

# Sistemas de Comunicación

## - Comunicaciones Digitales -

## - PSK -

Ph.D. Cristian Guarnizo Lemus

[cristianguarnizo@itm.edu.co](mailto:cristianguarnizo@itm.edu.co)

# Contenido – Desplazamiento de Fase

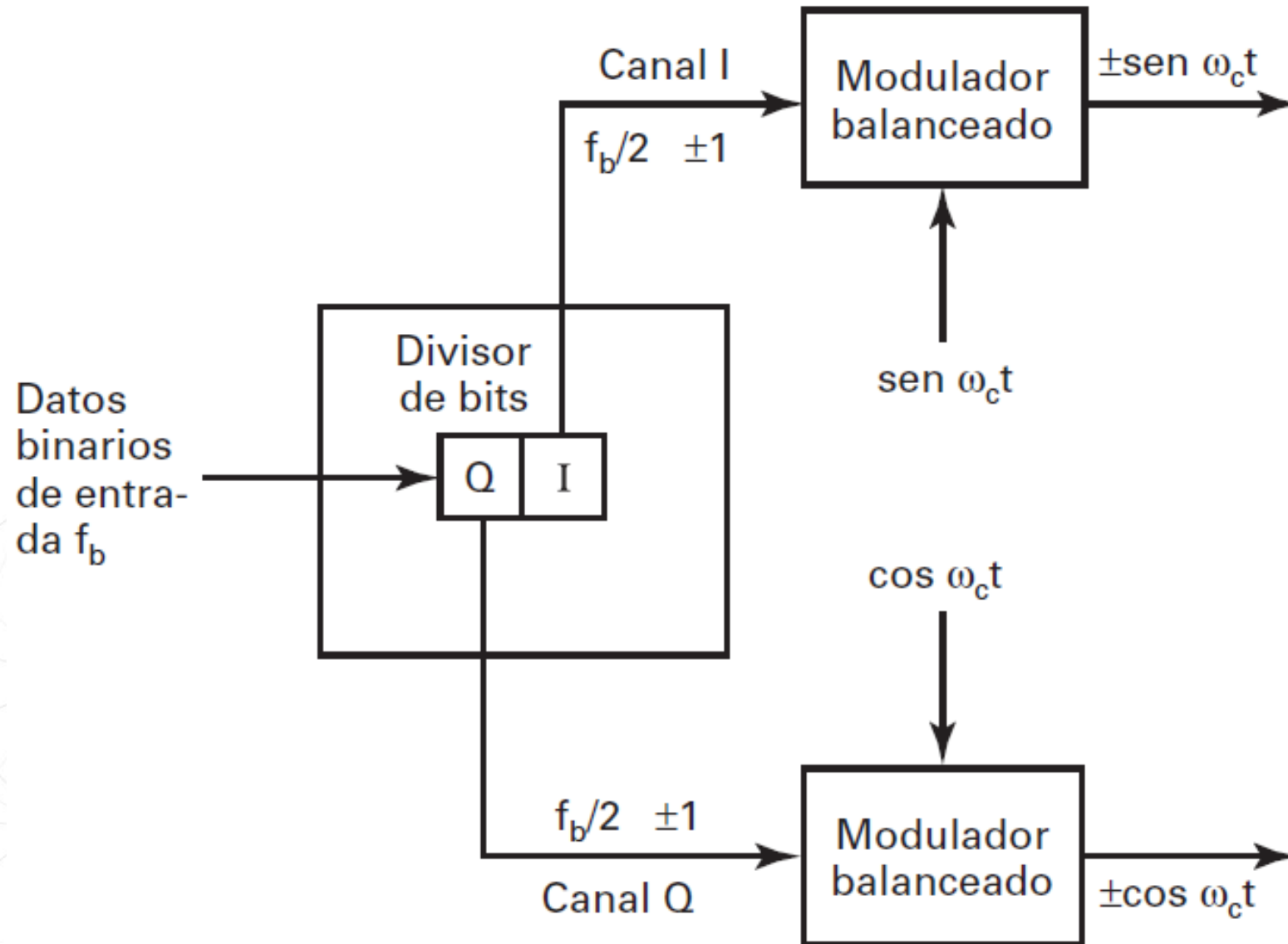
1. Ancho de Banda y Receptor QPSK
2. 8-PSK – PSK de ocho fases

# 1. Ancho de Banda QPSK

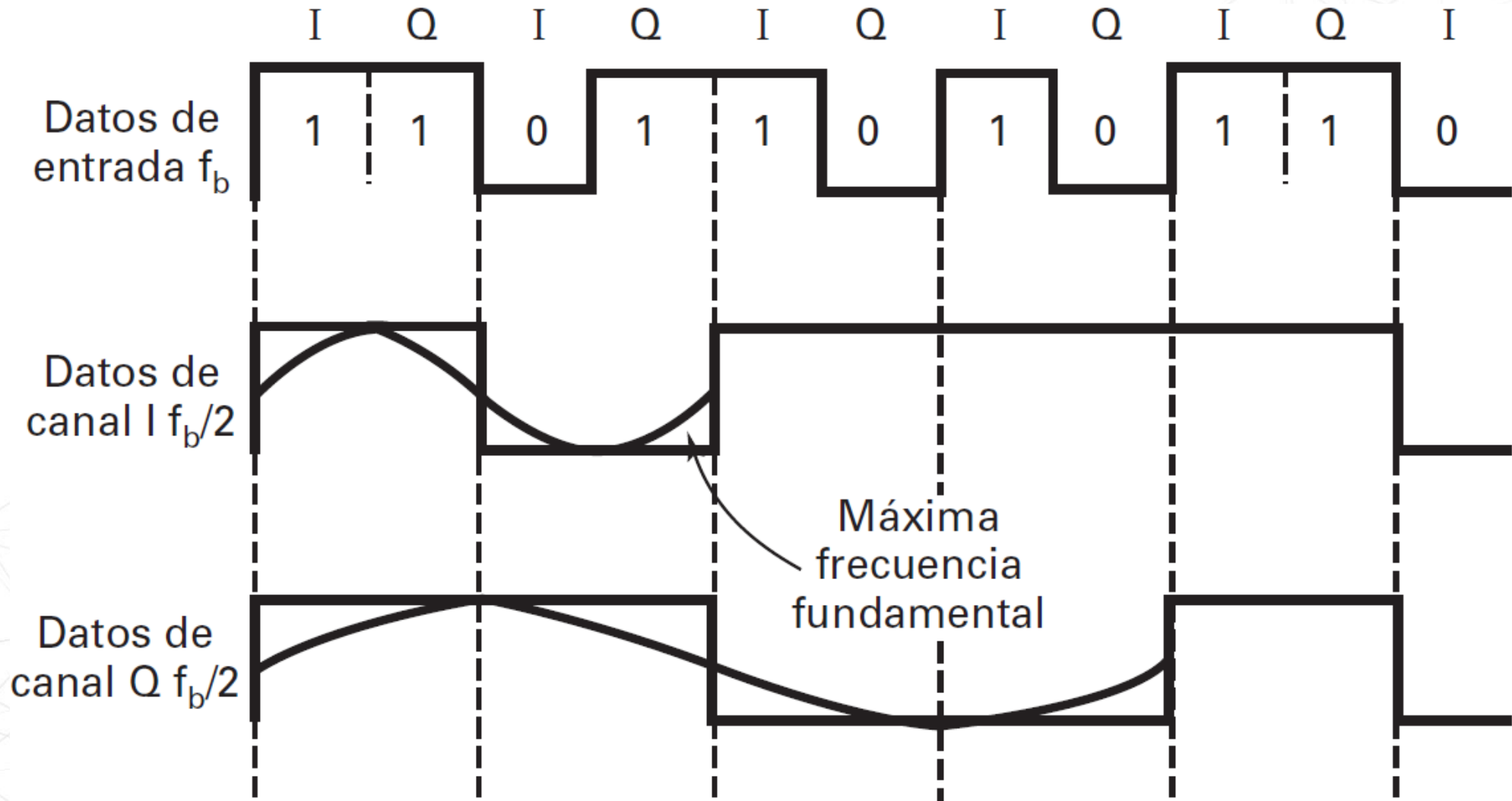
Como los datos de entrada se dividen en dos canales (I y Q), la rapidez de bits en cualquiera de los canales es igual a la mitad de la rapidez de entrada de bits,  $f_b/2$ .

En los canales I y Q aparece una secuencia alternativa de 1 y 0, cuando los datos de entrada son 1100. Entonces, la rapidez máxima de cambio  $f_a$  es igual a la cuarta parte de la rapidez de entrada binaria  $f_b$ .

# 1. Ancho de Banda QPSK



# 1. Ancho de Banda QPSK



# 1. Ancho de Banda QPSK

La salida de los moduladores balanceados se puede representar con la siguiente ecuación

$$\text{Salida QPSK} = [\sin(2\pi f_a t)] \times [\sin(2\pi f_c t)]$$

donde

$$\text{Salida QPSK} = \left[ \sin \left( 2\pi \frac{f_b}{4} t \right) \right] \times [\sin(2\pi f_c t)]$$

El ancho mínimo de banda es

$$\left( f_c + \frac{f_b}{4} \right) - \left( f_c - \frac{f_b}{4} \right) = \frac{2f_b}{4} = \frac{f_b}{2}$$



# 1. Ancho de Banda QPSK

Ejemplo (Tomasi, 12-5):

Calcular el ancho mínimo bilateral de Nyquist,  $f_N$  y los baudios, para un modulador QPSK con rapidez de entrada de datos  $f_b = 10\text{Mbps}$  y una frecuencia de portadora de 70 MHz. También comparar los resultados con los obtenidos con el modulador BPSK del ejemplo 12-3.

# 1. Ancho de Banda QPSK

Ejemplo (Tomasi, 12-5):

La rapidez de bits en los canales I y Q es igual a la mitad de la rapidez de transmisión de bits, es decir

$$f_{bQ} = f_{bI} = \frac{f_b}{2} = \frac{10\text{Mbps}}{2} = 5\text{Mbps}$$

La frecuencia fundamental máxima que se presenta en cualquiera de los moduladores balanceados es

$$f_a = \frac{f_{bQ}}{2} = \frac{f_{bI}}{2} = \frac{5\text{Mbps}}{2} = 2.5\text{Mbps}$$



# 1. Ancho de Banda QPSK

Ejemplo (Tomasi, 12-5):

La onda de salida de cada modulador balanceado

$$\sin(2\pi f_a t) \sin(2\pi f_c t)$$

$$\frac{1}{2} \cos(2\pi (f_c - f_a) t) - \frac{1}{2} \cos(2\pi (f_c + f_a) t)$$

$$\frac{1}{2} \cos(2\pi (67.5\text{MHz}) t) - \frac{1}{2} \cos(2\pi (72.5\text{MHz}) t)$$

# 1. Ancho de Banda QPSK

Ejemplo (Tomasi, 12-5):

El ancho mínimo de banda de Nyquist es

$$f_N = (67.5 - 72.5) \text{MHz} = 5 \text{MHz}$$

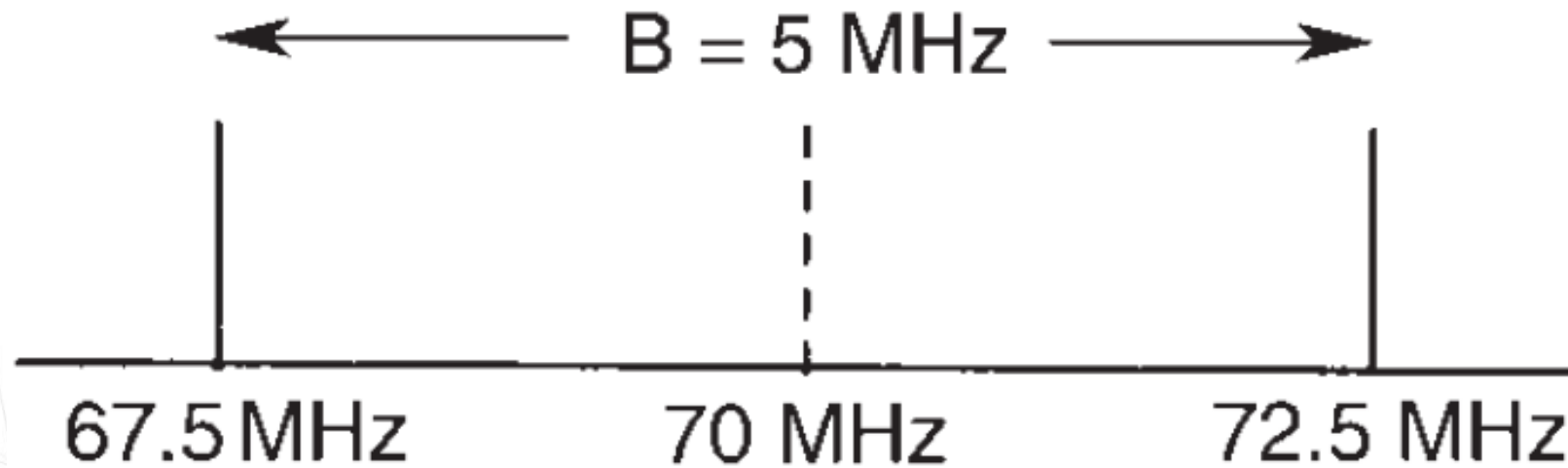
Recordar que también se puede calcular así

$$B = \frac{f_b}{\log_2(M)} = \frac{f_b}{N} = 5 \text{MHz}$$

La rapidez de símbolos es igual al ancho de banda, y entonces  
rapidez de simbolos = 5 megabaudios

# 1. Ancho de Banda QPSK

El espectro de salida es el siguiente



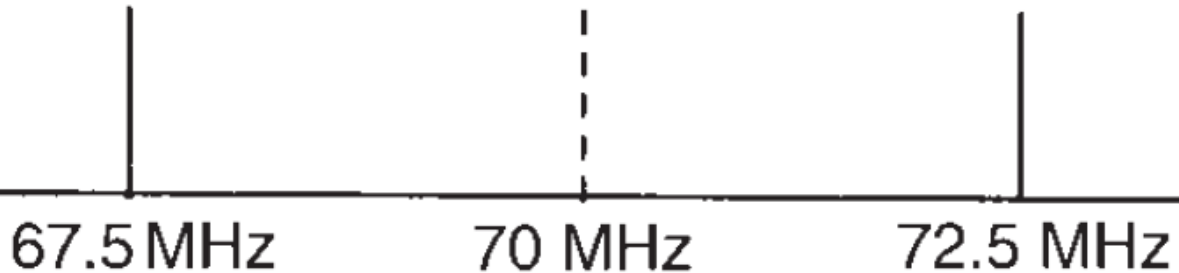
# 1. Ancho de Banda QPSK

Ejemplo (Tomasi, 12-5):

Para la misma rapidez de bits de entrada, el ancho mínimo de banda necesario para cada caso es

**QPSK**

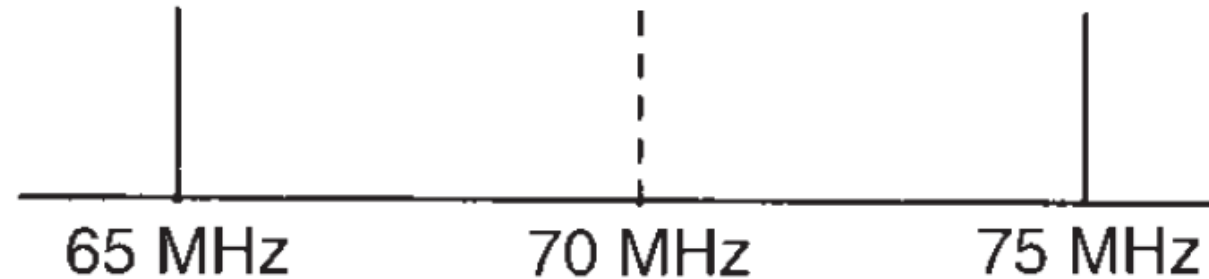
←  $B = 5 \text{ MHz}$  →



rap. de simbolos = 5Mbauds

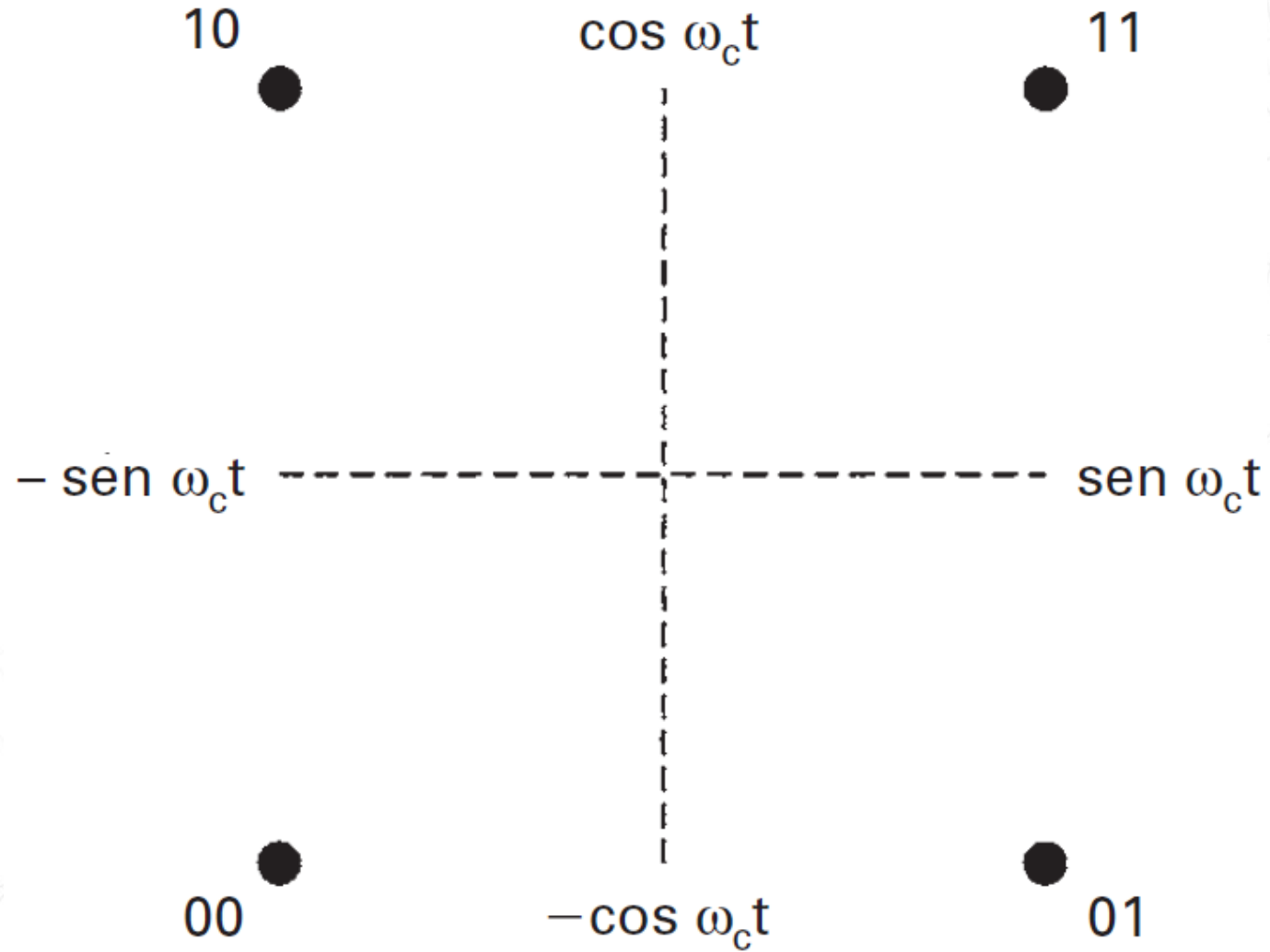
**BPSK**

←  $B = 10 \text{ MHz}$  →



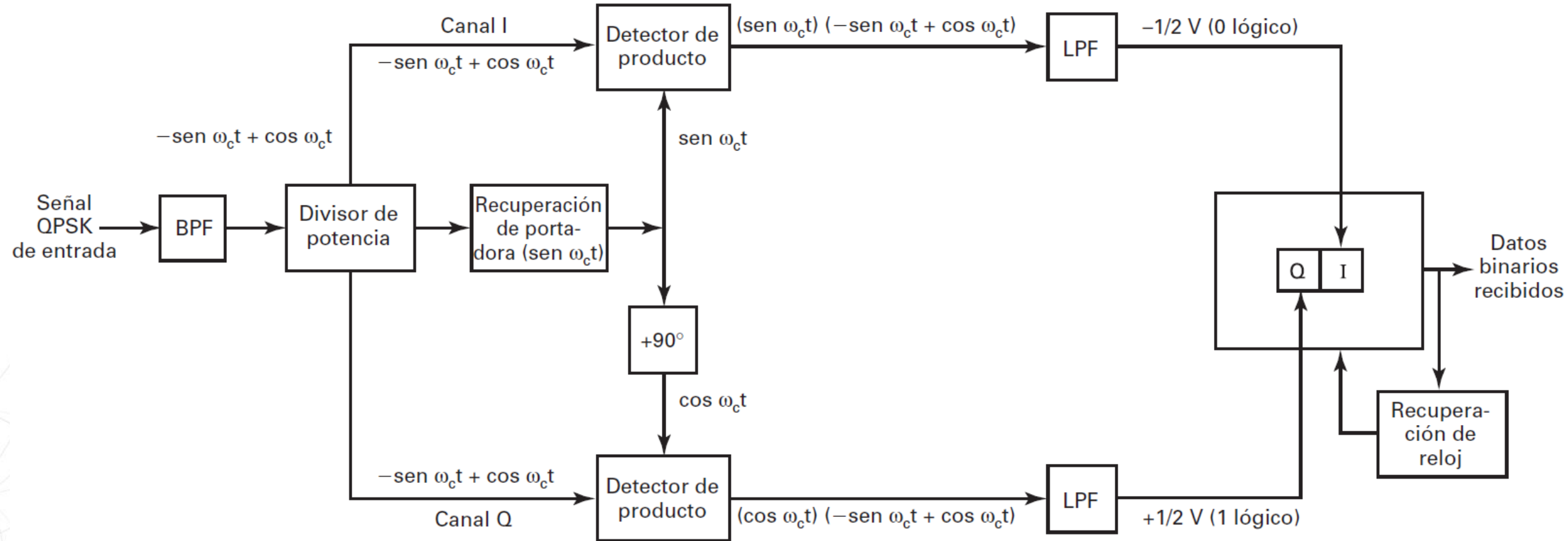
rap. de simbolos = 10Mbauds

# 1. Receptor QPSK





# 1. Receptor QPSK



# 1. Receptor QPSK

Supóngase que se recibe la señal:  $-\sin \omega_c t + \cos \omega_c t$ .  
Entonces en el canal de recepción I se expresa:

$$I = \begin{matrix} \text{Señal de entrada QPSK} \\ (-\sin \omega_c t + \cos \omega_c t) \end{matrix} \times \begin{matrix} \text{Portadora} \\ \sin \omega_c t \end{matrix}$$

$$= \sin^2(\omega_c t) + \cos(\omega_c t) \sin(\omega_c t)$$

$$= -\frac{1}{2} (1 - \cos(2\omega_c t)) + \frac{1}{2} \sin(2\omega_c t)$$

Se elimina por  
el LPF

$$= -\frac{1}{2} [V] \text{ (0 Lógico)}$$

# 1. Receptor QPSK

La misma señal pero en el canal Q:  $-\sin \omega_c t + \cos \omega_c t$ .  
Entonces en el canal de recepción I se expresa:

$$I = \begin{matrix} \text{Señal de entrada QPSK} \\ (-\sin \omega_c t + \cos \omega_c t) \end{matrix} \times \begin{matrix} \text{Portadora} \\ \cos \omega_c t \end{matrix}$$

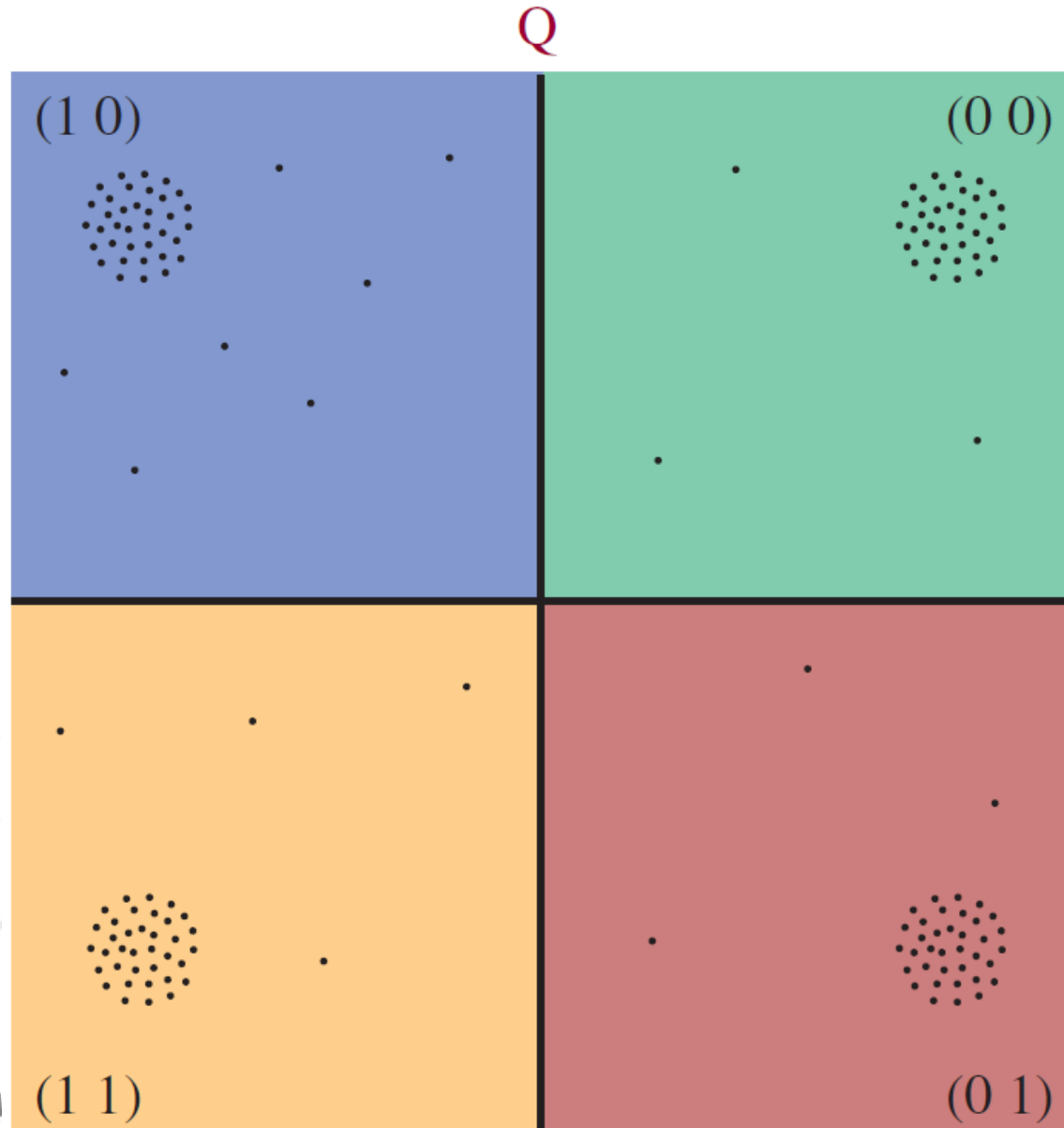
$$= \cos^2(\omega_c t) - \sin(\omega_c t) \cos(\omega_c t)$$

$$= \frac{1}{2} (1 + \cos(2\omega_c t)) - \frac{1}{2} \sin(2\omega_c t)$$

Se elimina por  
el LPF

$$= \frac{1}{2} [V] \text{ (1 Lógico)}$$

# 1. Receptor QPSK

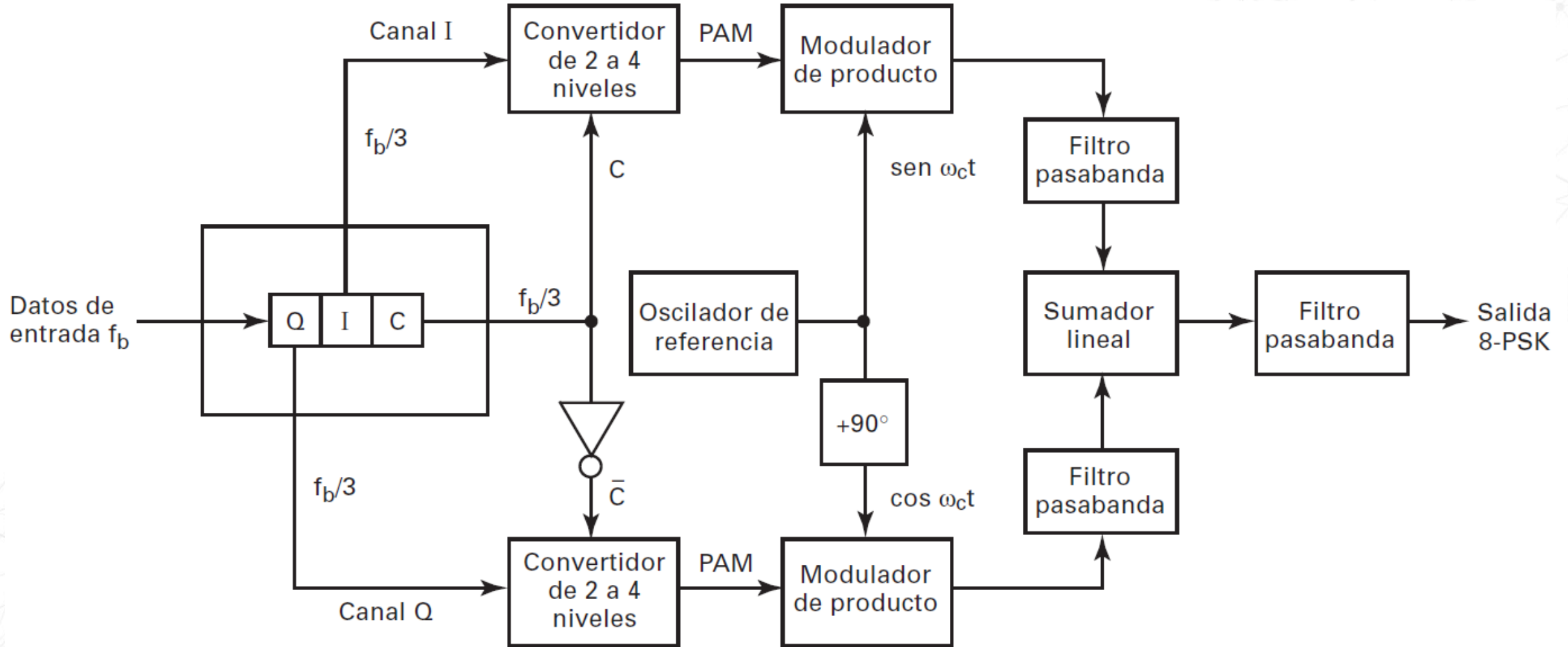


## 2. 8-PSK - De ocho fases

Es una técnica de codificación M-aria en la que  $M=8$ , entonces, existen 8 fases de salida. Para codificar dichas fases se necesita de  $N=3$  bits.



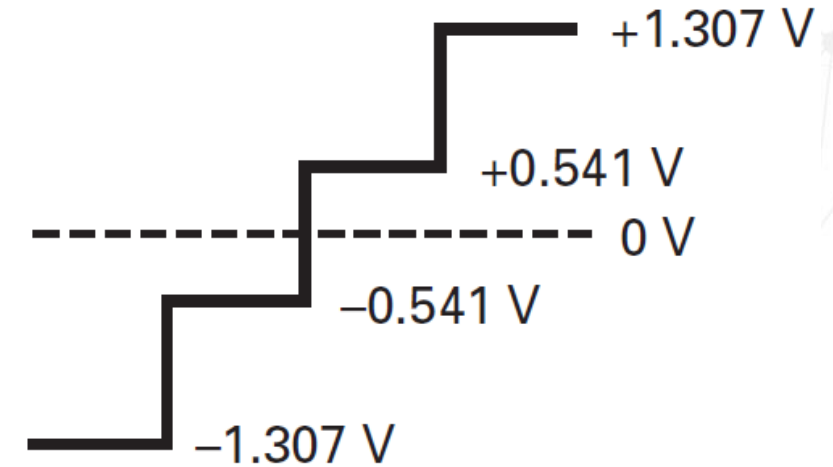
## 2. 8-PSK - De ocho fases



## 2. 8-PSK - De ocho fases

I	C	Salida
0	0	-0.541 V
0	1	-1.307 V
1	0	+0.541 V
1	1	+1.307 V

Q	$\bar{C}$	Salida
0	1	-1.307 V
0	0	-0.541 V
1	1	+1.307 V
1	0	+0.541 V



## 2. 8-PSK - De ocho fases

Ejemplo (Tomasi, 12-6):

Para un tribit de entrada de  $Q=0$ ,  $I=0$  y  $C=0$  (000), determinar la fase de salida para el modulador de 8-PSK de la figura anterior.

R://

Para  $I=0$  y  $C=0$  se tiene una salida = -0.541. Entonces en el canal I, se obtiene:  $I = (-0.514) \sin(\omega_c t)$ .

Para  $Q=0$  y  $/C=1$  se tiene una salida = -1.307. Entonces en el canal Q, se obtiene:  $I = (-1.307) \cos(\omega_c t)$ .

## 2. 8-PSK - De ocho fases

Ejemplo (Tomasi, 12-6):

Estas dos salidas se combinan en un sumador lineal, y producen la siguiente salida

$$\begin{aligned}\text{salida sumador} &= (-0.514) \sin(\omega_c t) + (-1.307) \cos(\omega_c t) \\ &= 1.41 \sin(\omega_c t - 112.5^\circ)\end{aligned}$$

$$\text{magnitud} = \sqrt{(-0.514)^2 + (-1.307)^2} = 1.41$$

$$\text{fase} = \tan^{-1} \left( \frac{1.307}{0.514} \right) - 180^\circ = 112.5^\circ$$

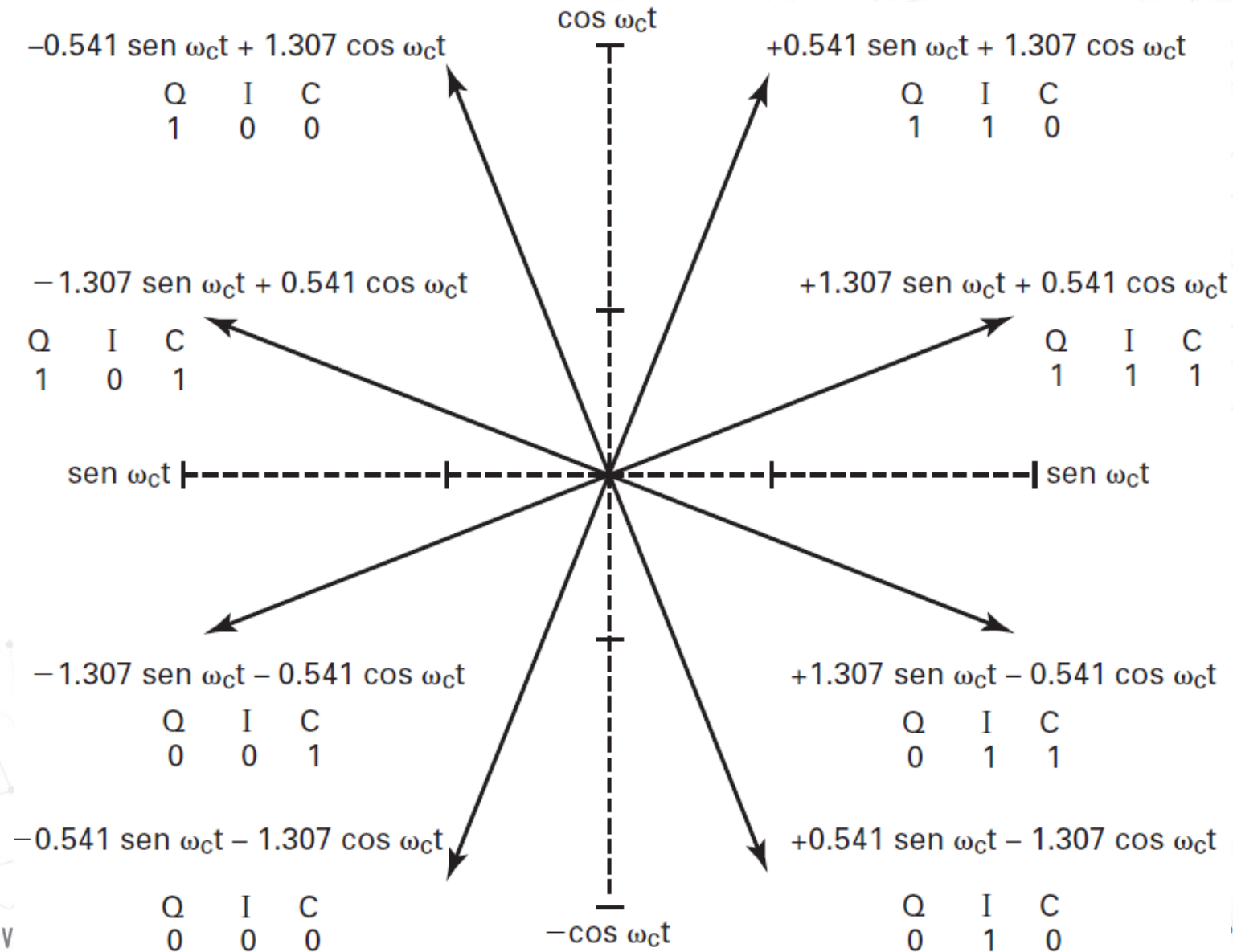
## 2. 8-PSK - De ocho fases

### Ejercicio:

Calcular la salida del sumador si QIC = 101.

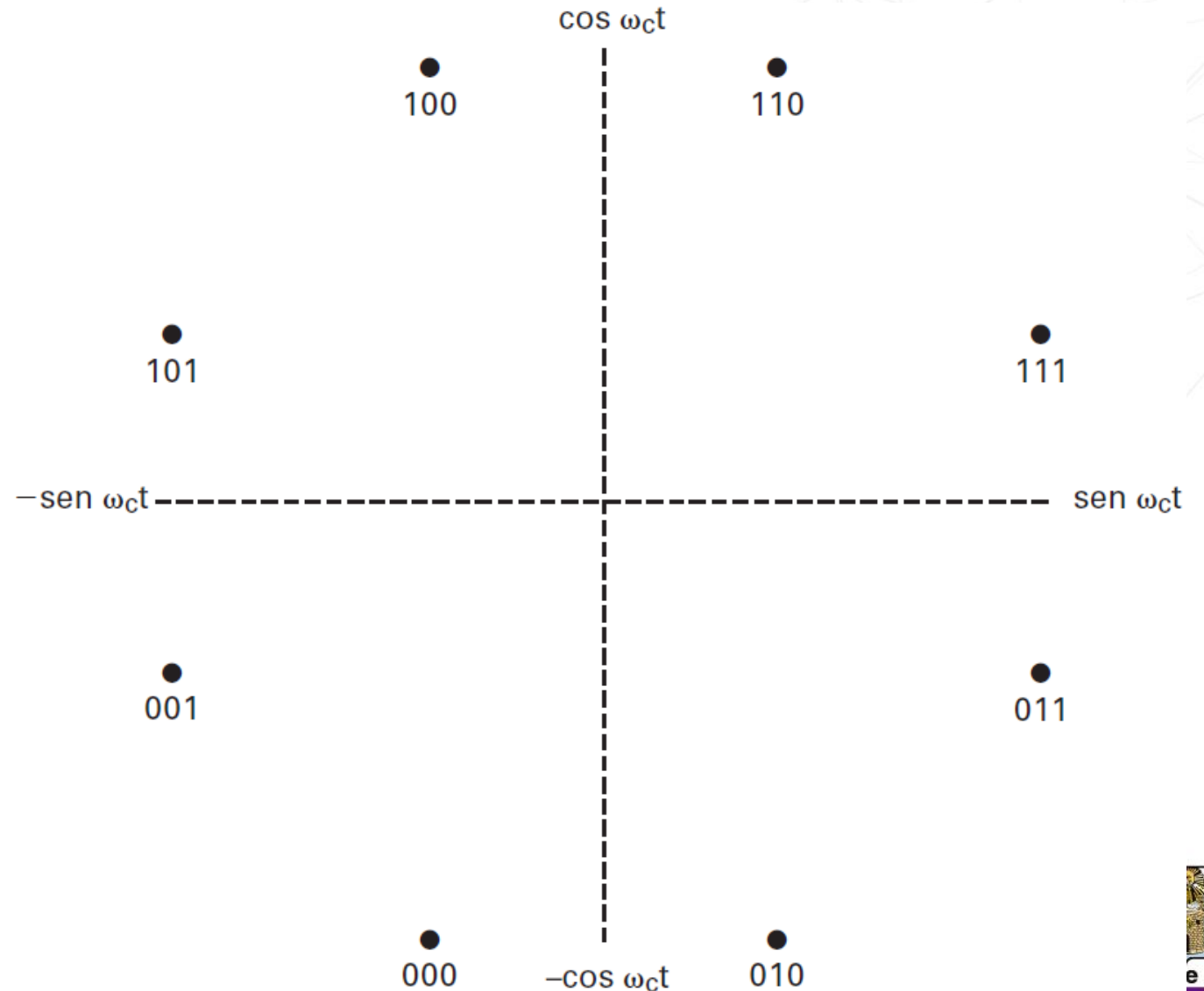


## 2. 8-PSK - De ocho fases

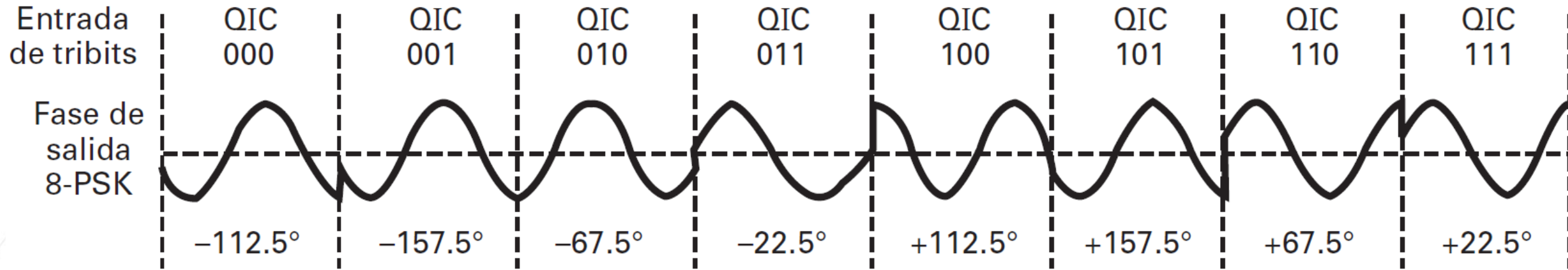


## 2. 8-PSK - De ocho fases

Entrada binaria			Fase de salida 8-PSK
Q	I	C	
0	0	0	$-112.5^\circ$
0	0	1	$-157.5^\circ$
0	1	0	$-67.5^\circ$
0	1	1	$-22.5^\circ$
1	0	0	$+112.5^\circ$
1	0	1	$+157.5^\circ$
1	1	0	$+67.5^\circ$
1	1	1	$+22.5^\circ$



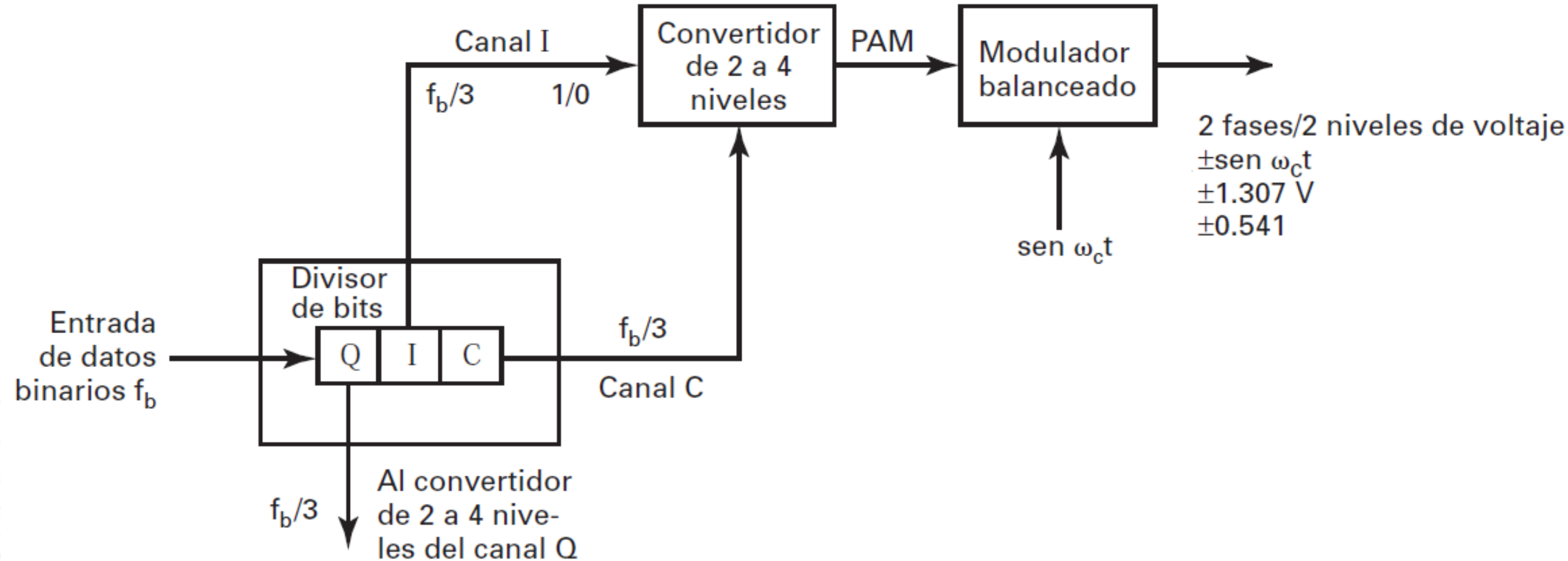
## 2. 8-PSK - De ocho fases



## 2. 8-PSK - Ancho de Banda

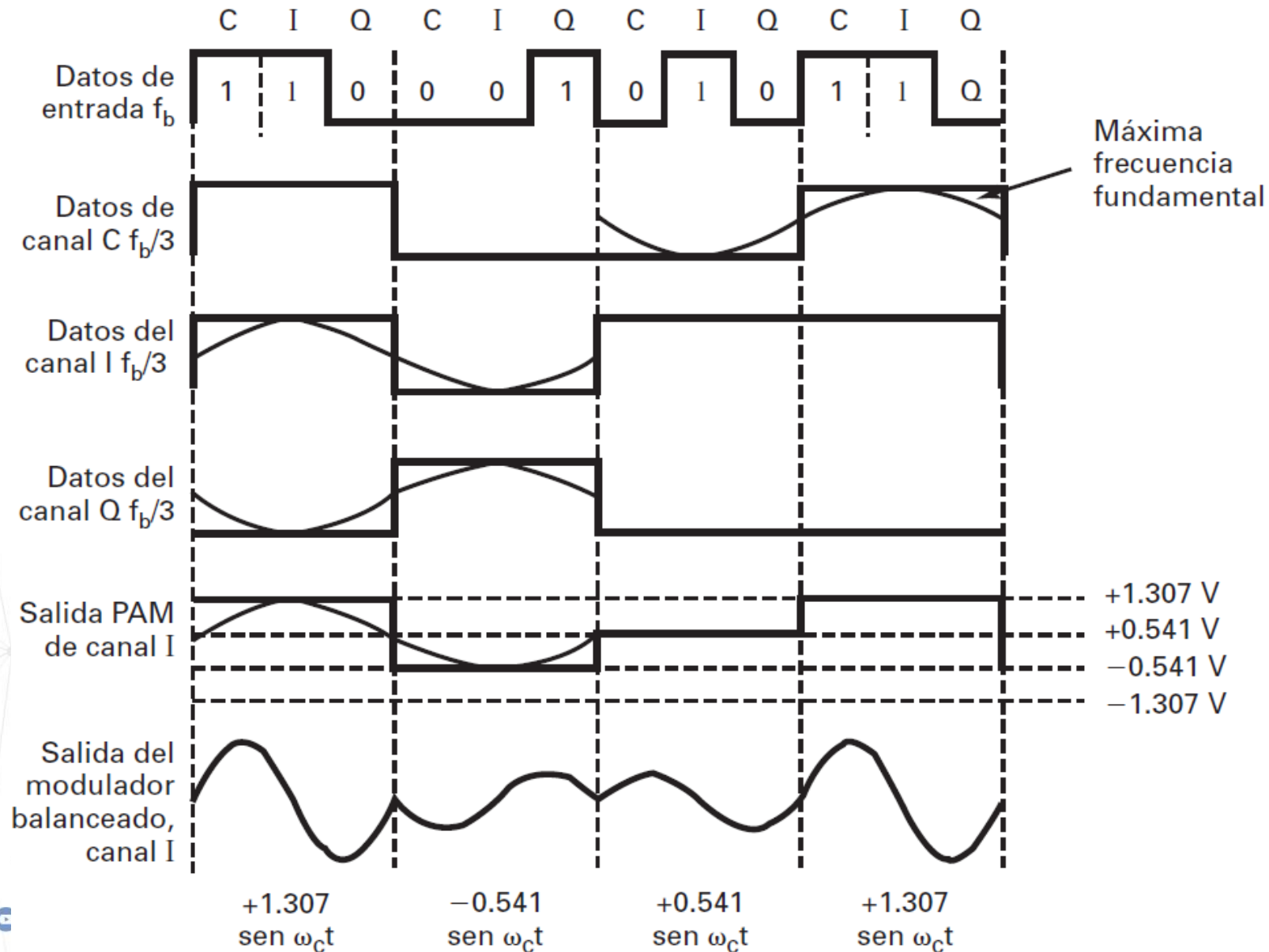
Debido que los datos se dividen en tres canales, la rapidez de bits en el canal, I, Q o C es igual a un tercio de la rapidez de entrada de datos binarios,  $f_b/3$ .

## 2. 8-PSK - Ancho de Banda





## 2. 8-PSK - Ancho de Banda



## 2. 8-PSK - Ancho de Banda

La frecuencia fundamental máxima en el canal I, Q o C, es igual a la sexta parte de la rapidez de bits en la entrada binaria (un ciclo en el canal I, Q o C, tarda lo mismo que seis bits de entrada).

Los baudios en el 8-PSK son  $f_b/3$  al igual que el ancho mínimo de banda.

## 2. 8-PSK - Ancho de Banda

Sus salidas son igual al producto de la portadora por la señal PAM:

$$\begin{aligned} \text{salida} &= X \sin(\omega_a t) \sin(\omega_c t) \quad \omega_a = 2\pi \frac{f_b}{6} \\ \text{salida} &= X \sin\left(2\pi \frac{f_b}{6} t\right) \sin(2\pi f_c t) \\ &= \frac{X}{2} \cos\left(2\pi \left[f_c - \frac{f_b}{6}\right] t\right) - \frac{X}{2} \cos\left(2\pi \left[f_c + \frac{f_b}{6}\right] t\right) \end{aligned}$$

Entonces el ancho de banda mínimo es  $f_b/3$ .

## 2. 8-PSK - De ocho fases

Ejemplo (Tomasi, 12-7):

Calcular el ancho de banda mínimo y los baudios para un modulador 8-PSK con una rapidez de entrada de  $f_b=10\text{Mbps}$  y una frecuencia de portadora de 70MHz.

$$f_{bC} = f_{bQ} = f_{bI} = \frac{10\text{Mbps}}{3} = 3.33\text{Mbps}$$

$$f_a = \frac{10\text{Mbps}}{6} = 1.667 \text{ Mbps}$$

## 2. 8-PSK - Ancho de banda

Ejemplo (Tomasi, 12-7):

La onda de salida de los moduladores balanceados es.

$$\begin{aligned} &= \frac{X}{2} \cos(2\pi[f_c - f_a]t) - \frac{X}{2} \cos(2\pi[f_c + f_a]t) \\ &= \frac{X}{2} \cos(2\pi[70 - 1.667]t) - \frac{X}{2} \cos(2\pi[70 + 1.667]t) \\ &= \frac{X}{2} \cos(2\pi[68.333]t) - \frac{X}{2} \cos(2\pi[71.667]t) \end{aligned}$$



## 2. 8-PSK - Ancho de banda

Ejemplo (Tomasi, 12-7):

El ancho mínimo de banda es

$$= \frac{X}{2} \cos(2\pi[68.333]t) - \frac{X}{2} \cos(2\pi[71.667]t)$$

$$f_N = 71.667 - 68.333 = 3.333 \text{ MHz}$$

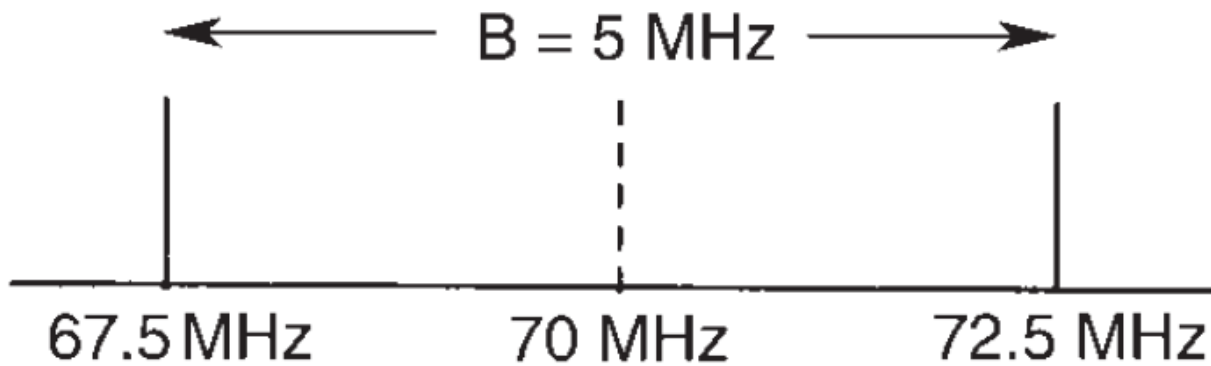
$$B = \frac{10 \text{ Mbps}}{3} = 3.33 \text{ MHz}$$

$$\text{baudios} = B = 3.33 \text{ Mbps}$$



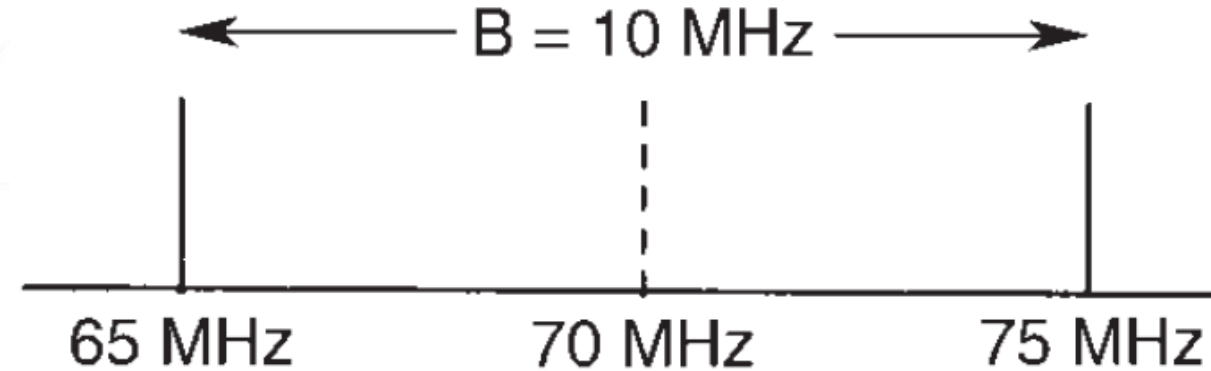
## 2. 8-PSK - Ancho de banda

QPSK



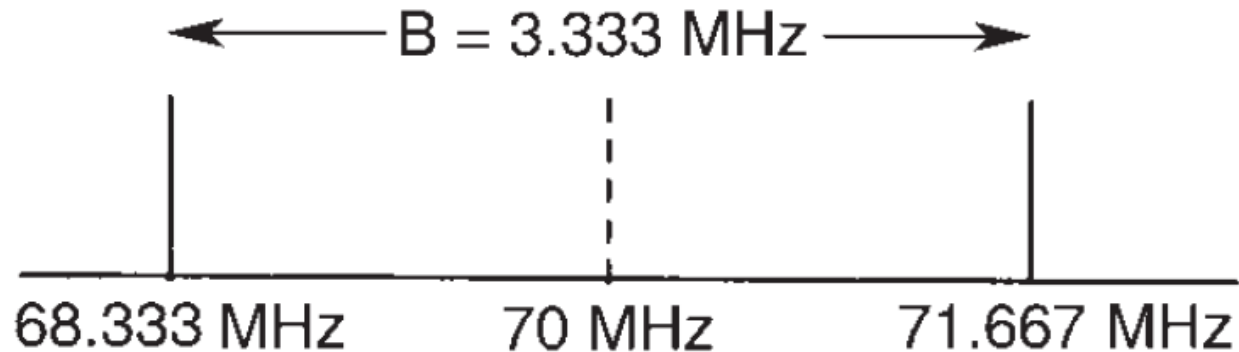
rap. de simbolos = 5Mbauds

BPSK



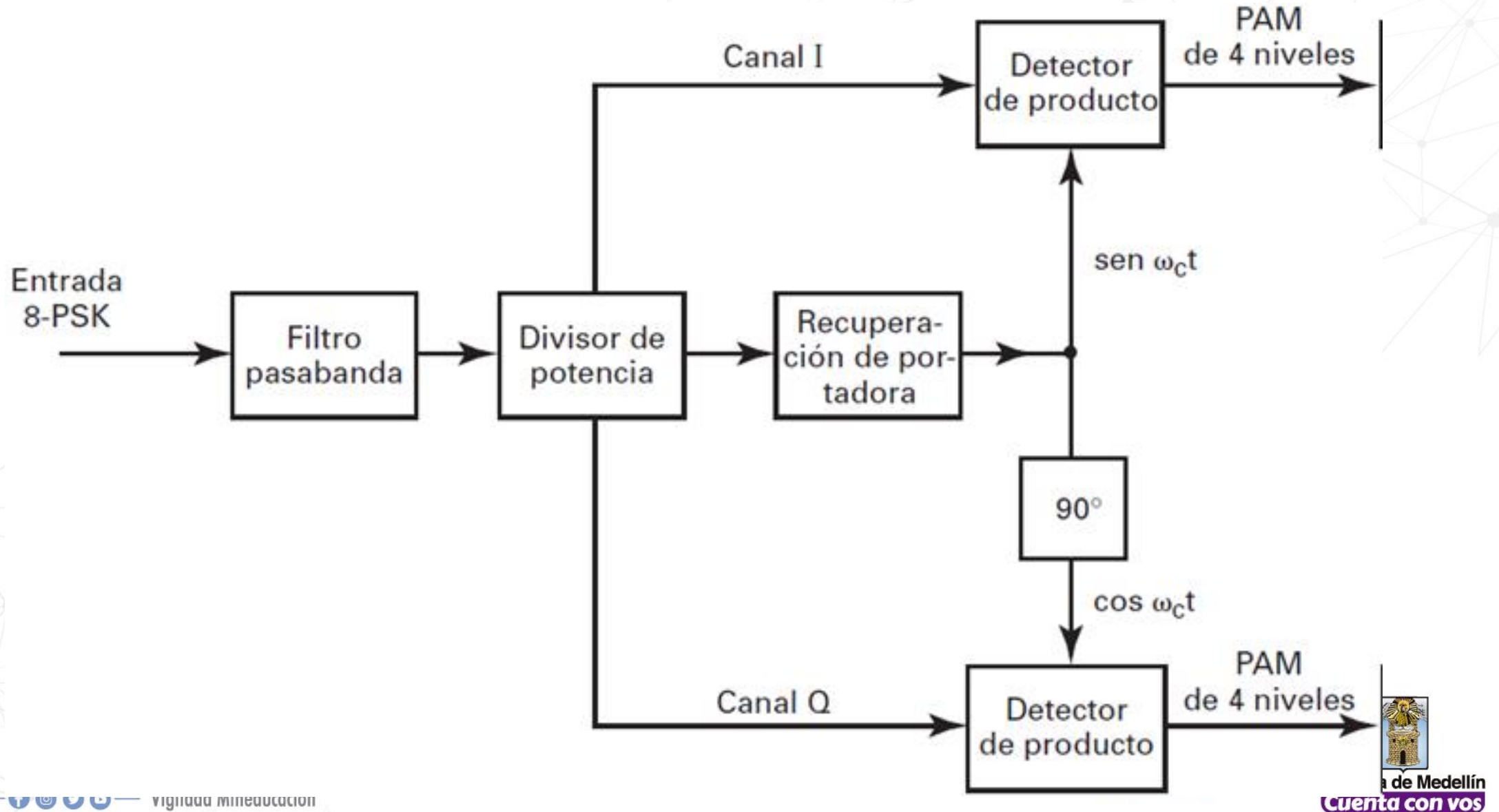
rap. de simbolos = 10Mbauds

8-PSK

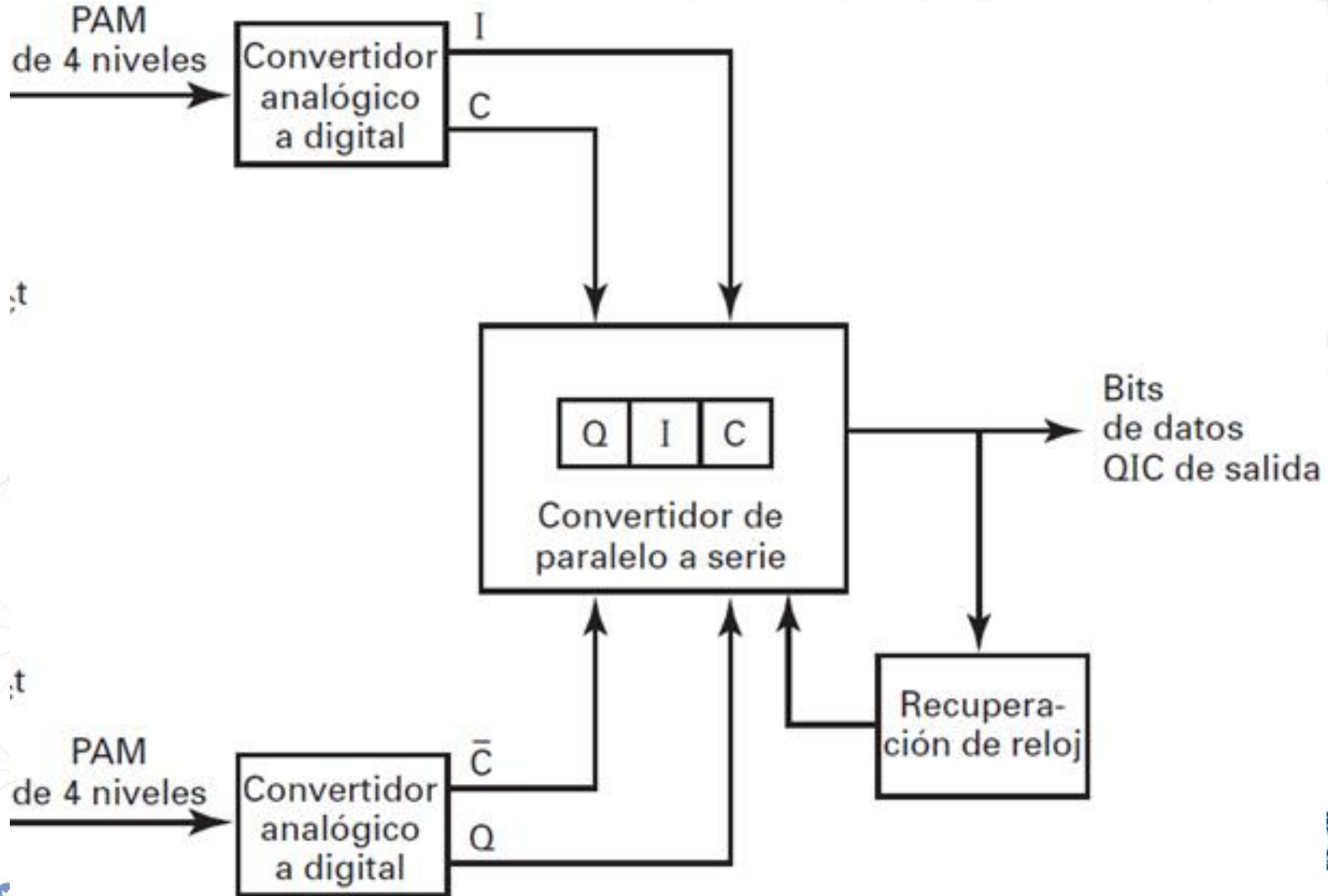


rap. de simbolos = 3.33Mbauds

## 2. 8-PSK - Detector



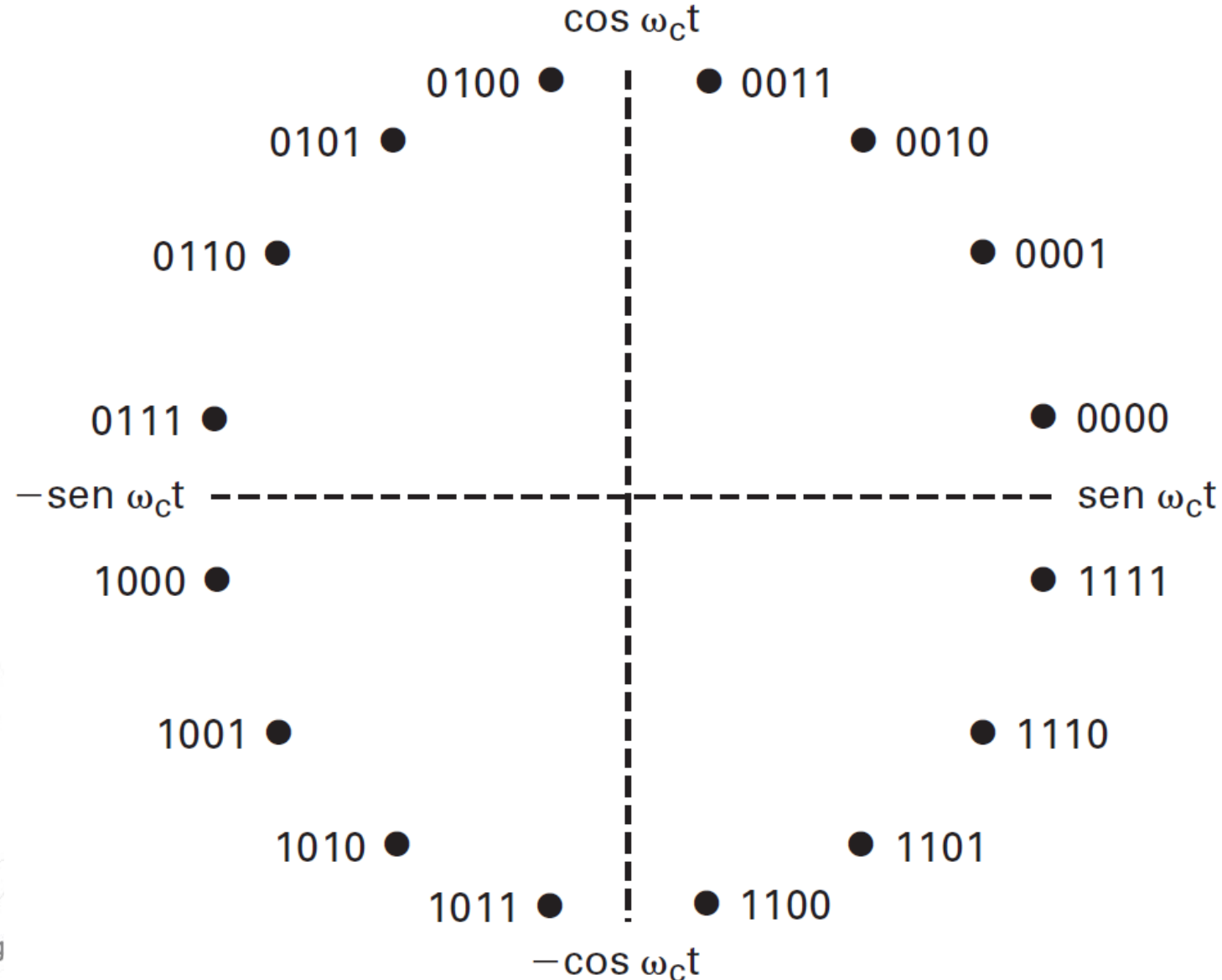
## 2. 8-PSK - Detector



### 3. 16-PSK - Detector

Bits de código	Fase	Bits de código	Fase
0000	11.25°	1000	191.25°
0001	33.75°	1001	213.75°
0010	56.25°	1010	236.25°
0011	78.75°	1011	258.75°
0100	101.25°	1100	281.25°
0101	123.75°	1101	303.75°
0110	146.25°	1110	326.25°
0111	168.75°	1111	348.75°

# 3. 16-PSK - Detector



### 3. General

$$v(t) = V \sin \left( \omega_c t + \frac{2\pi(i-1)}{M} \right)$$

$i = 1, 2, \dots, M$

$M = 2^N$  numero de estados de fase posibles.

$N$  = numero de bits.

$\omega_c$  = velocidad angular de la portadora.



- BLAKE, Roy. (2004). Sistemas electrónicos de comunicaciones. Thomson.
- TOMASÍ, Wayne. (2003) Sistemas de Comunicaciones Electrónicas. 4ª ed. Prentice Hall.
- FRENZEL, Louis. (2016) Principles of Electronic Communication Systems. 4<sup>th</sup> Edition.