

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

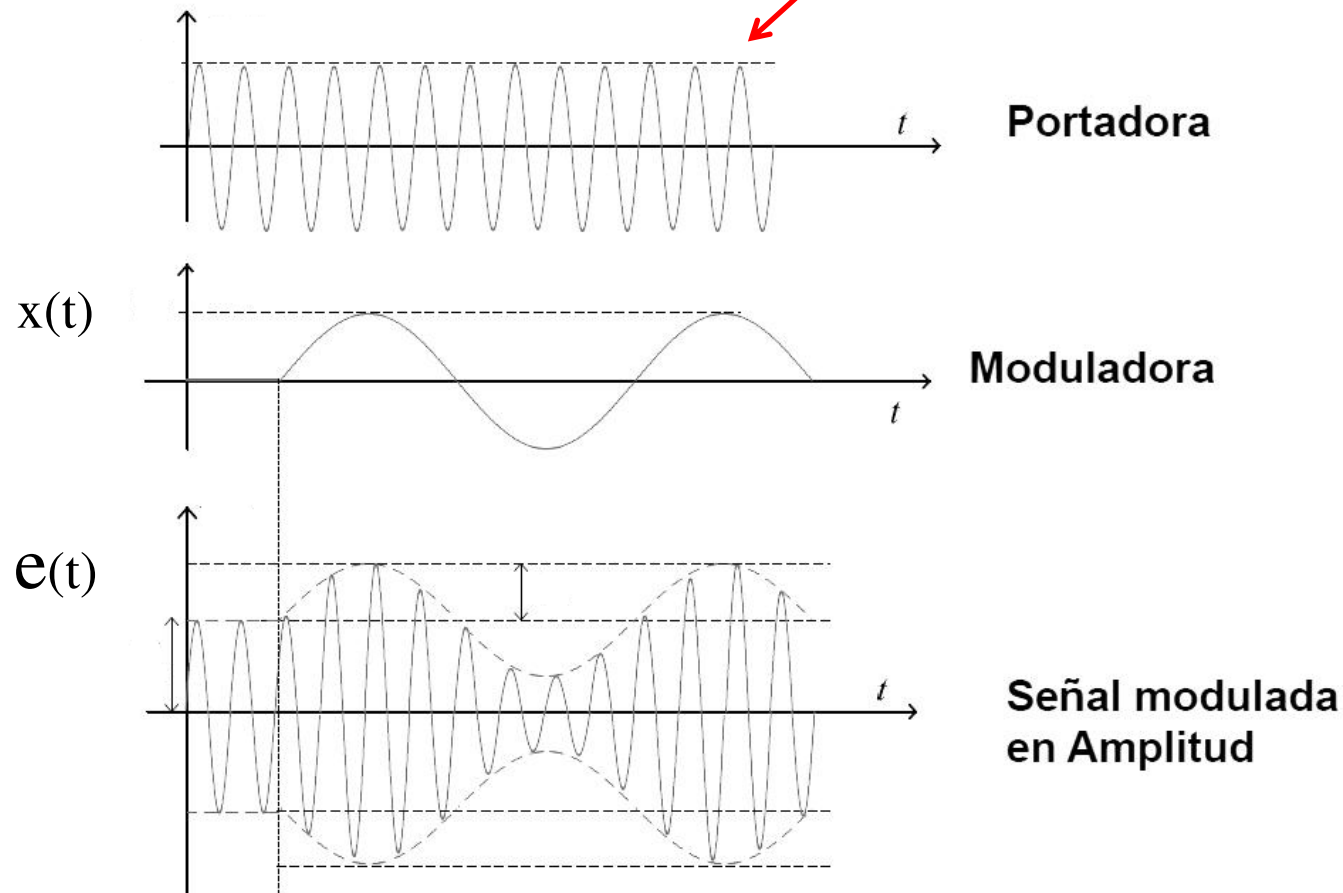
1. Modulación lineal en general
2. AM
3. DSB
4. SSB
5. Resumen comparativo
(ventajas y desventajas relativas)

1. Modulación lineal

¿En que se basan los sistemas de modulación lineal?

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

(Función lineal de X)



1. Modulación lineal

CLASIFICACIÓN
DE LOS DISTINTOS
ESQUEMAS DE
MODULACIÓN:

Portadora Analógica

Moduladora
Analógica
(cw)

AM
FM
PM

a. AM por antonomasia

b. DSB (DBL)

c. BSS (BLU)

Moduladora
Digital

ASK - OOK
FSK
PSK
QAM

BPSK
QPSK

Portadora Digital

Moduladora
Analógica

PAM
PWM
PPM

Moduladora
Digital

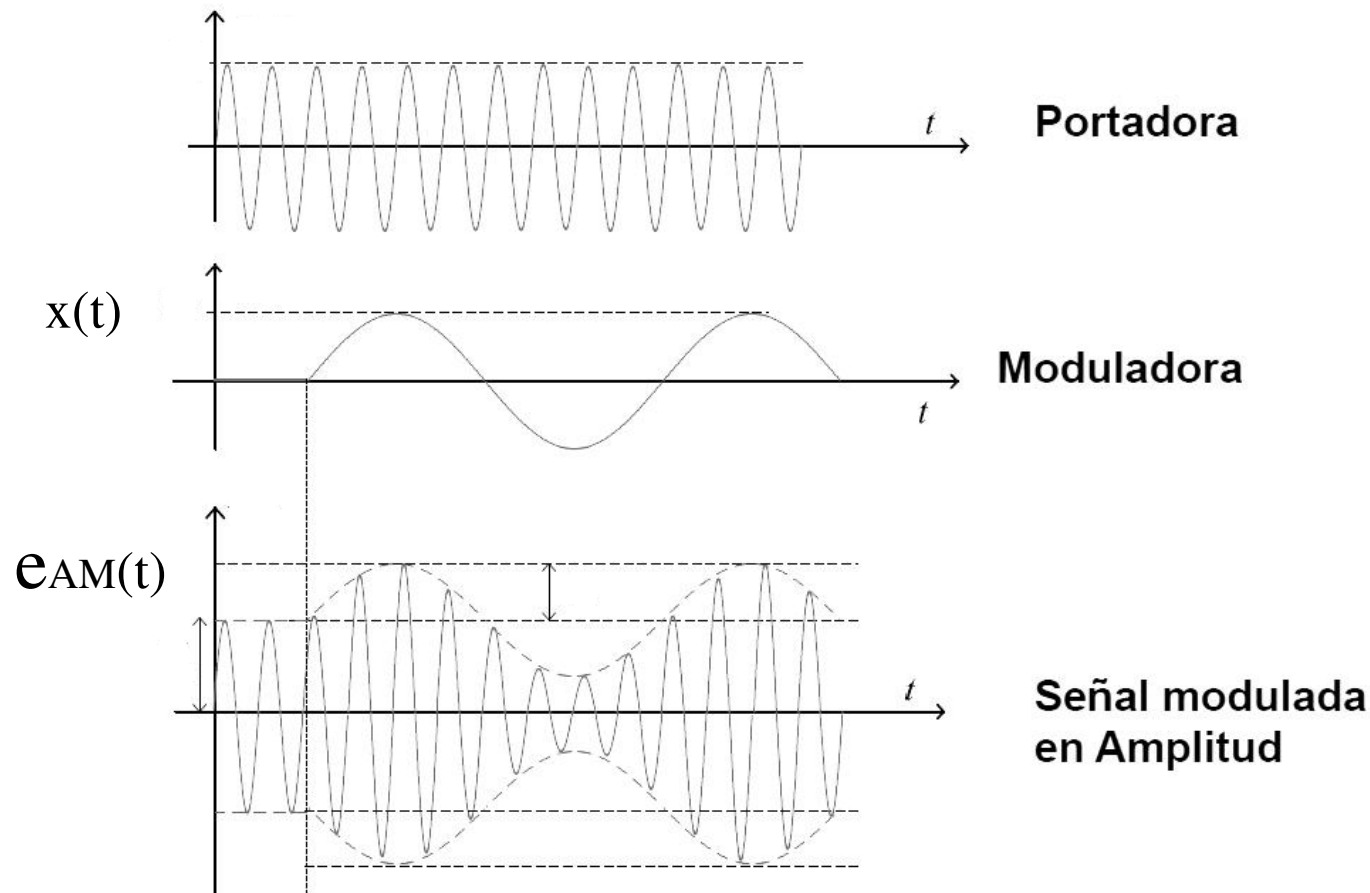
PCM
DPCM
ADPCM

1. Modulación lineal

¿Qué ocurre en el dominio de la frecuencia?

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

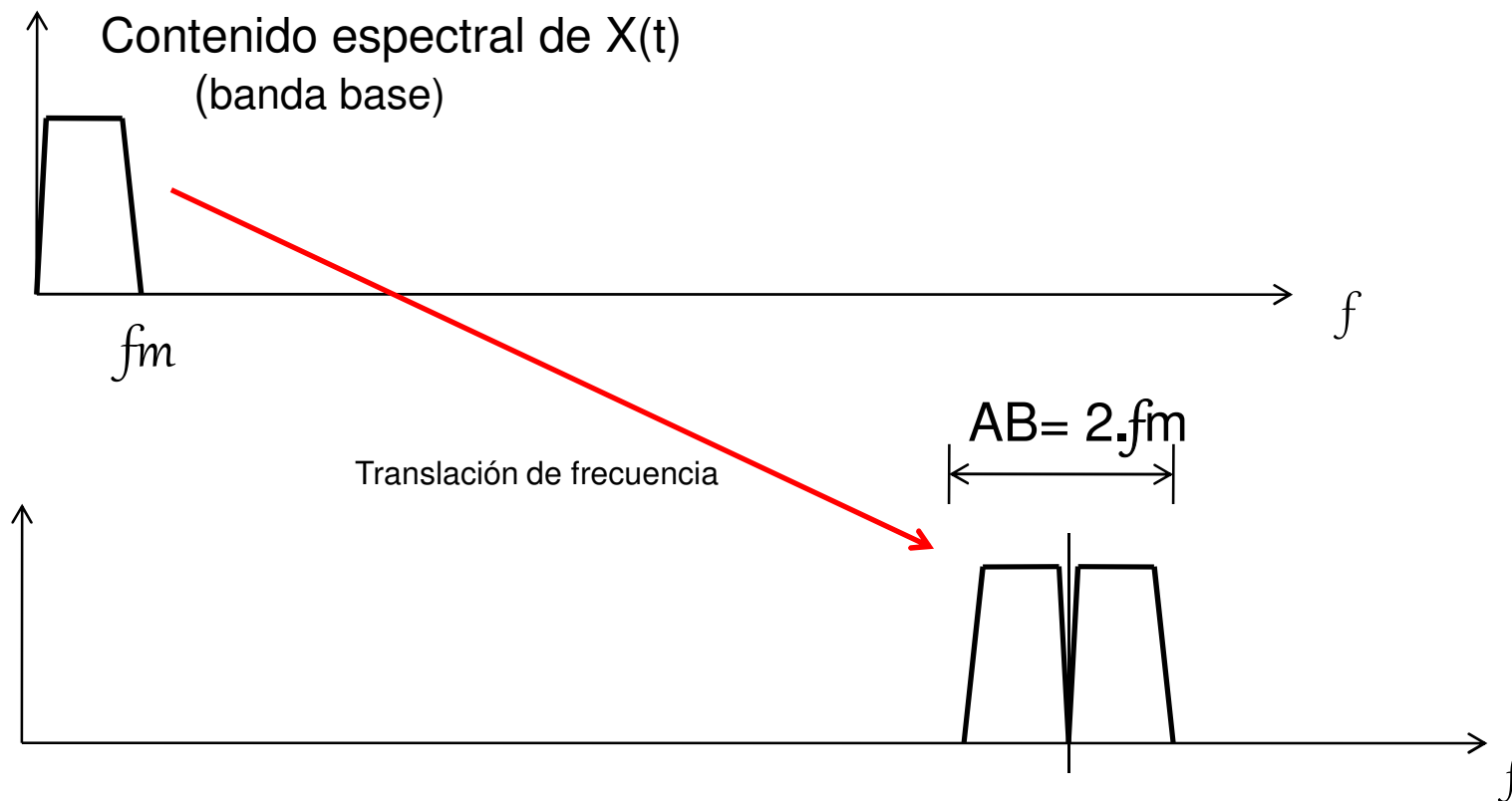
(Función lineal de X)



1. Modulación lineal

¿Qué ocurre en el dominio de la frecuencia?

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

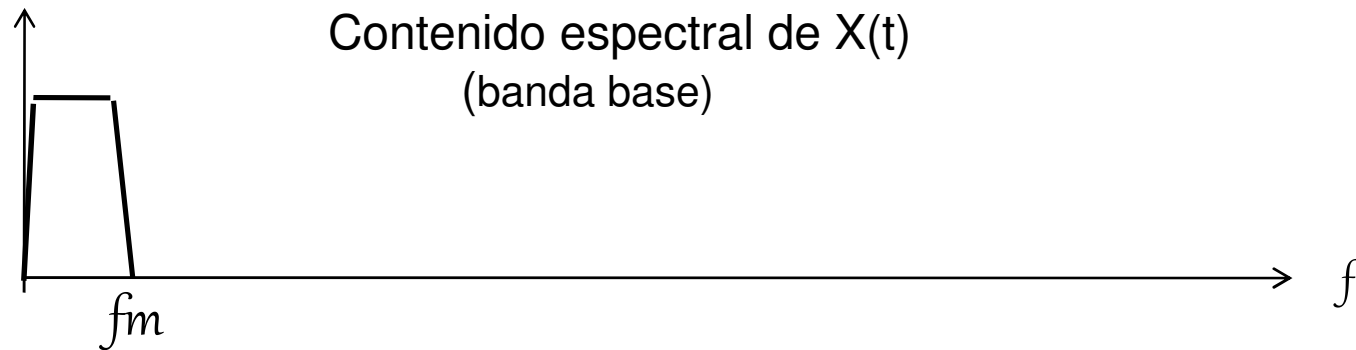


FACEyT, DEEC, EAL2025. Ing. C. f_c

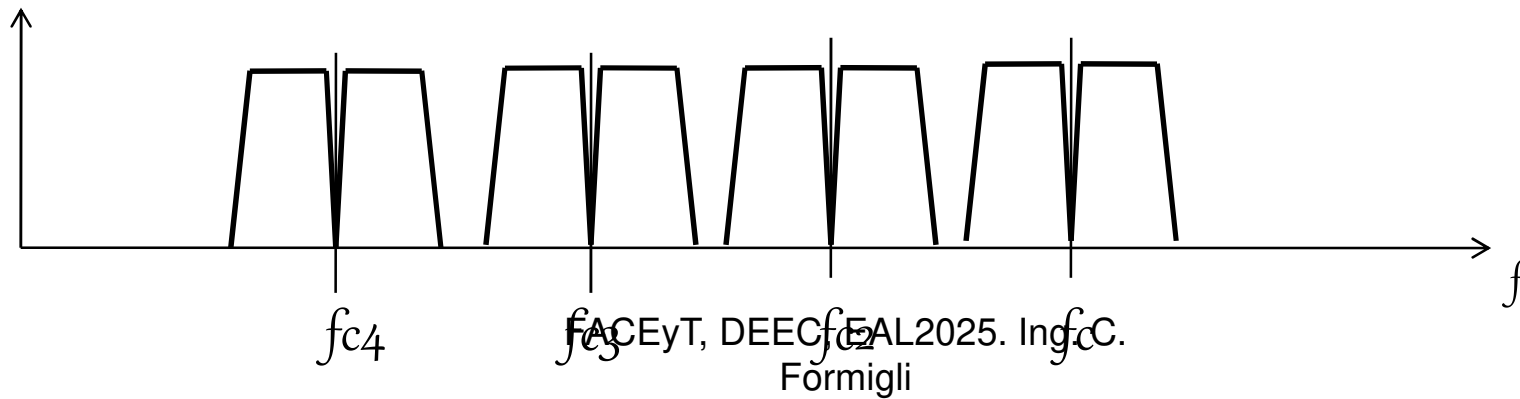
Formigli Frecuencia de portadora

1. Modulación lineal

¿Qué ocurre en el dominio de la frecuencia?



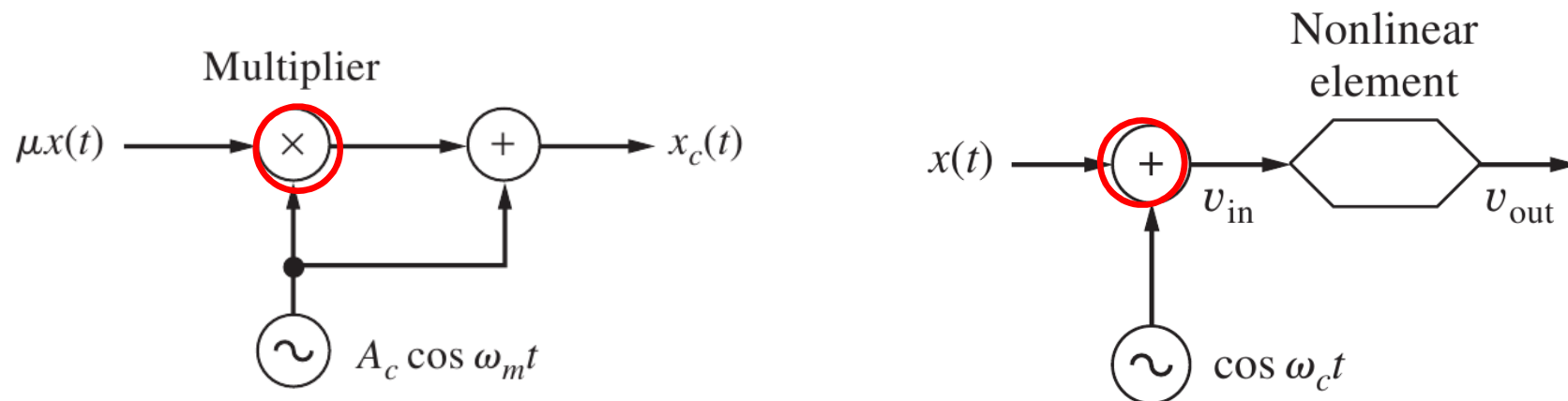
Multiplexado en frecuencia (FDM)



1. Modulación lineal

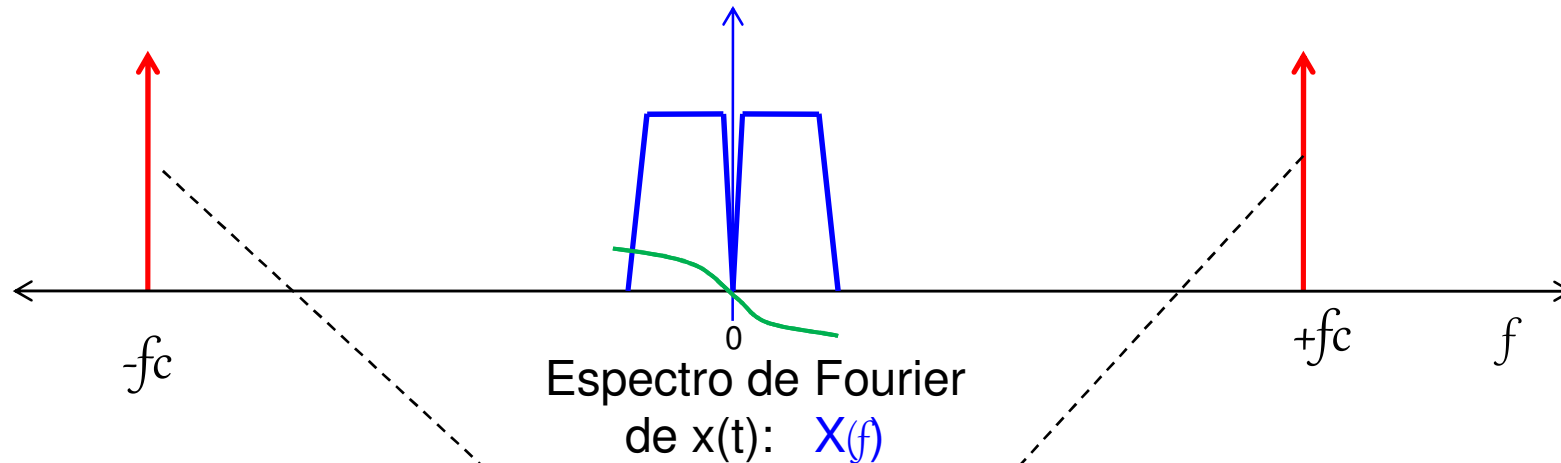
$$e(t) = \text{Amp}(x(t)) \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot t)$$

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



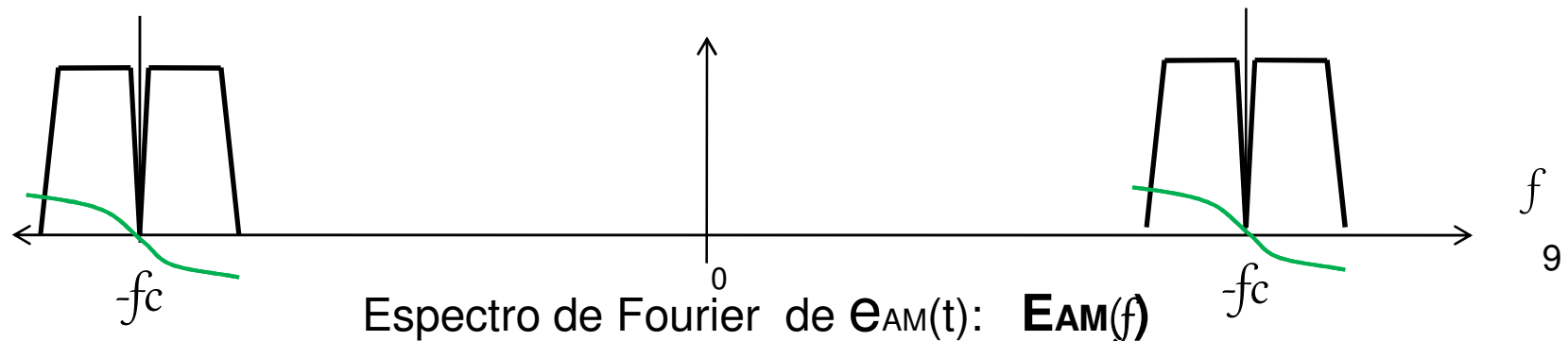
1. Modulación lineal ¿Qué ocurre en el dominio de **FOURIER**?

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



Componentes de Fourier de la portadora

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



1. Modulación lineal

¿Por qué "lineal"?

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

$\downarrow$

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

("Función lineal de X")



Esquema de la exposición

1. Modulación lineal en general

2. AM

3. DSB

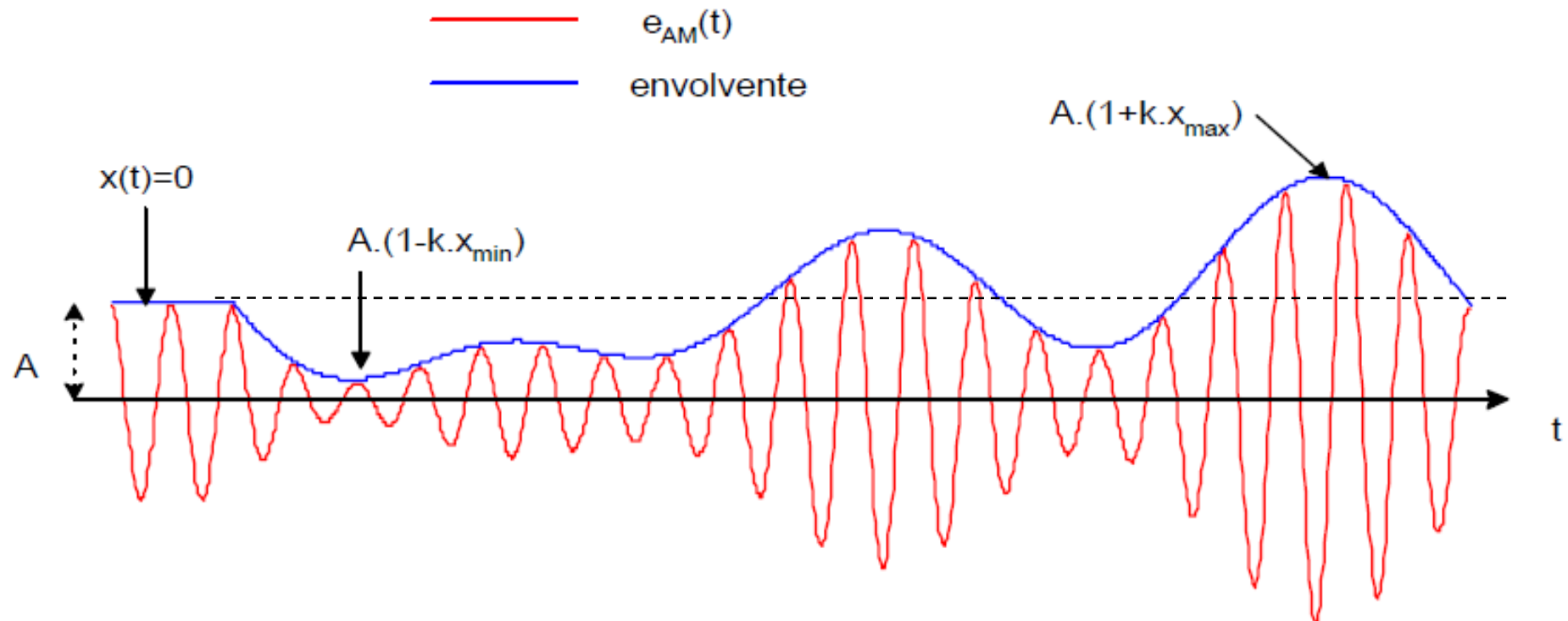
4. SSB

5. Resumen comparativo

(ventajas y desventajas relativas)

2) Modulación AM

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

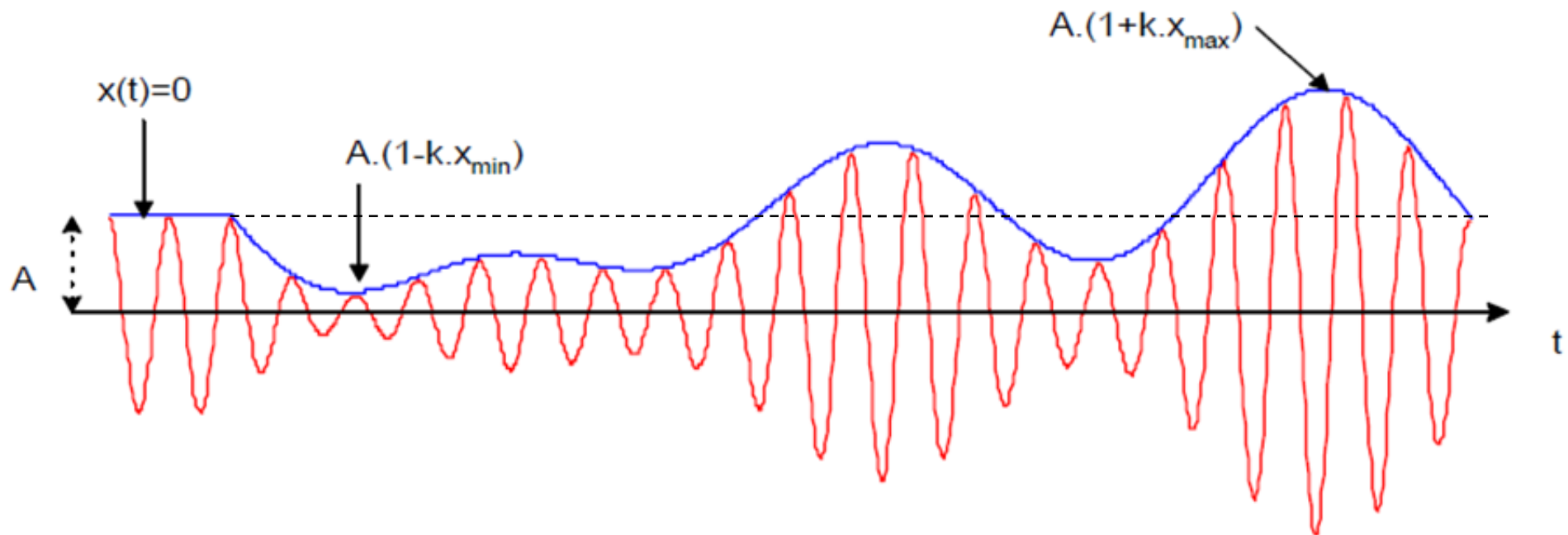


2) Modulación AM

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

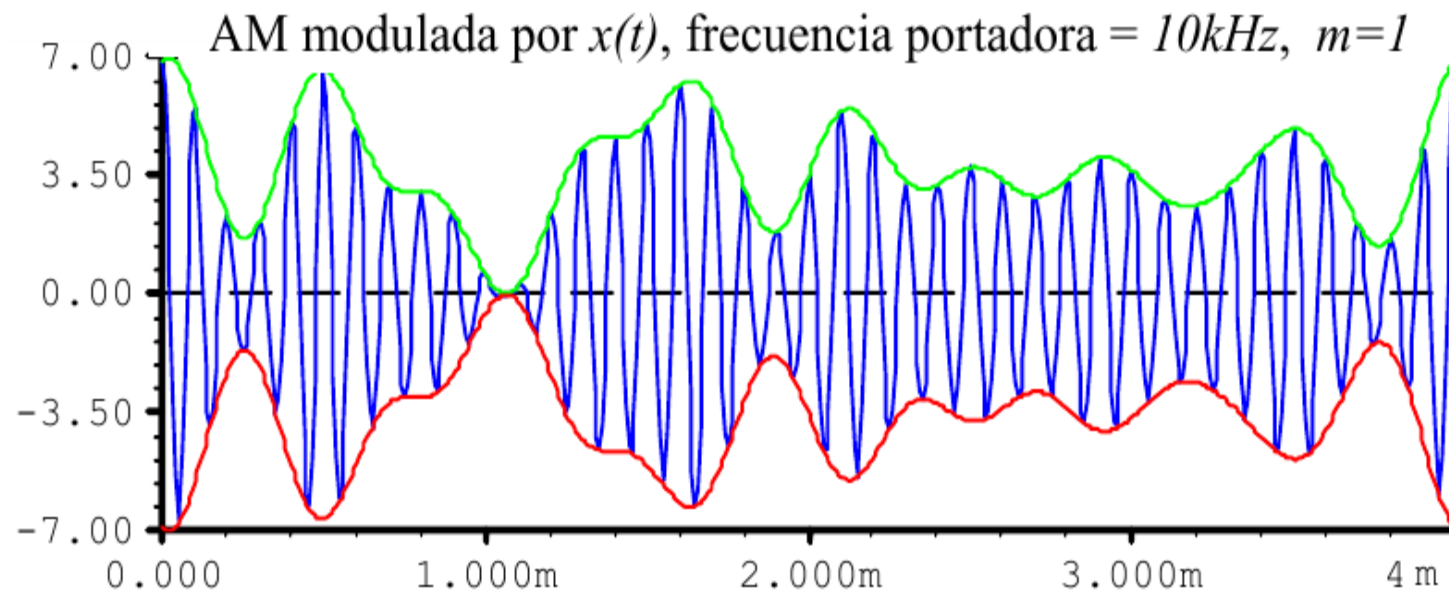
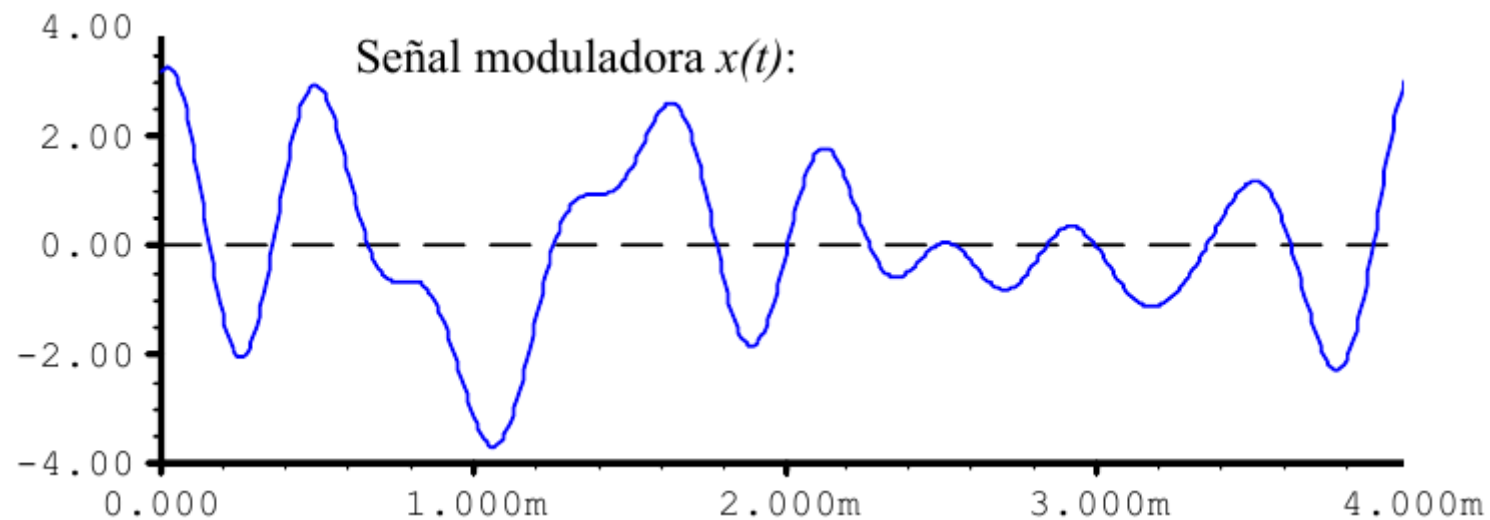
$$e_{AM}(t) = A \cdot \left(1 + \underbrace{m}_{\text{Índice de modulación}} \cdot \frac{x(t)}{x_{max}}\right) \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot t)$$

Índice de modulación



Sobremodulación?

2) Modulación AM

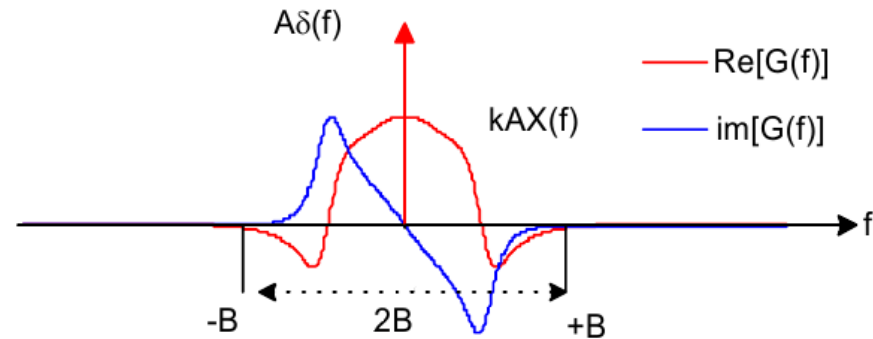


2) Modulación AM (En la frecuencia...)

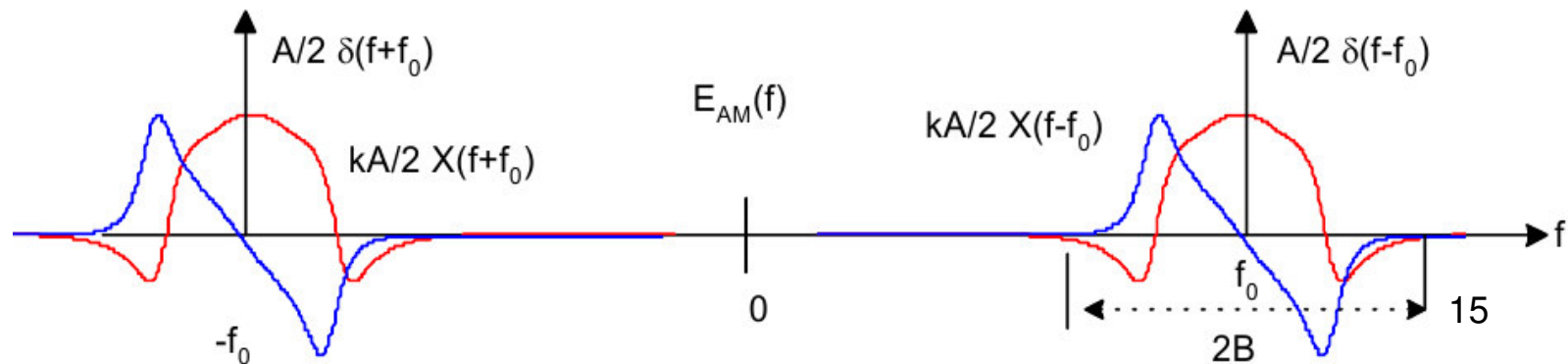
$$e_{AM}(t) = A \cdot \underbrace{(1 + k \cdot x(t))}_{g(t)} \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot t)$$

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

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



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

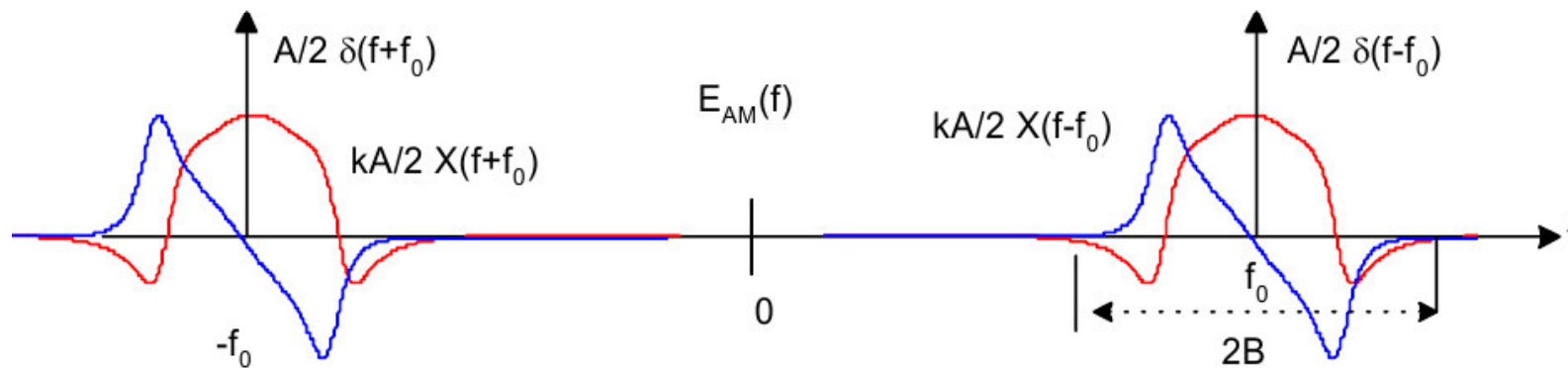


2) Modulación AM (En la frecuencia...)

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

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

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



Bandas...

Potencia...

Generación...

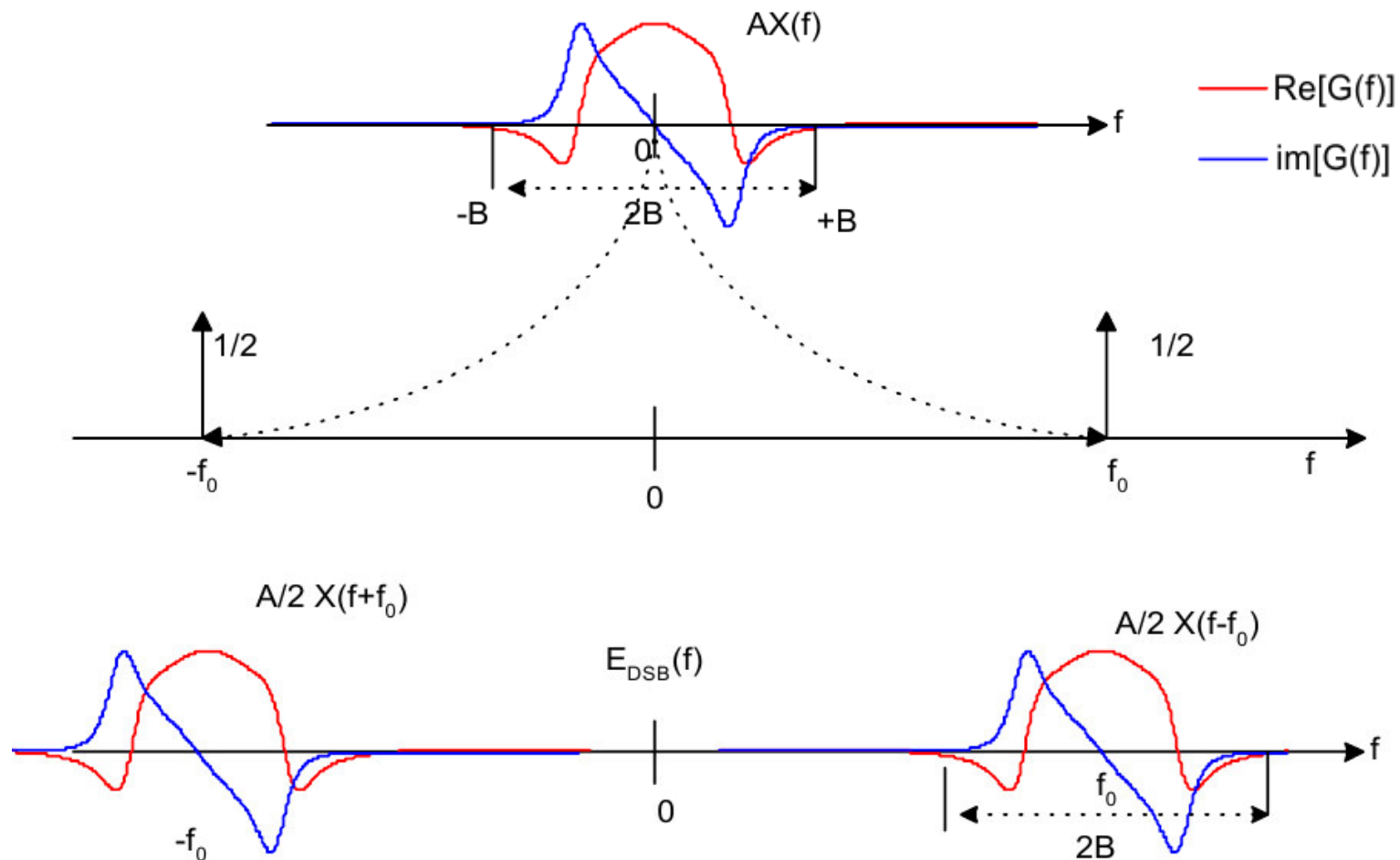
Detección...

3) Modulación DSB (Doble banda lateral)

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

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

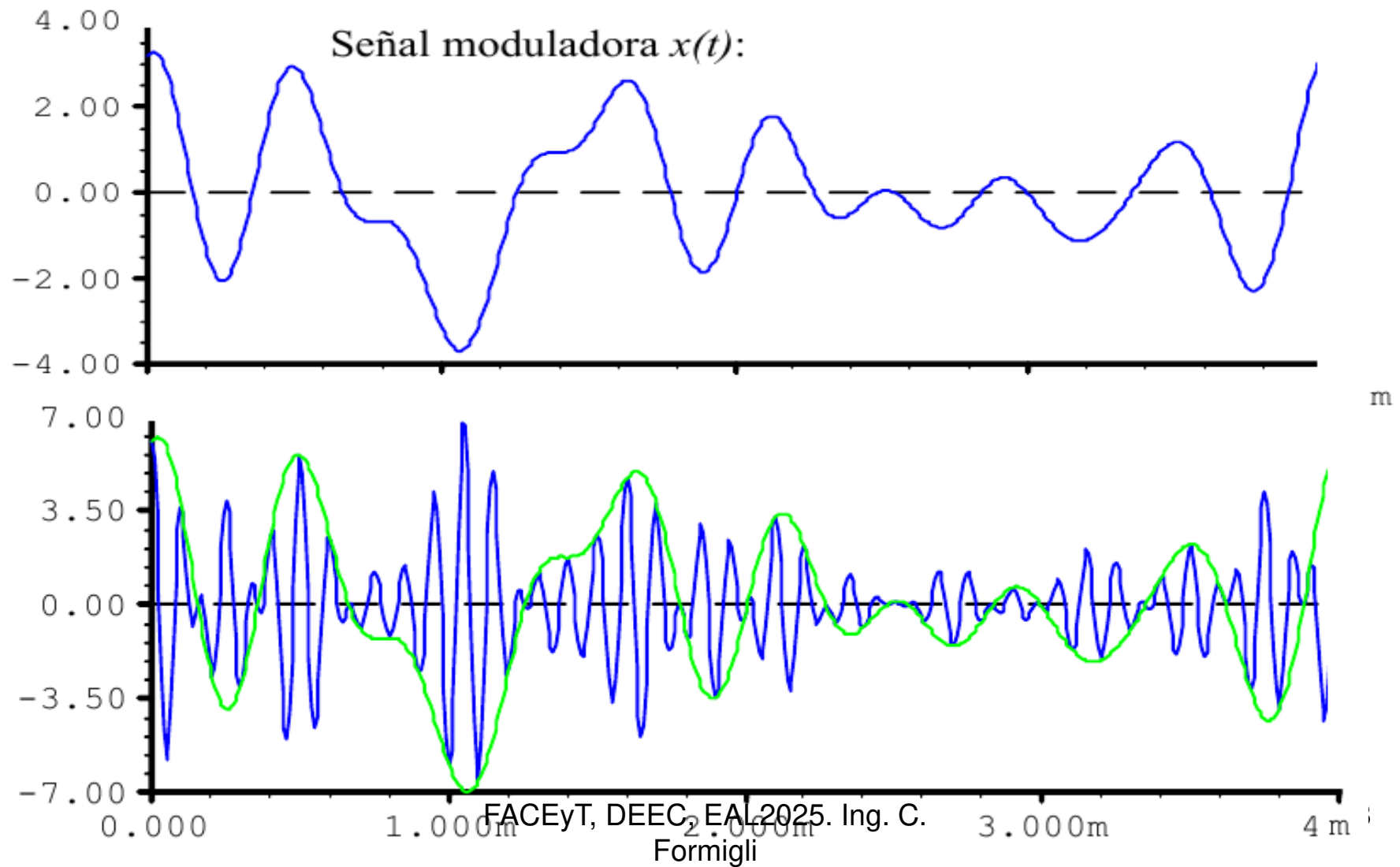
En la frecuencia...



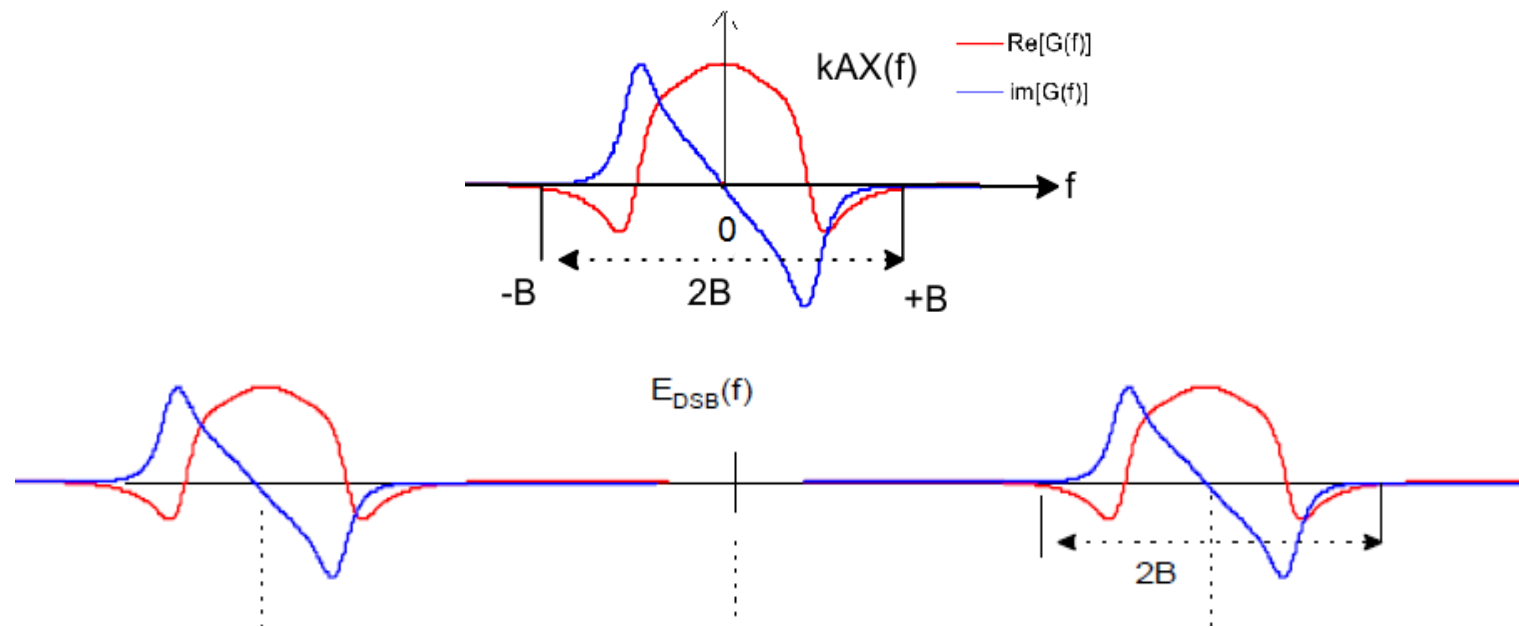
3) Modulación DSB (Doble banda lateral)

En el tiempo...

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



4) Banda lateral única (SSB)



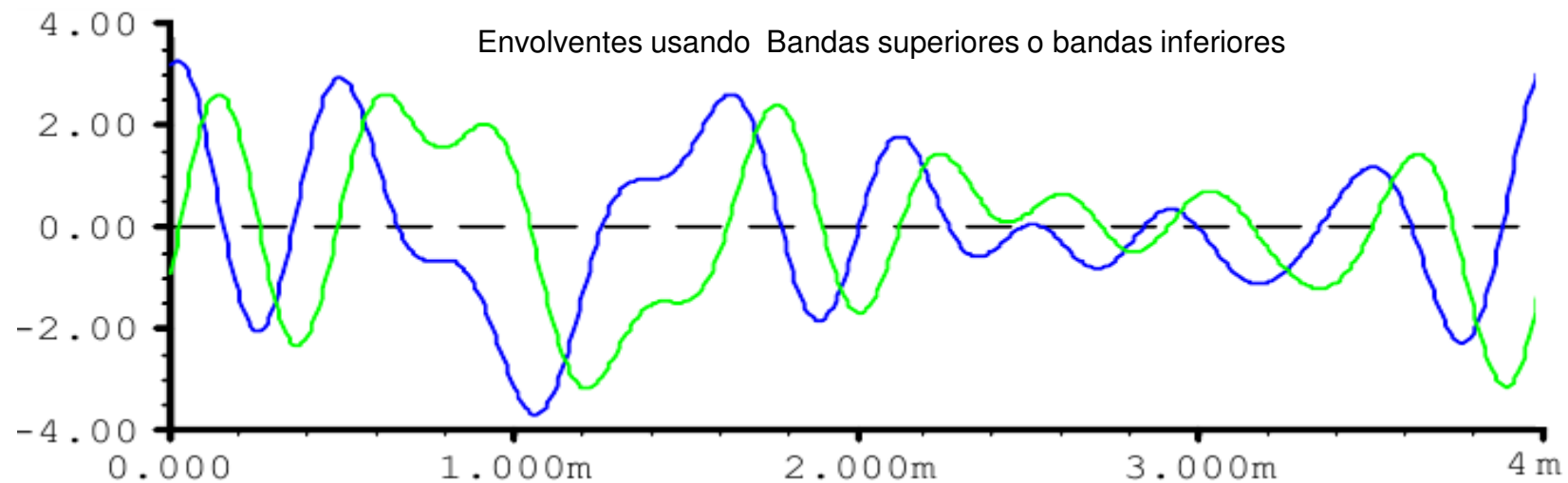
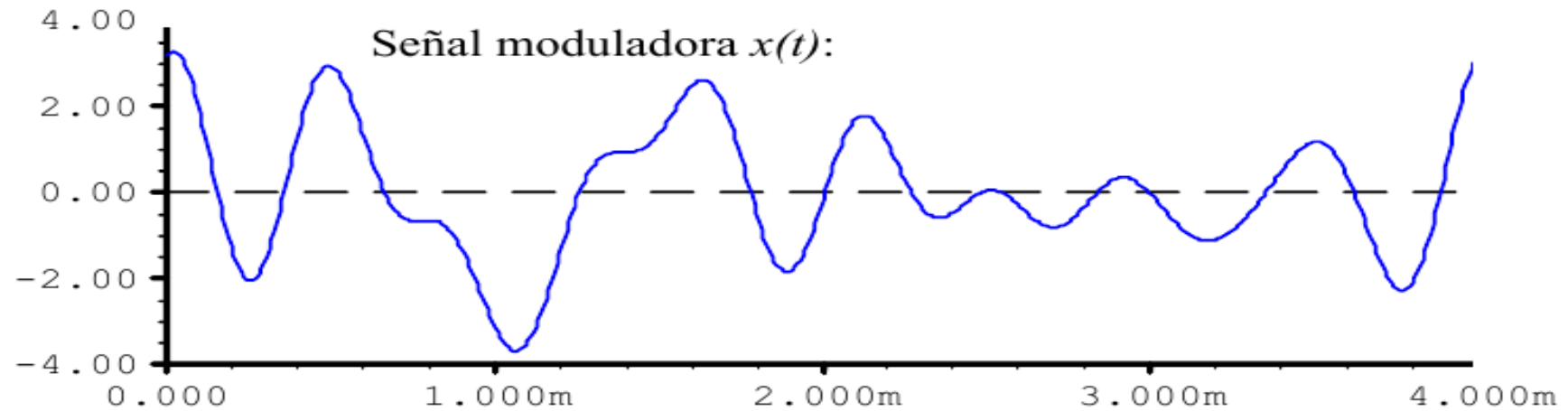
Bandas...

Potencias....

Uso...

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

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

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

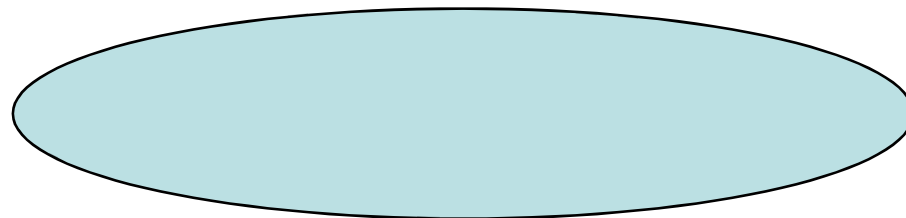
$$SSB: 0,5 \cdot P_{DSB}$$

Complejidad y costo

AM

DSB

SSB

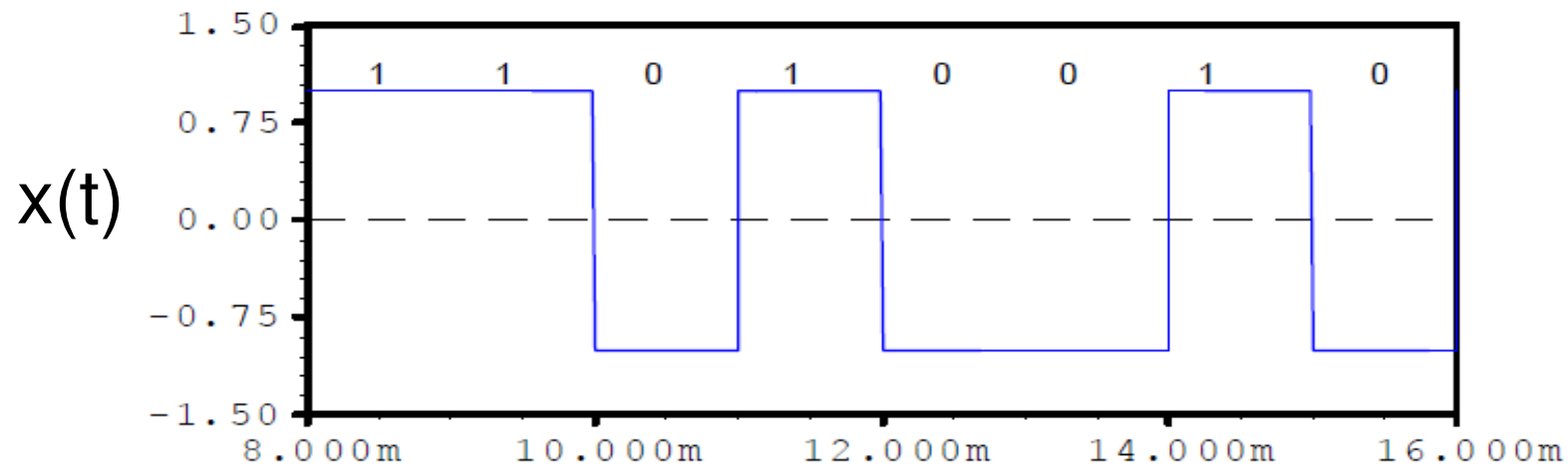


Tema 5 Traslación de frecuencia y modulación. Sistemas de modulación lineal: AM, DSB y SSB. Análisis en tiempo y frecuencia, ventajas y desventajas relativas. Demodulación. Detector coherente. Errores e imperfecciones. **Modulación lineal de señales digitales. ASK, PSK, N-PSK, N-QAM.** Diagramas en bloques.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

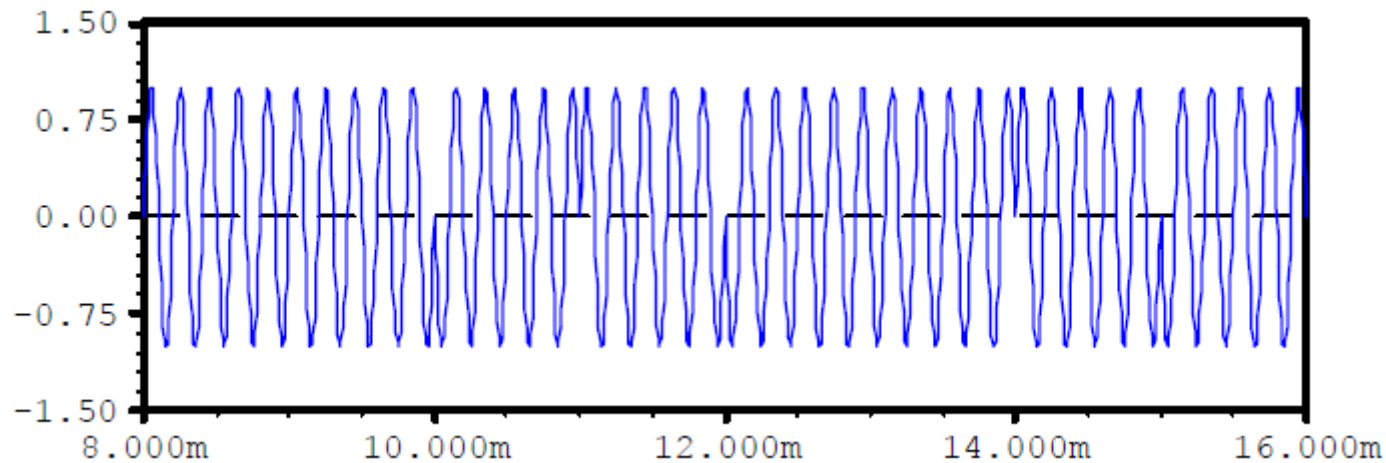
1. Apunte “Translación de Frecuencia” del Ing. Bilbao
2. Cap. 5.9 y 5.10 “Sistemas de Comunicación Digitales y Analógicos” Couch-Cuevas-Romero

Modulación lineal de señales digitales

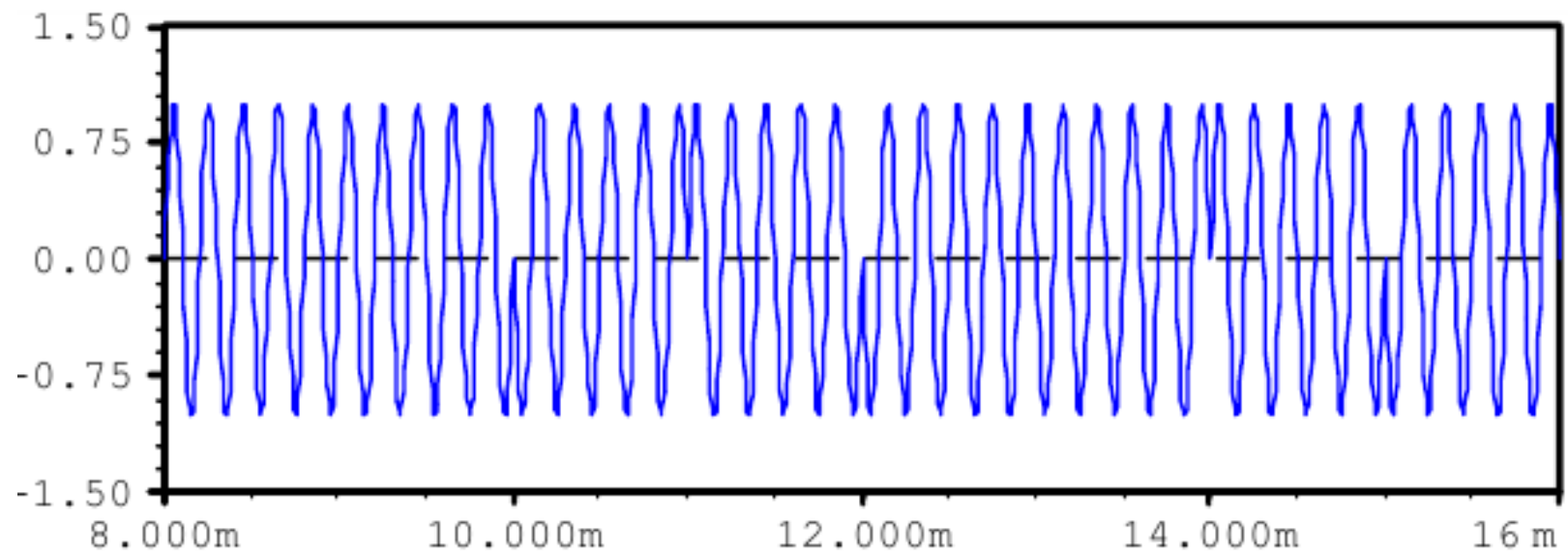


$$e(t) = A.x(t).\cos(2.\pi.f_0.t)$$

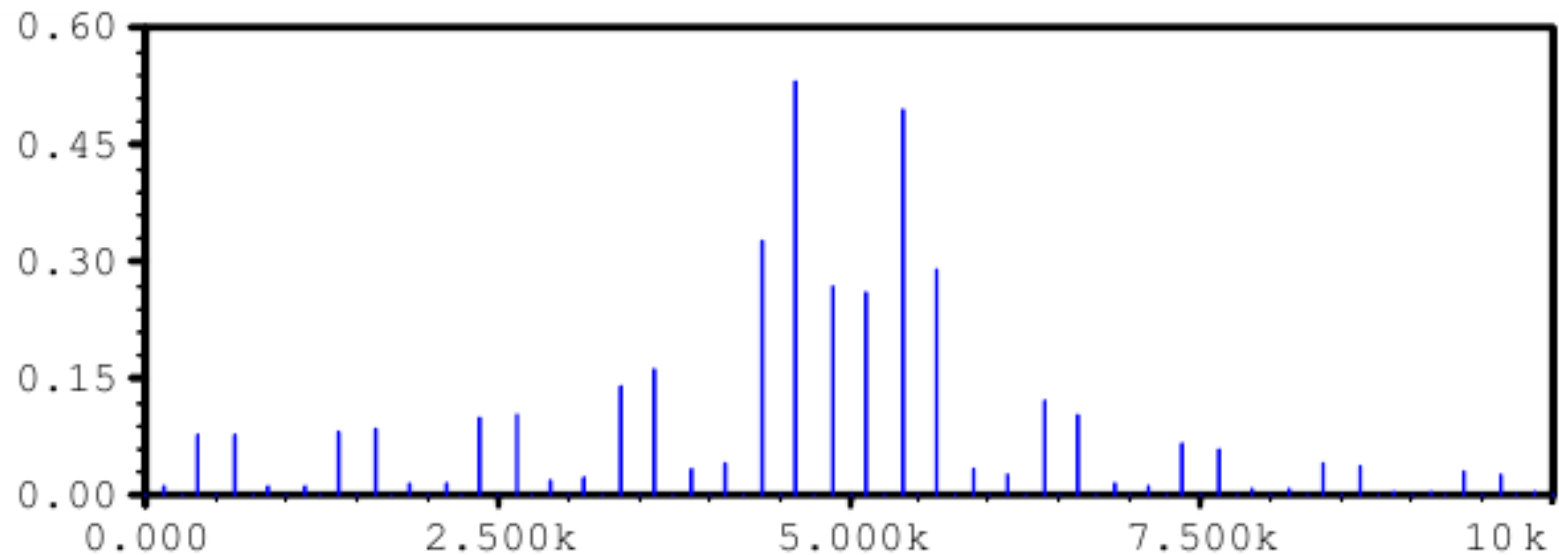
($f_0=5\text{kHz}$)



Modulación lineal de señales digitales



El espectro de la señal modulada es:



Modulación lineal de señales digitales

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

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

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

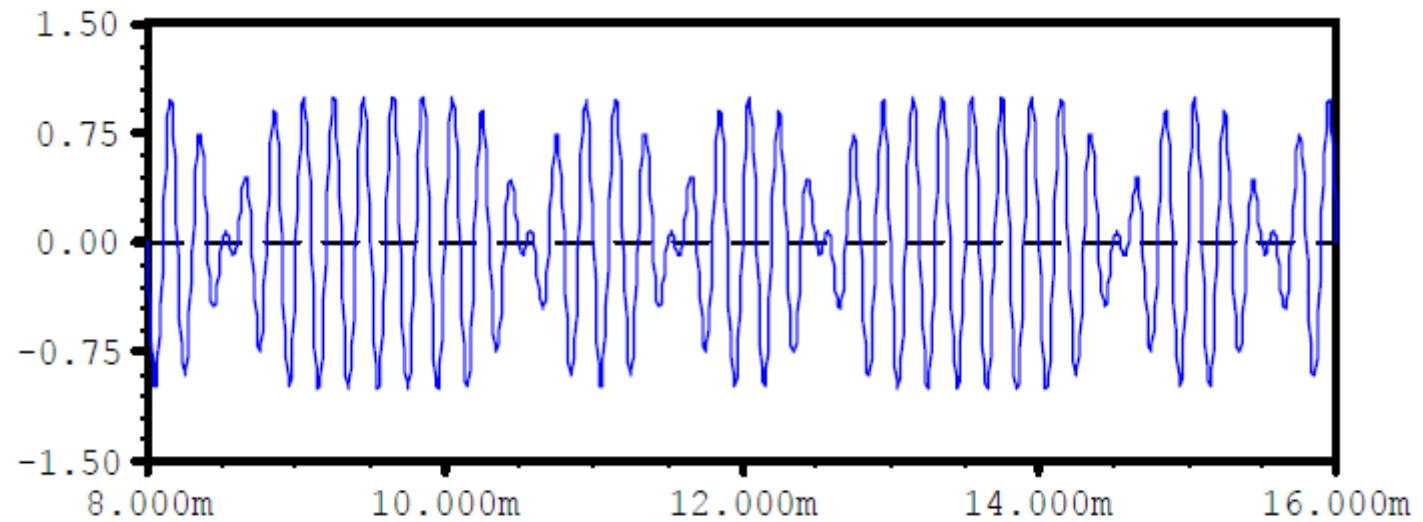
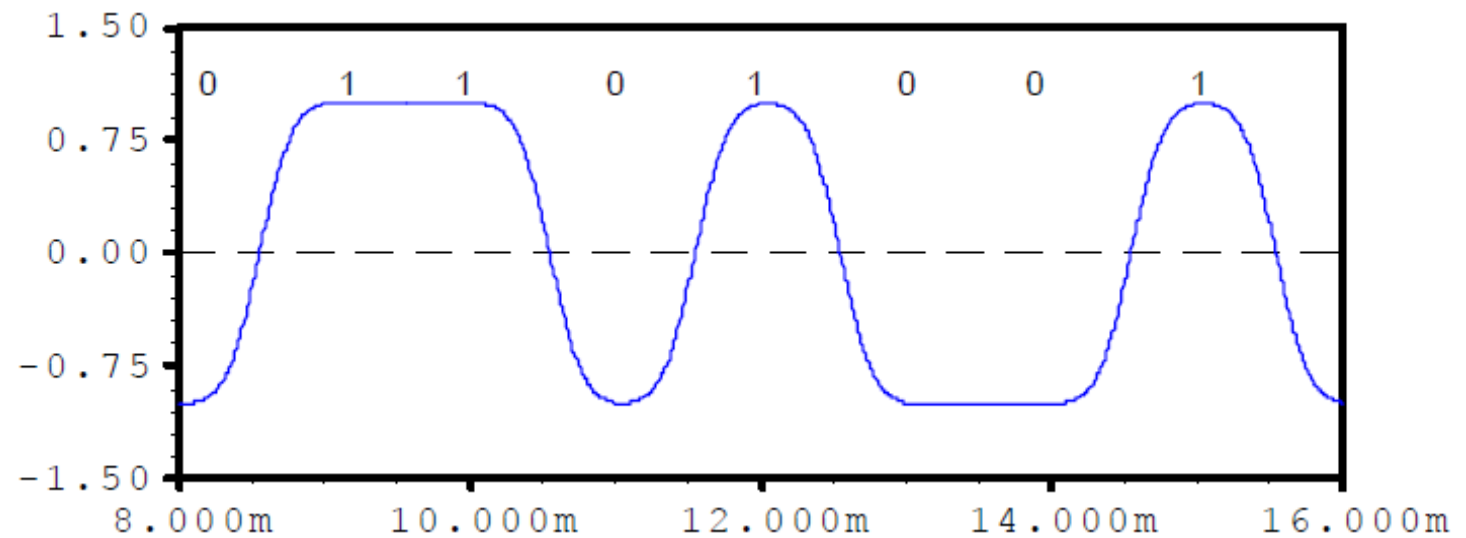
$$e(t) = A.\cos(2.\pi.f_0.t - \phi(t))$$

“modulación 2-PSK o BPSK”

(Phase Shift Keying)

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

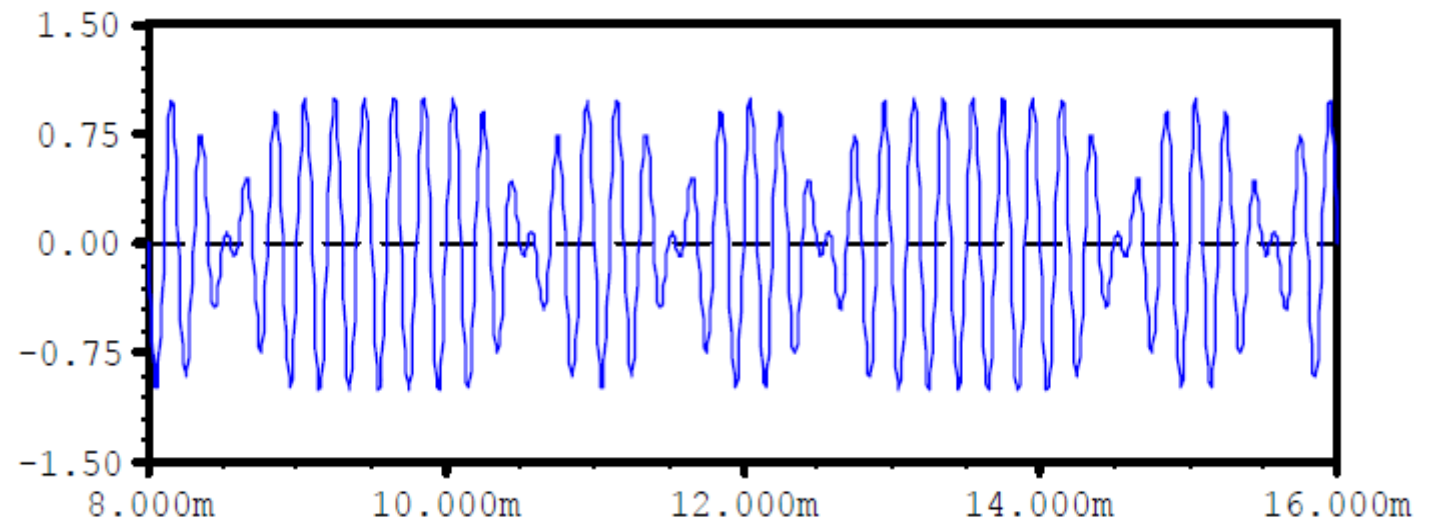
$x(t)$, filtrada
a $0,75R_b$



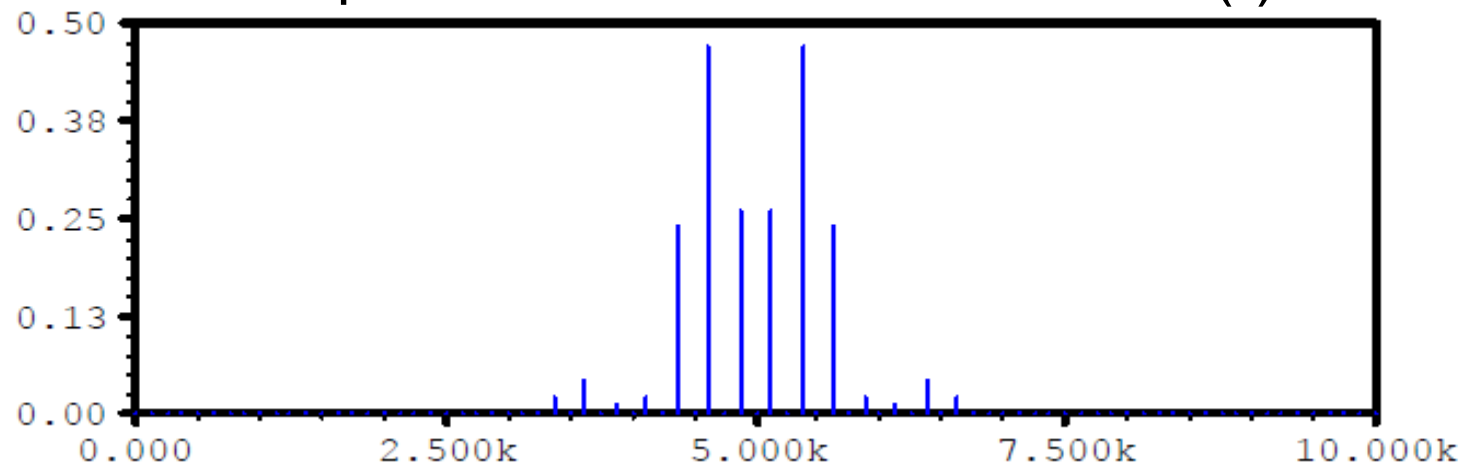
20

Modulación lineal de señales digitales 2-PSK

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

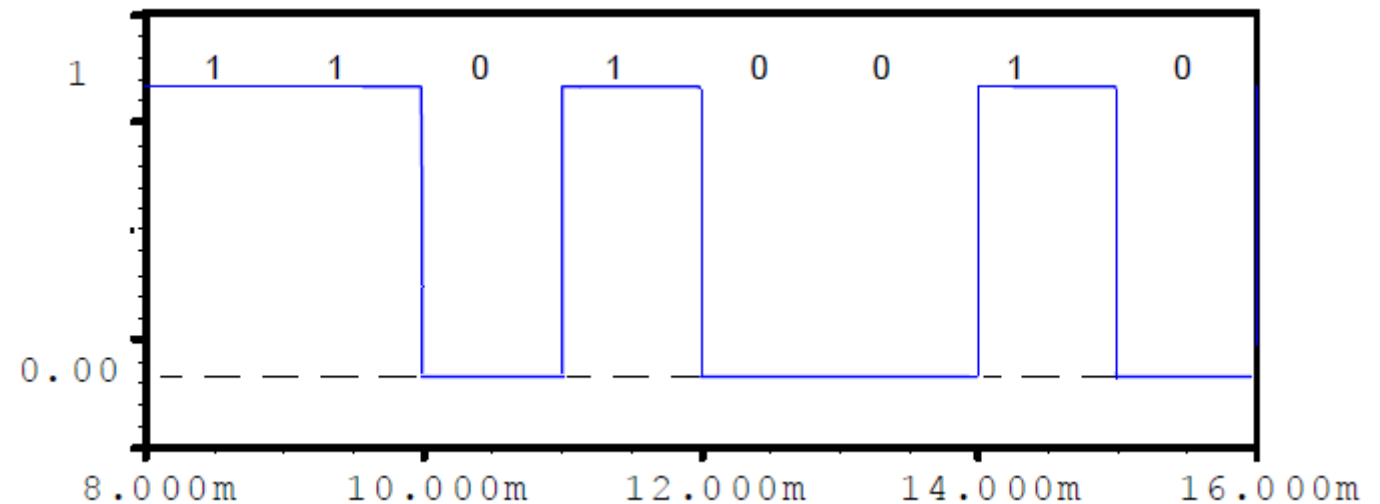


Espectro de la señal modulada $E(f)$

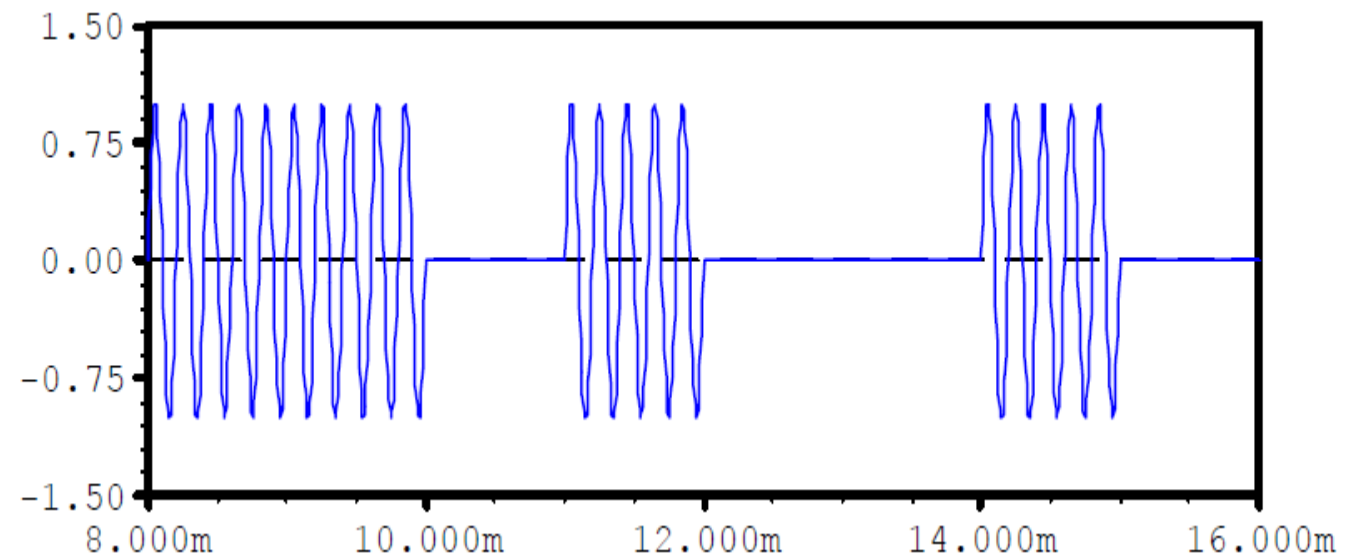


ASK (Amplitude shift keying), también llamada OOK

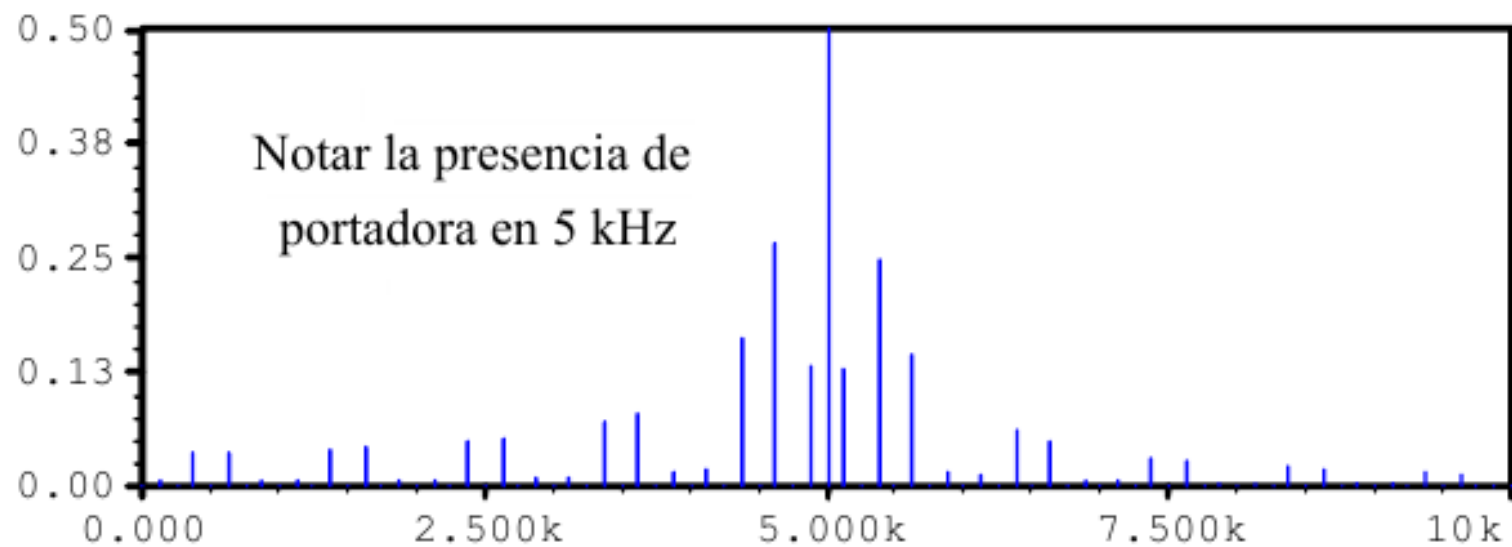
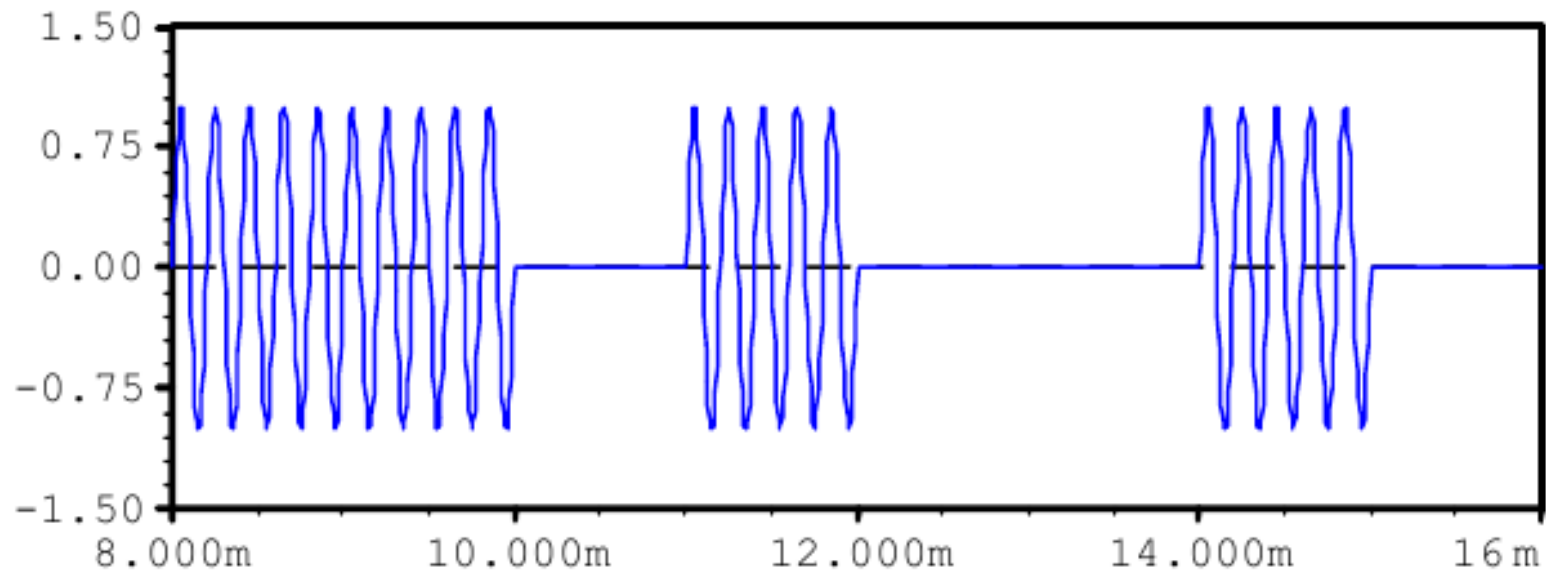
$$y(t) = \frac{1}{2} \cdot (1 + x(t))$$



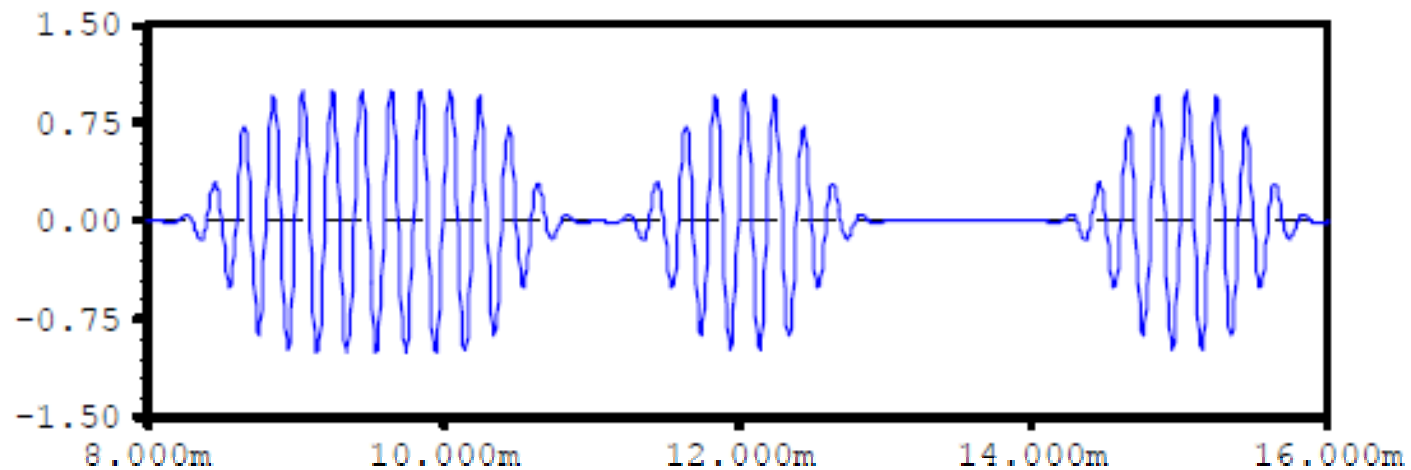
$$e(t) = A \cdot y(t) \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_0 \cdot t)$$



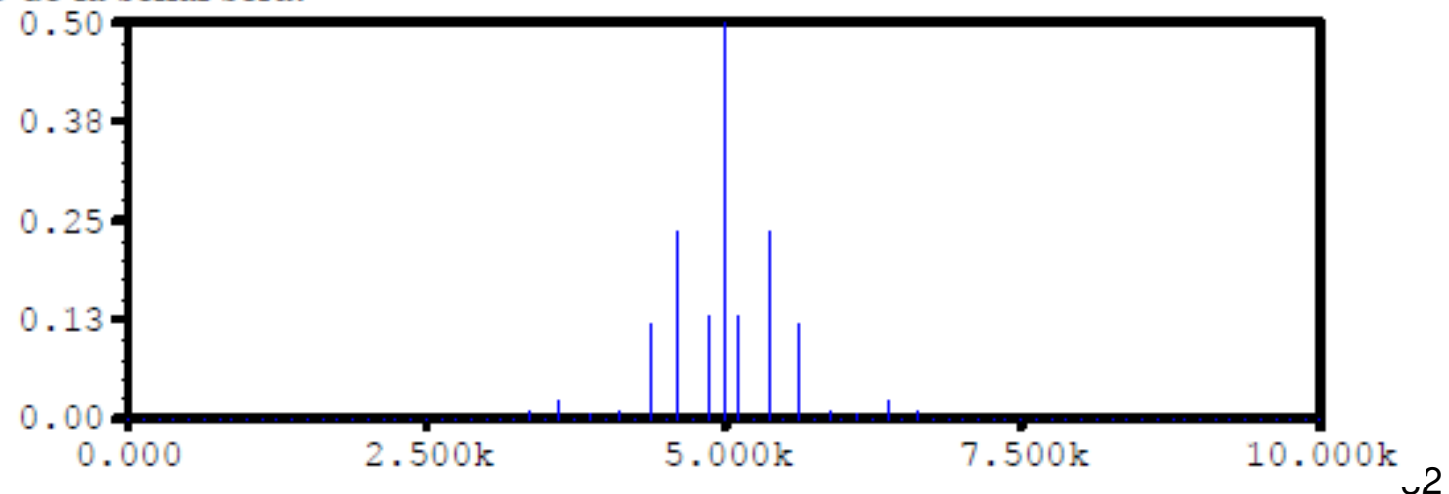
ASK (Amplitude shift keying), también llamada OOK



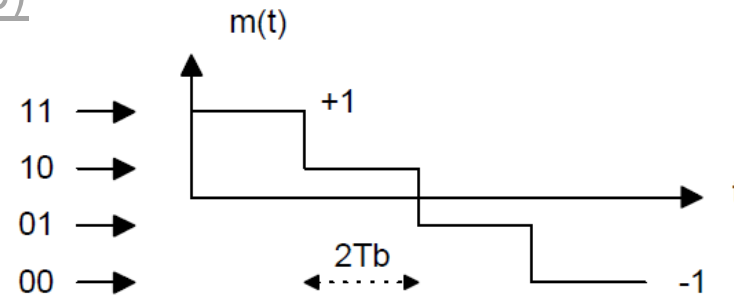
ASK (Amplitude shift keying), también llamada OOK



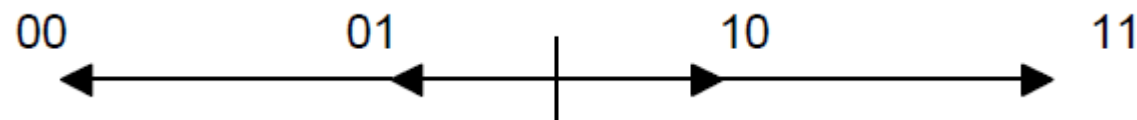
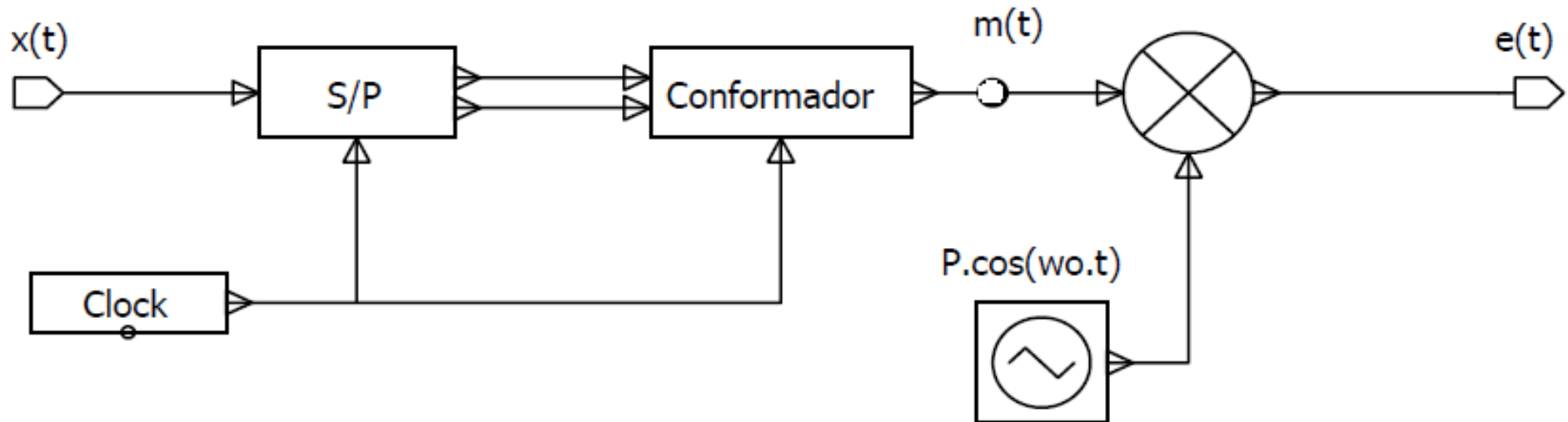
El espectro de la señal será:



Modulación QAM (idea base)

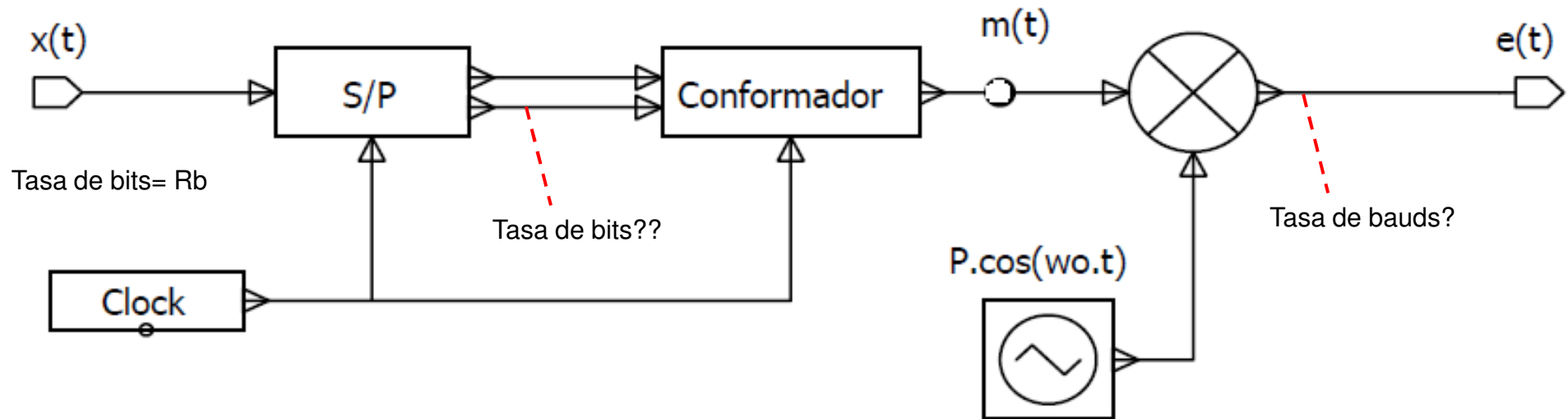


salida del conformador $m(t)$



Amplitud y Fase de $e(t)$

Modulación QAM (idea base)

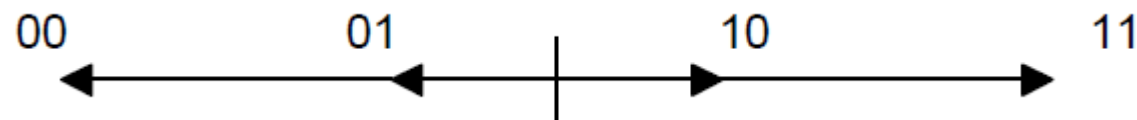


$$11 \rightarrow e(t) = P \cdot \cos(2\pi \cdot f_0 \cdot t)$$

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

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

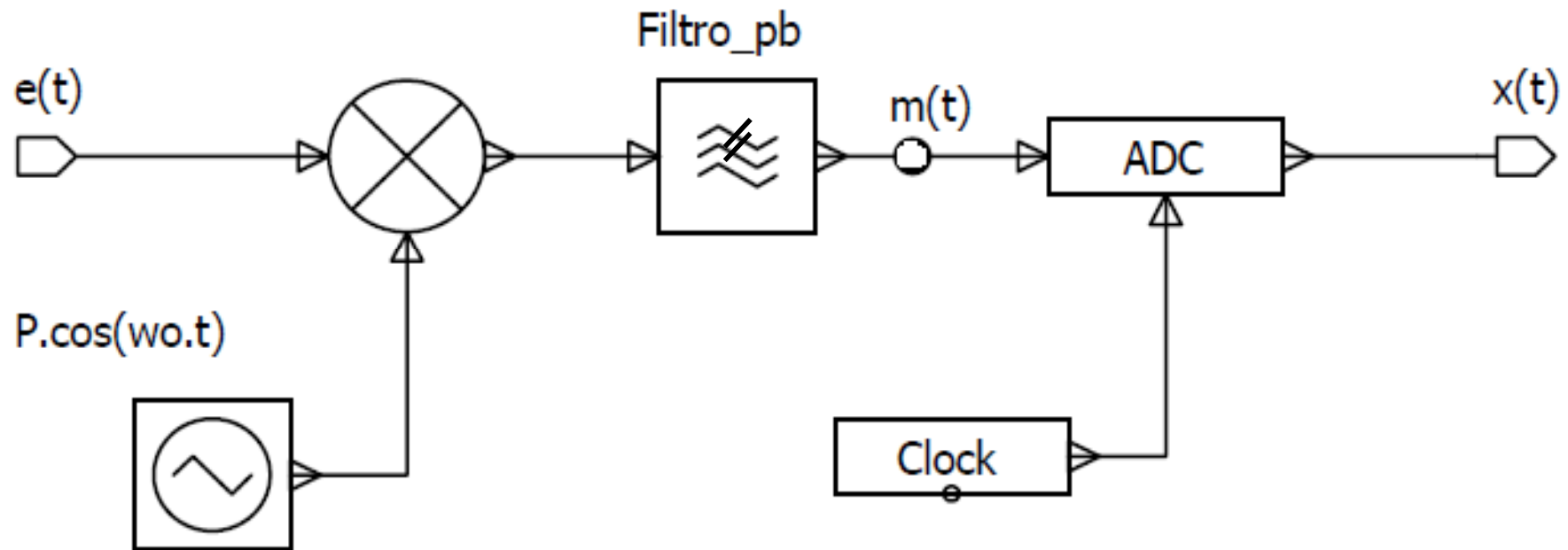
$$00 \rightarrow e(t) = P \cdot \cos(2\pi \cdot f_0 \cdot t - \pi)$$



Amplitud y Fase de $e(t)$

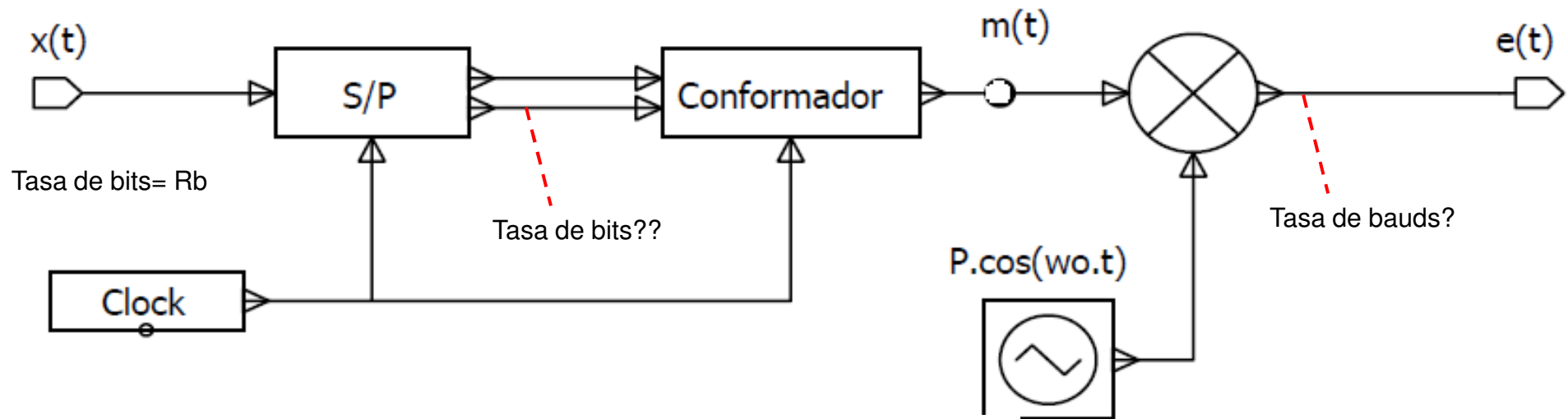
Modulación QAM (idea base)

Detección



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

Modulación QAM (idea base)

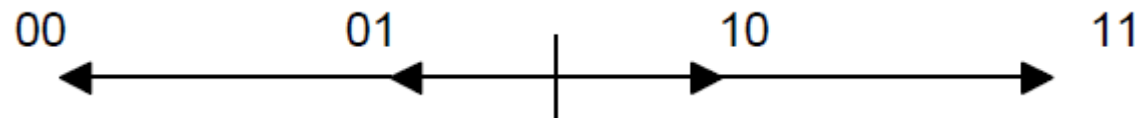


$$11 \rightarrow e(t) = P \cdot \cos(2\pi \cdot f_0 \cdot t)$$

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

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

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



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

Amplitud y Fase de $e(t)$

Modulación QAM

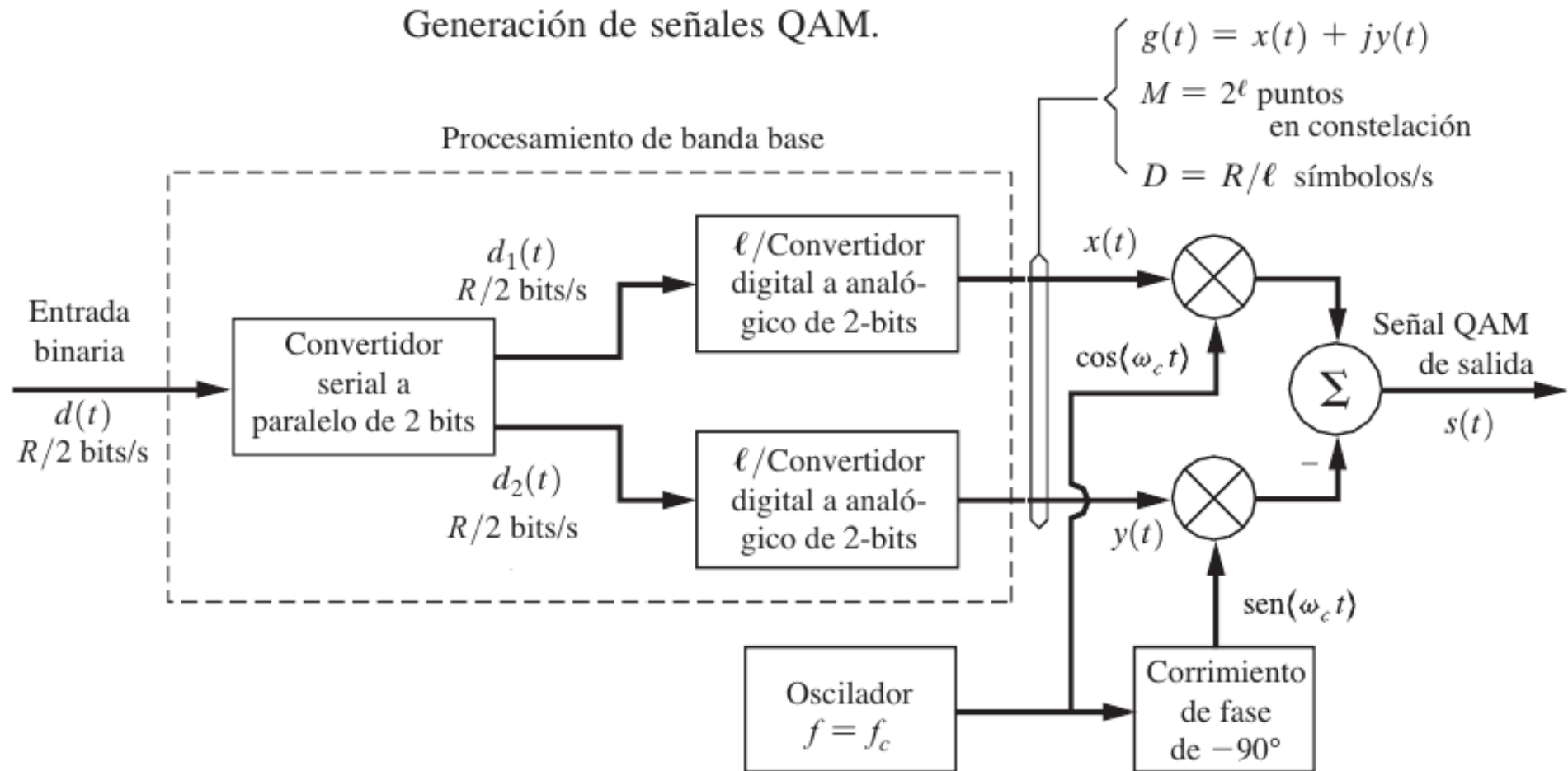
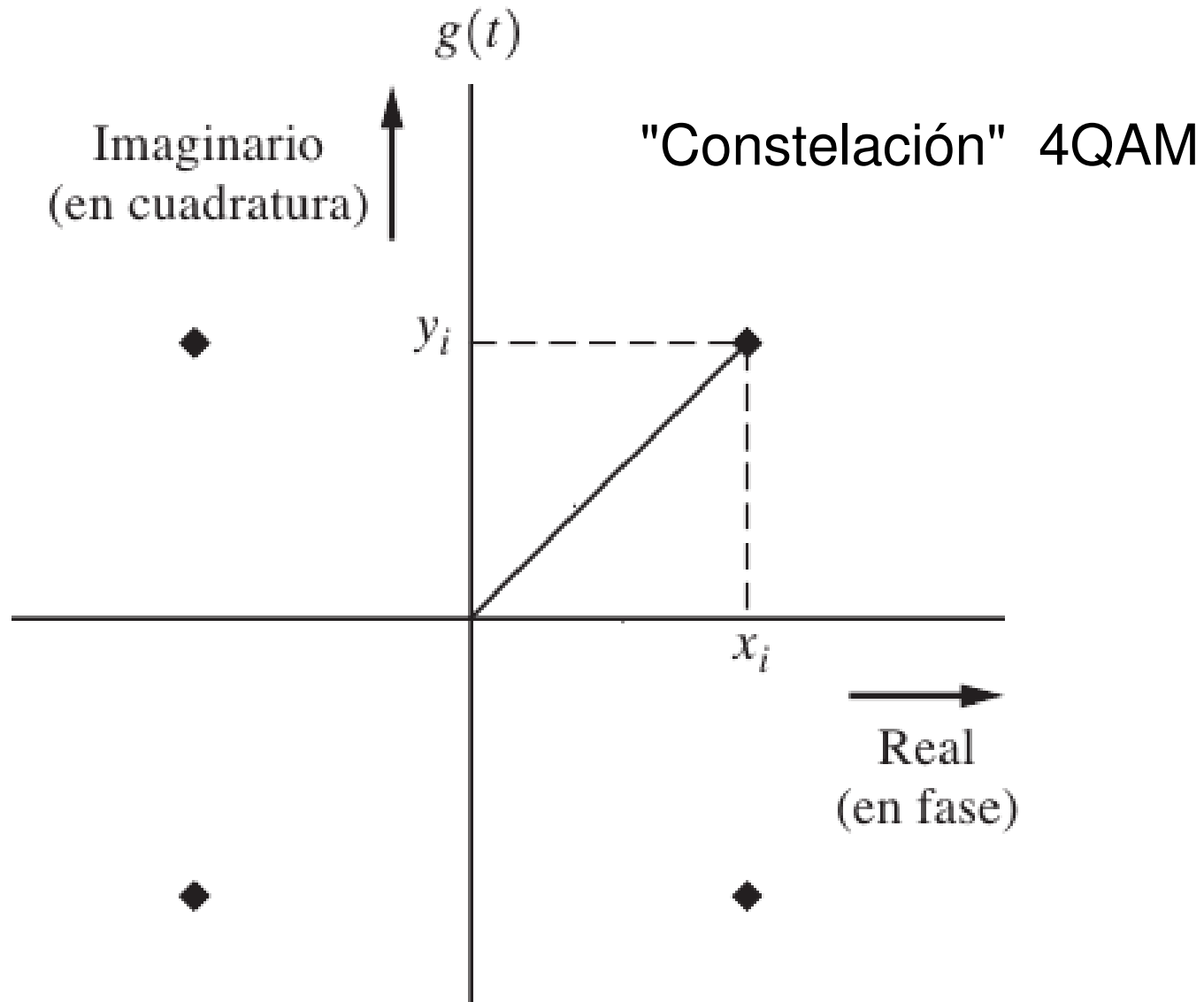


Figura 5–31 (b) (Couch-Cuevas-Romero)

Modulador para una constelación de señal rectangular

Modulación QAM



Tarea:

Averiguar dónde se emplean las modulaciones

- * BLU,
- * BPSK
- * QAM