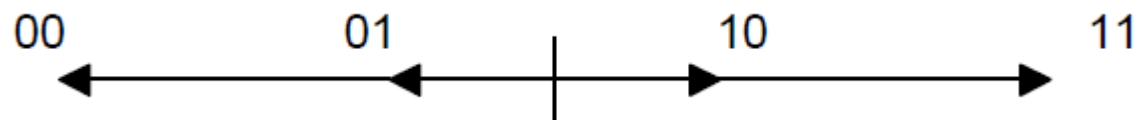


$$11 \rightarrow e(t) = P \cdot \cos(2\pi \cdot f_0 \cdot t)$$

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

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

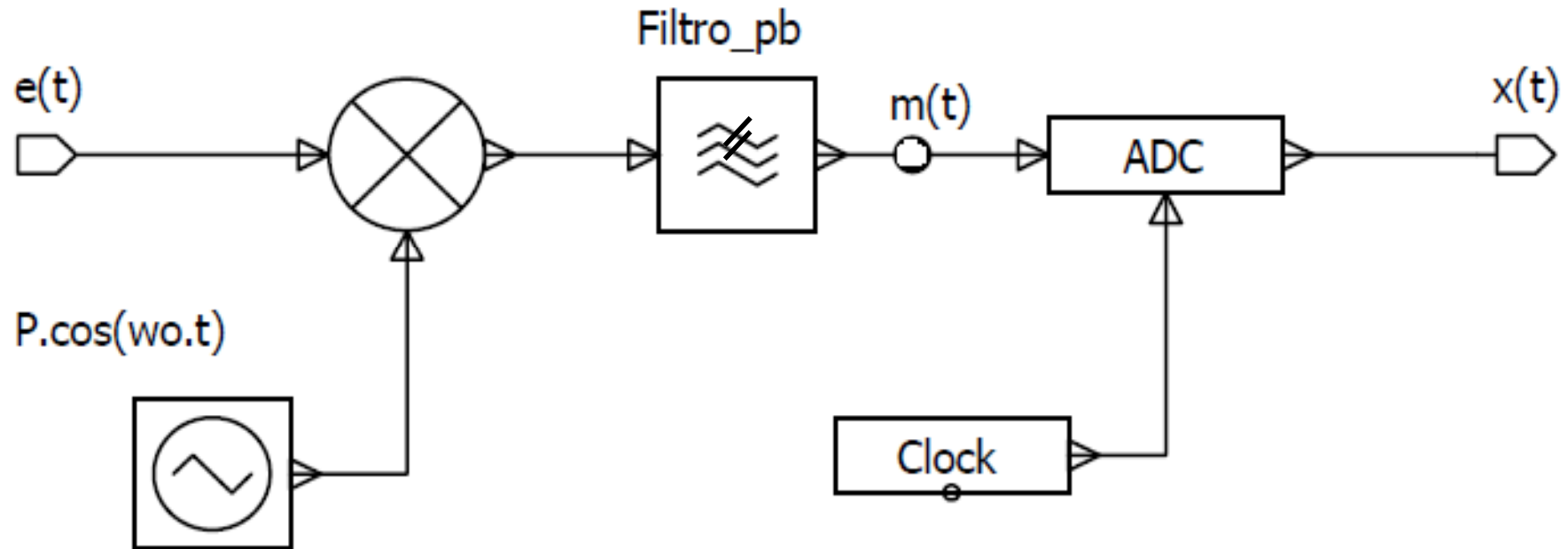
$$00 \rightarrow e(t) = P \cdot \cos(2\pi \cdot f_0 \cdot t - \pi)$$



Amplitud y Fase de $e(t)$

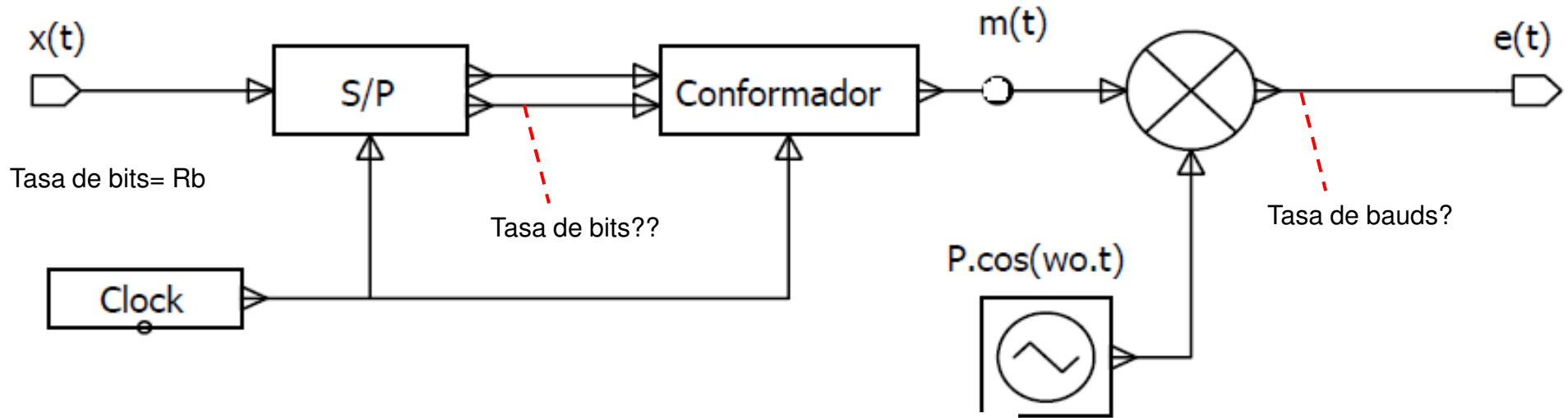
Modulación QAM (idea base)

Detección



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

Modulación QAM (idea base)

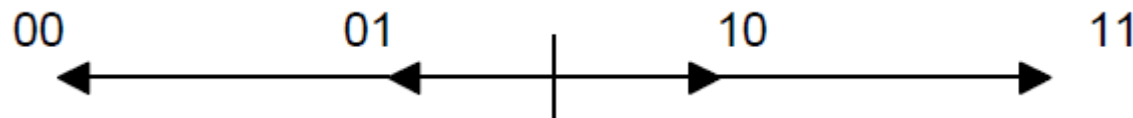


$$11 \rightarrow e(t) = P \cdot \cos(2\pi \cdot f_0 \cdot t)$$

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

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

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



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

Amplitud y Fase de $e(t)$

Modulación QAM

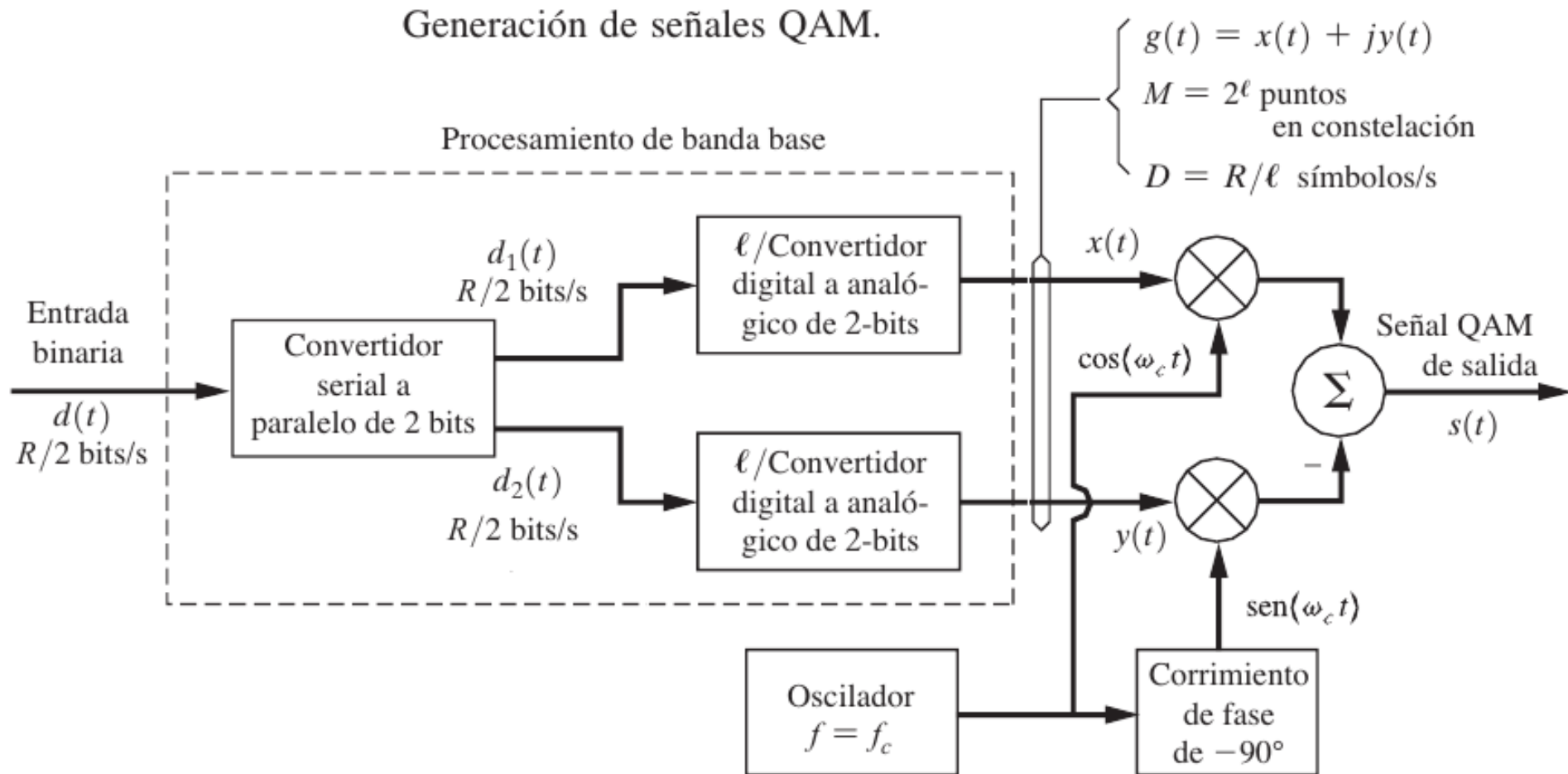
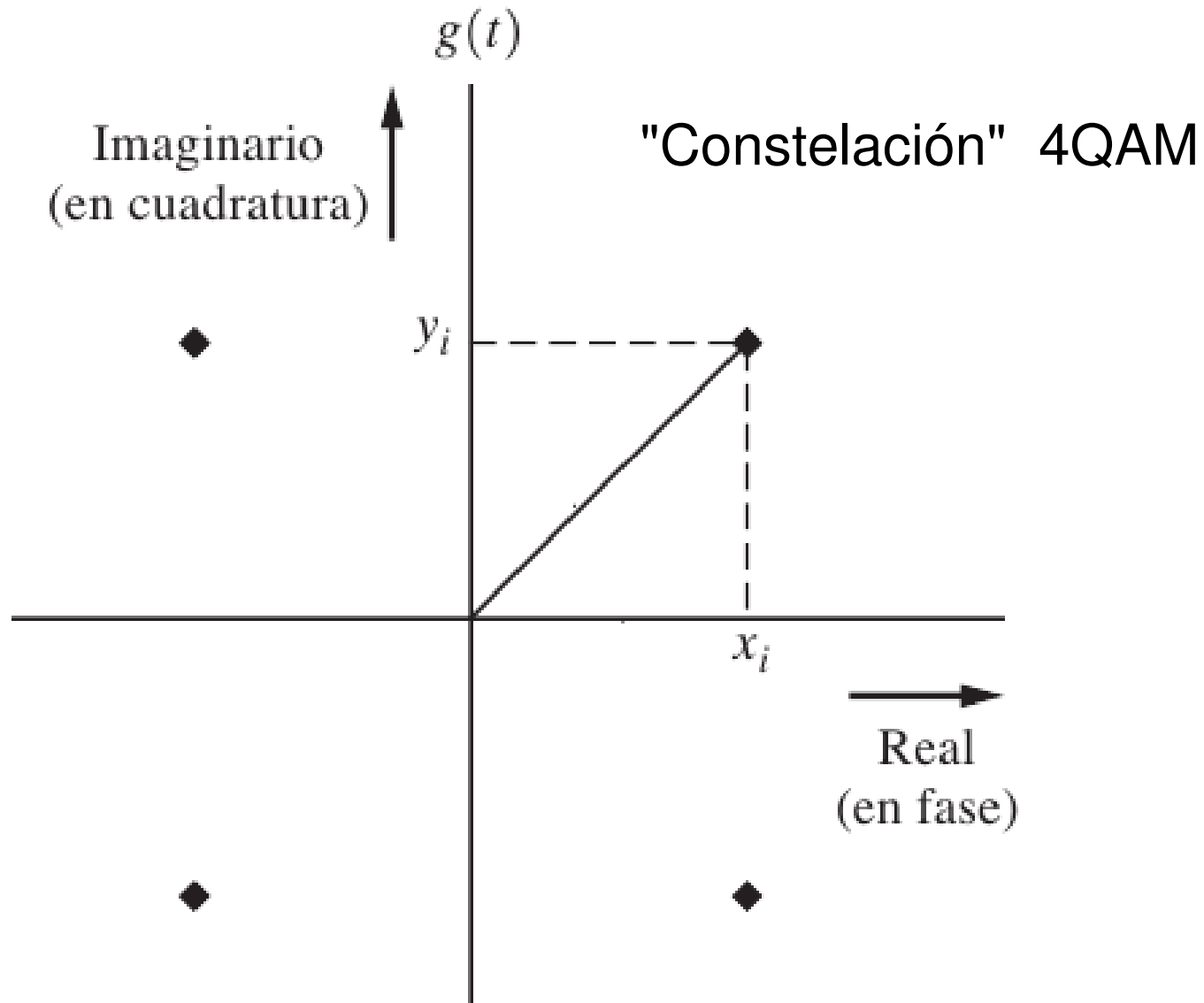


Figura 5–31 (b) (Couch-Cuevas-Romero)

Modulador para una constelación de señal rectangular

Modulación QAM



Tarea:

Averiguar dónde se emplean las modulaciones

- * BLU,
- * BPSK
- * QAM

Modulación QAM

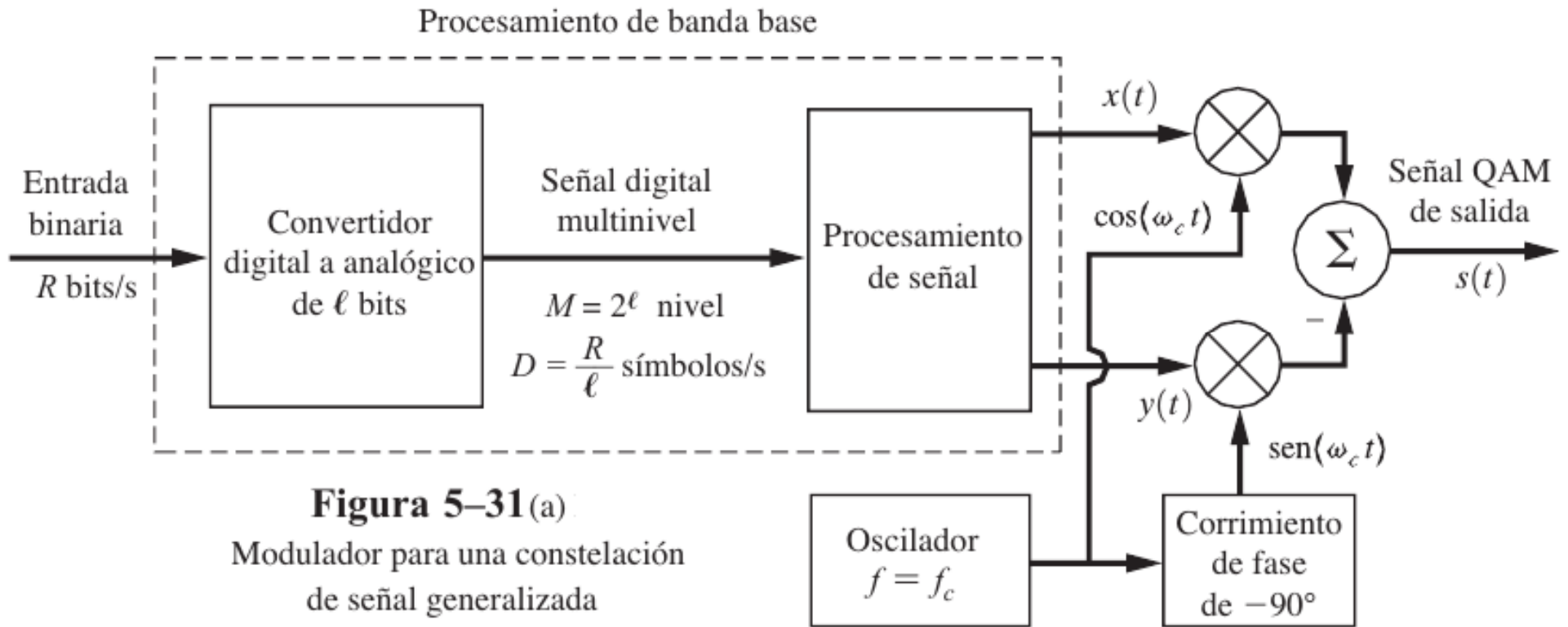
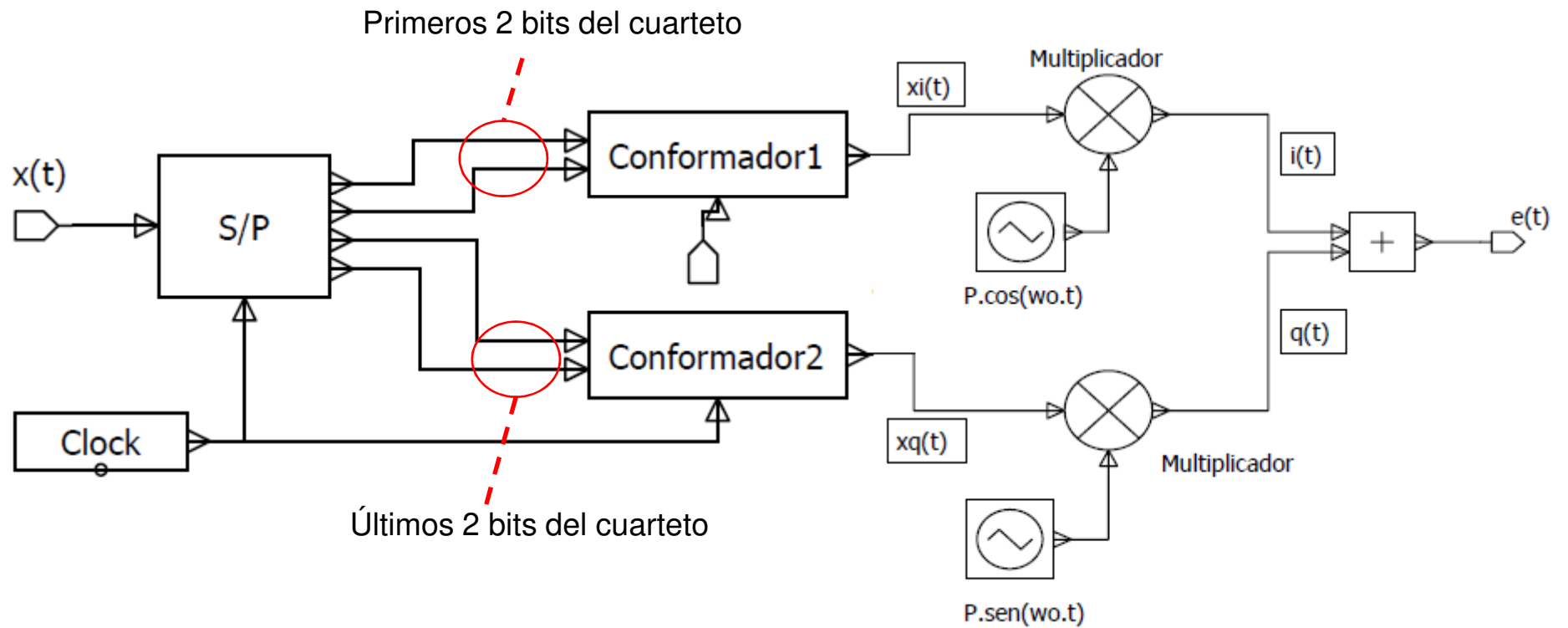
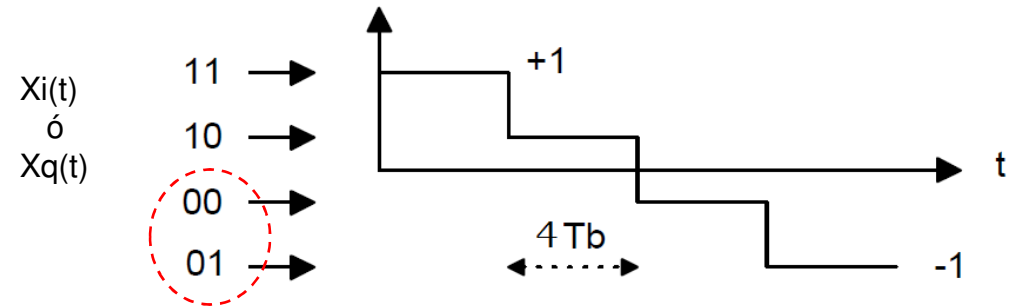


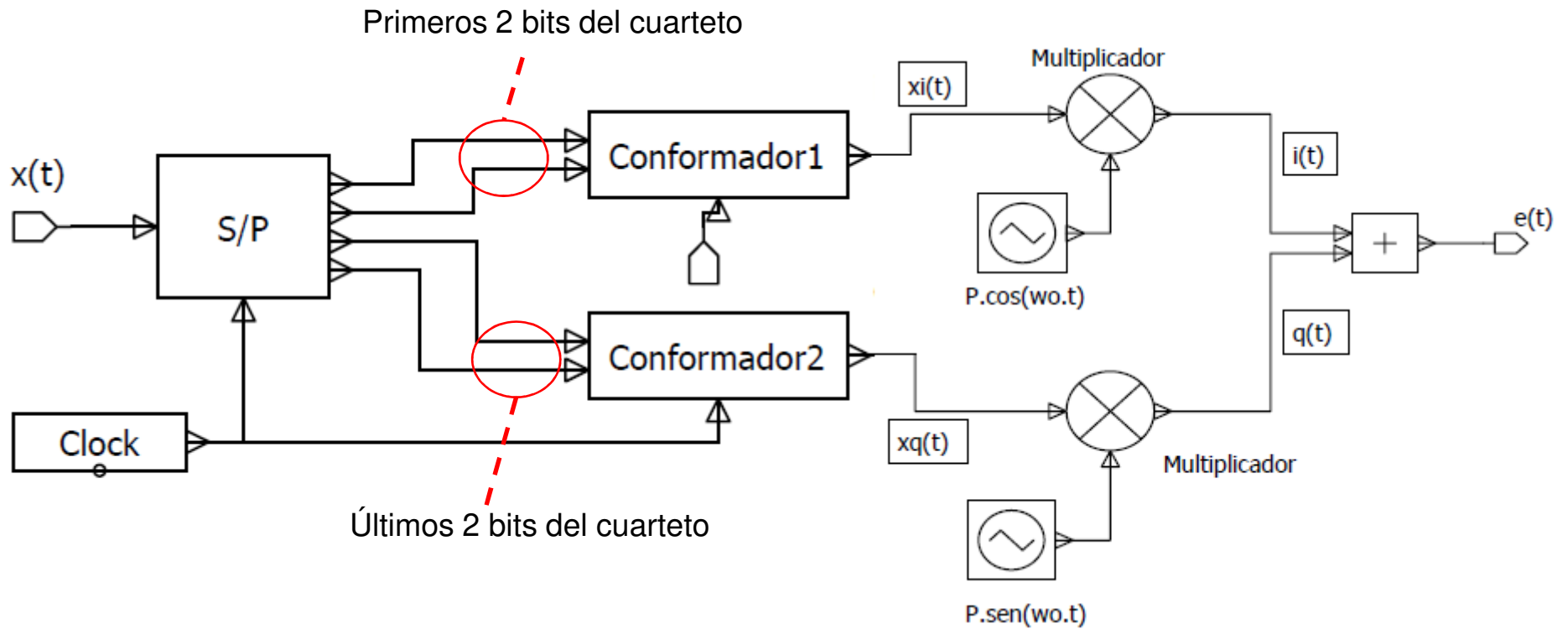
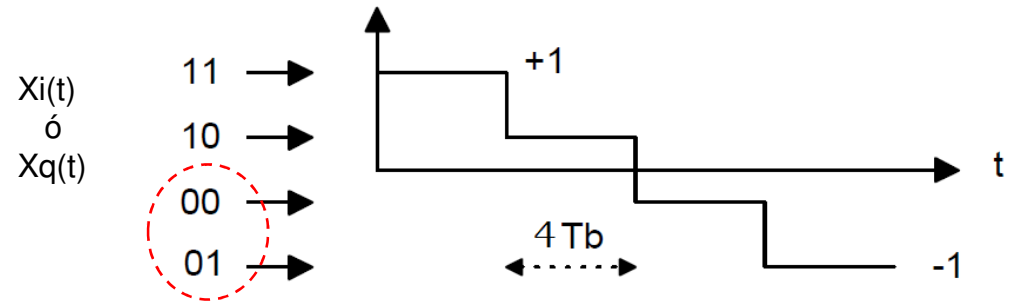
Figura 5–31(a)
Modulador para una constelación de señal generalizada

(Couch-Cuevas-Romero)

Modulación 16-QAM



Modulación 16-QAM

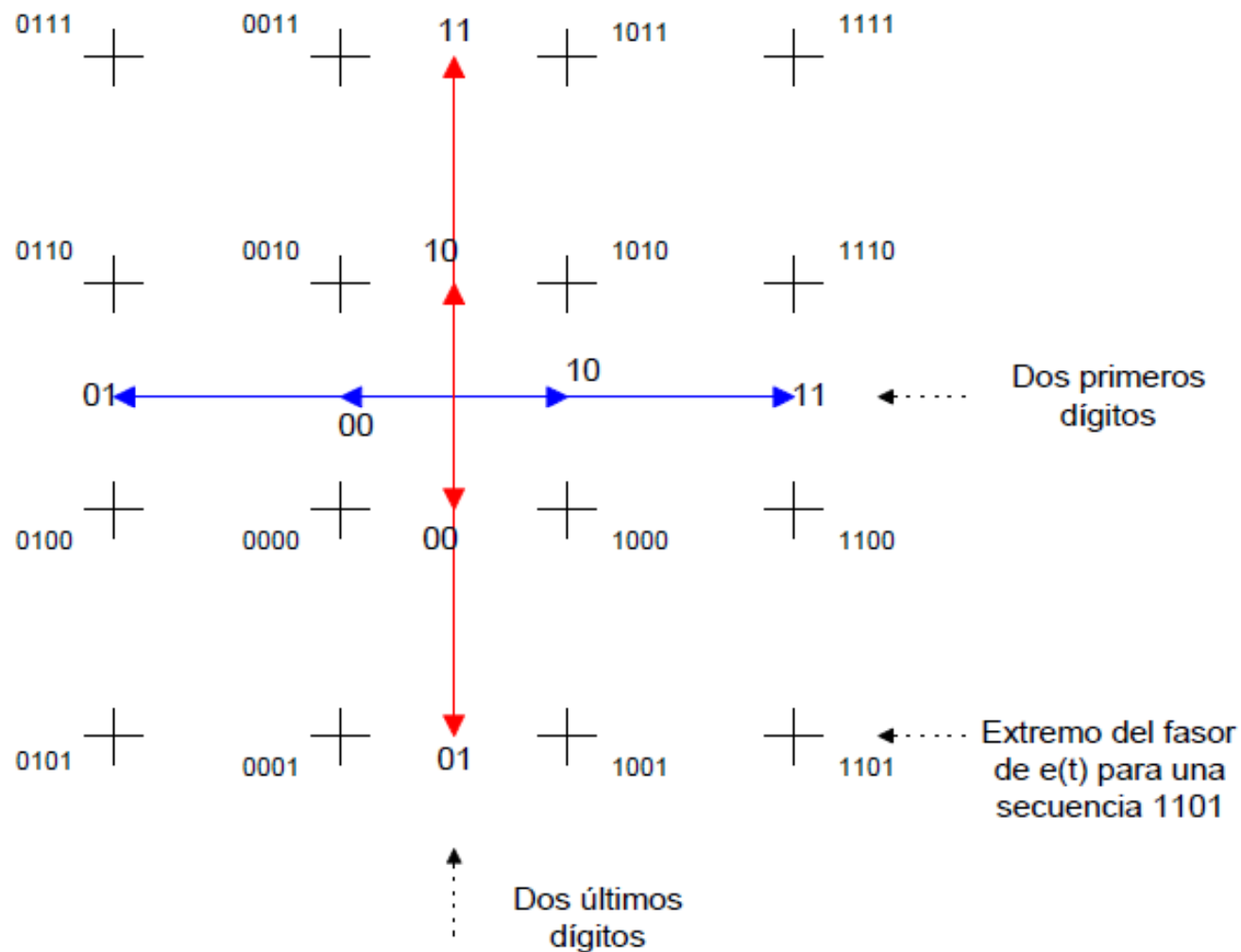


$e(t)$: Baud rate??

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

Modulación 16-QAM

Constelación de fasores o símbolos



Plano de fases de una señal 16QAM

