

Modulación Digital MultiBit

Comunicación Digital

Sumario

- Técnicas de Modulación M-arias, Utilidad y Características
- Modulación por Desplazamiento Cuaternario de Fase (QPSK)
- Modulación PSK de 8 Fases
- Modulación de Amplitud en Cuadratura (QAM)
- Modulación 8-QAM
- Modulación 16-QAM



Modulaciones M-arias

- Las técnicas de modulación digital hasta ahora estudiadas solo empleaban un bit cada vez para modular la señal portadora.
- Cada bit de entrada, produce una portadora modulada en amplitud, frecuencia o fase, durante el tiempo de duración de cada bit.



Modulaciones M-arias

- A continuación se analizan otras técnicas que emplean combinaciones de más de un bit cada vez, para producir un cambio en la señal portadora.
- De esta manera, cada cambio de algún parámetro de la portadora, representa más de un bit de señal modulante cada vez.



Modulaciones M-arias

- M-ario es un término derivado de la palabra binario. “M” es un número que representa la cantidad de condiciones o combinaciones posibles para la agrupación binaria que se considere.
- Los sistemas FSK y BPSK son M-arios en los que $M=2$ (Binario, dos combinaciones posibles).



Modulaciones M-arias

- ϕ Con la modulación M-aria se logra tener mayores velocidades, debido a que un solo evento de portadora representa más de un bit.
- ϕ Por ejemplo, un sistema PSK con cuatro fases de salidas posibles, es un sistema M-ario en el que $M=4$ y se denota como 4-PSK.



Modulaciones M-arias

- La cantidad de condiciones de salida se calcula con la ecuación:

$$N = \log_2(M)$$

- Donde:

N= Cantidad de bits Codificados

M= Cantidad de condiciones o combinaciones posibles de salida con N bits.



Modulaciones M-arias

- La cantidad de condiciones posibles de salida para varios valores de N se muestran en la siguiente tabla:

N	M
1	2
2	4
3	8
4	16
5	32



Modulaciones M-arias

- El ancho de banda mínimo necesario para pasar portadoras M-arias moduladas digitalmente, se determina con la siguiente ecuación:

$$B = \frac{f_b}{\log_2(M)}$$

- B=Ancho de banda mínimo
- fb= rapidez de entrada en bps
- M=Cantidad de estados de salida



Modulación por Desplazamiento Cuaternario de Fase (QPSK)



Manipulación por Desplazamiento Cuaternario de Fase (QPSK)

- Es una forma de manipulación digital angular de amplitud constante.
- La QPSK es una técnica M-aria de modulación con $M=4$.
- Con esta codificación, son posibles cuatro fases de salida para la señal portadora.

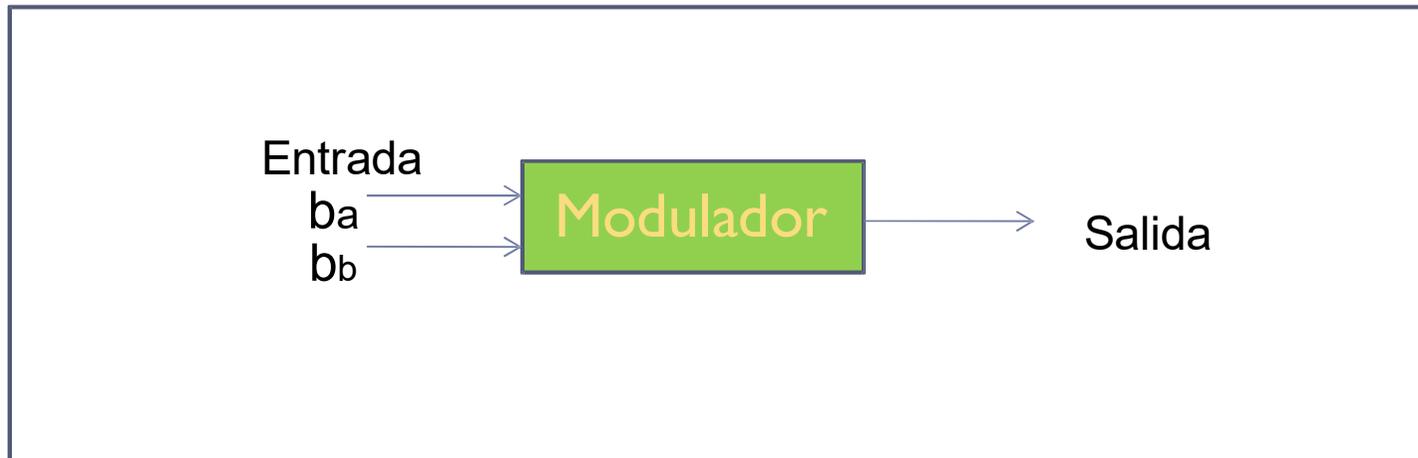


Manipulación por Desplazamiento Cuaternario de Fase (QPSK)

- Como hay cuatro fases distintas de salida, debe haber 4 condiciones distintas de entrada.
- Su entrada es binaria, para producir 4 condiciones distintas se necesita más de un bit de entrada.
- Con 2 bits hay cuatro condiciones posibles: 00, 01, 10, 11.



Manipulación por Desplazamiento Cuaternario de Fase (QPSK)

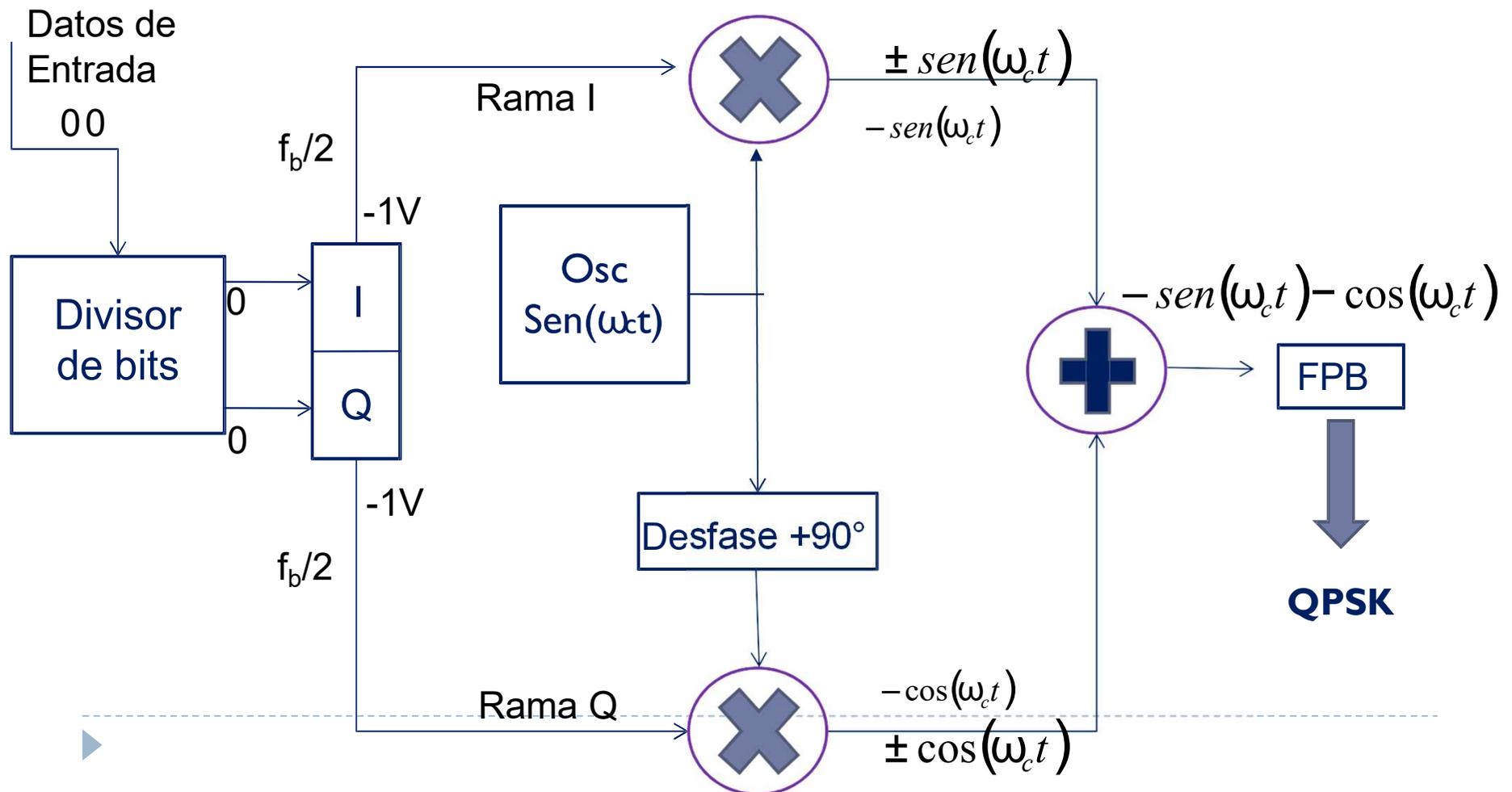


Los datos binarios de entrada se combinan en grupos de 2 bits cada vez, llamados dibits. Cada dibits genera una de las 4 fases posibles.



Manipulación por Desplazamiento Cuaternario de Fase (QPSK)

- Diagrama de un modulador QPSK



Manipulación por Desplazamiento Cuaternario de Fase (QPSK)

FUNCIONAMIENTO:

- Dos bits se sincronizan en el divisor de bits, después de haber entrado ambos bits en serie, salen en forma simultánea (en paralelo). Un bit se dirige al canal I y el otro al canal Q.
- El bit I modula a la portadora en fase mientras que el bit Q modula la portadora luego de desfasarla en 90° grados.



Manipulación por Desplazamiento Cuaternario de Fase (QPSK)

FUNCIONAMIENTO:

- Se puede ver que una vez que el dicit se ha dividido en los canales I y Q, la operación es igual que en un modulador BPSK.
- En esencia un modulador QPSK son dos moduladores BPSK en paralelo. De igual manera:

+1 V = "1" lógico

-1 V = "0" lógico

Tabla de la Verdad



Manipulación por Desplazamiento Cuaternario de Fase (QPSK)

- Son posibles dos fases a la salida del modulador balanceado I, dependiendo del bit de entrada:

$$+1 * \text{sen}(\omega_c t) \quad \text{o} \quad -1 * \text{sen}(\omega_c t)$$

- También son posible dos fases a la salida del modulador balanceado Q:

$$+1 * \text{cos}(\omega_c t) \quad \text{o} \quad -1 * \text{cos}(\omega_c t)$$



Manipulación por Desplazamiento Cuaternario de Fase (QPSK)

- Cuando el sumador lineal combina las dos señales en cuadratura, es decir, desfasadas 90° , hay cuatro fasores resultantes posibles, definidos por las siguientes expresiones.

$$\begin{array}{l} +1 * \text{sen}(\omega_c t) + 1 * \text{cos}(\omega_c t) \\ +1 * \text{sen}(\omega_c t) - 1 * \text{cos}(\omega_c t) \\ -1 * \text{sen}(\omega_c t) + 1 * \text{cos}(\omega_c t) \\ -1 * \text{sen}(\omega_c t) - 1 * \text{cos}(\omega_c t) \end{array}$$

Todas las funciones trigonométricas tienen amplitud unitaria por conveniencia.



Manipulación por Desplazamiento Cuaternario de Fase (QPSK)

- En la modulación QPSK cada uno de los cuatro fasores posibles de salida, tienen exactamente la misma amplitud, solo se diferencian en la fase que posee cada uno.

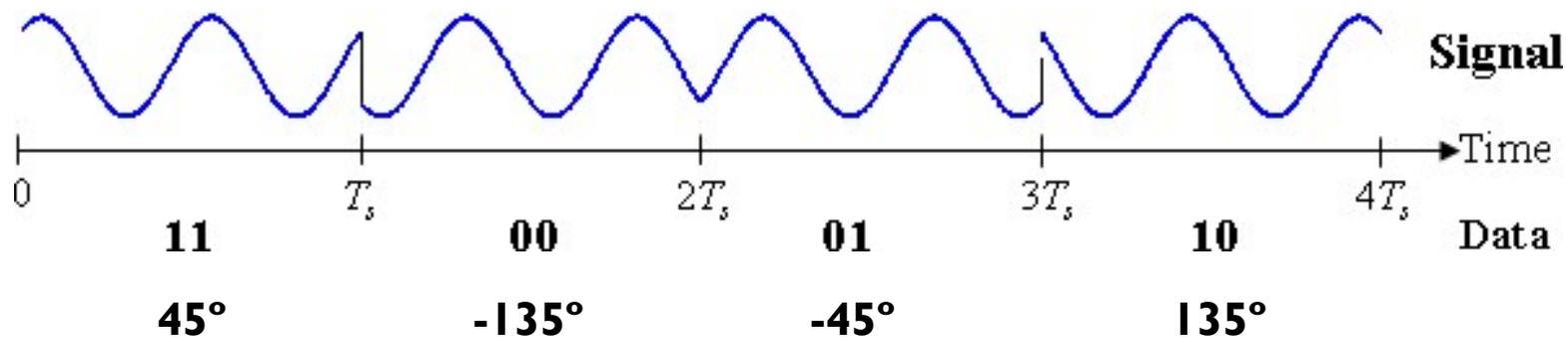
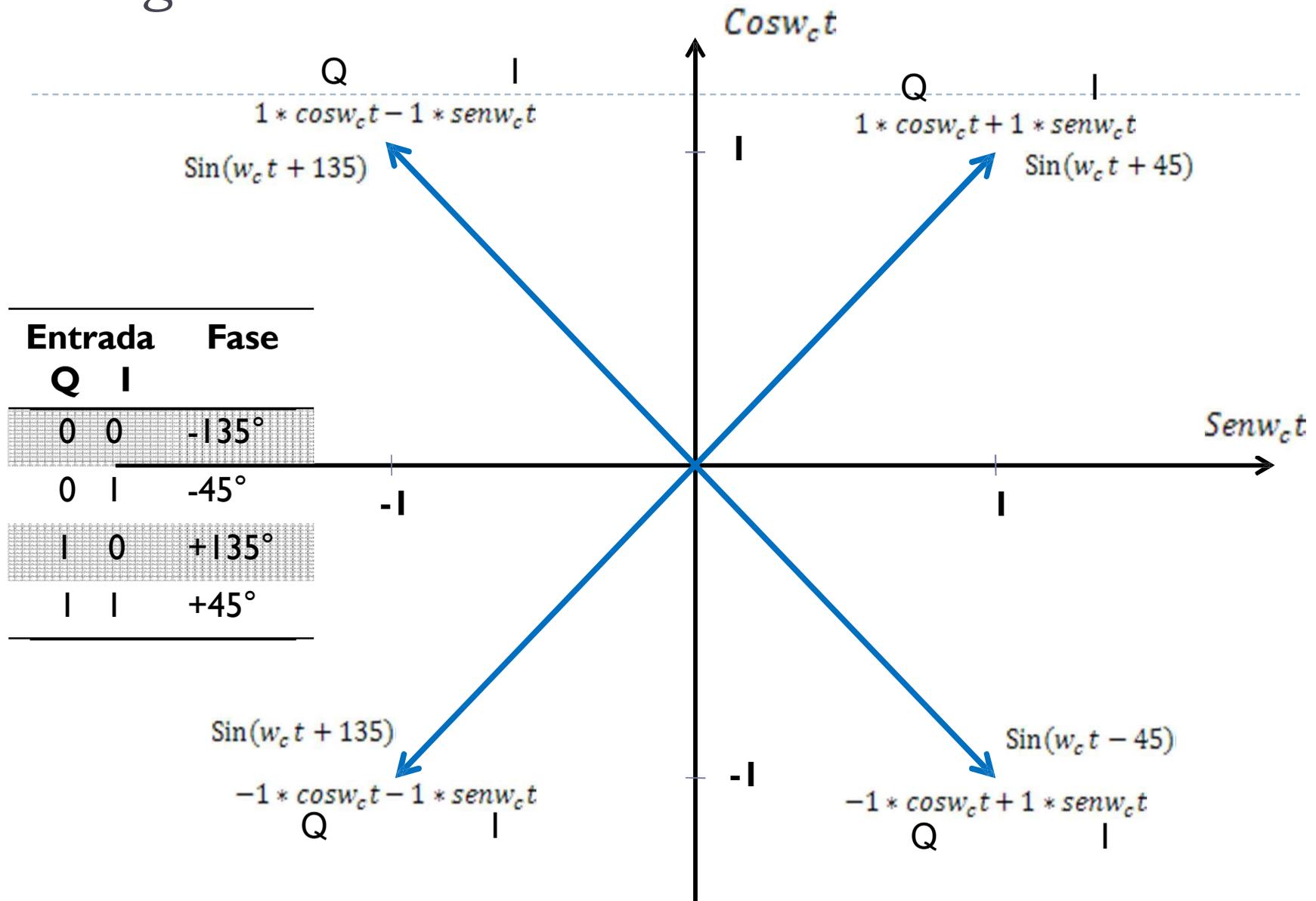


Diagrama Fasorial

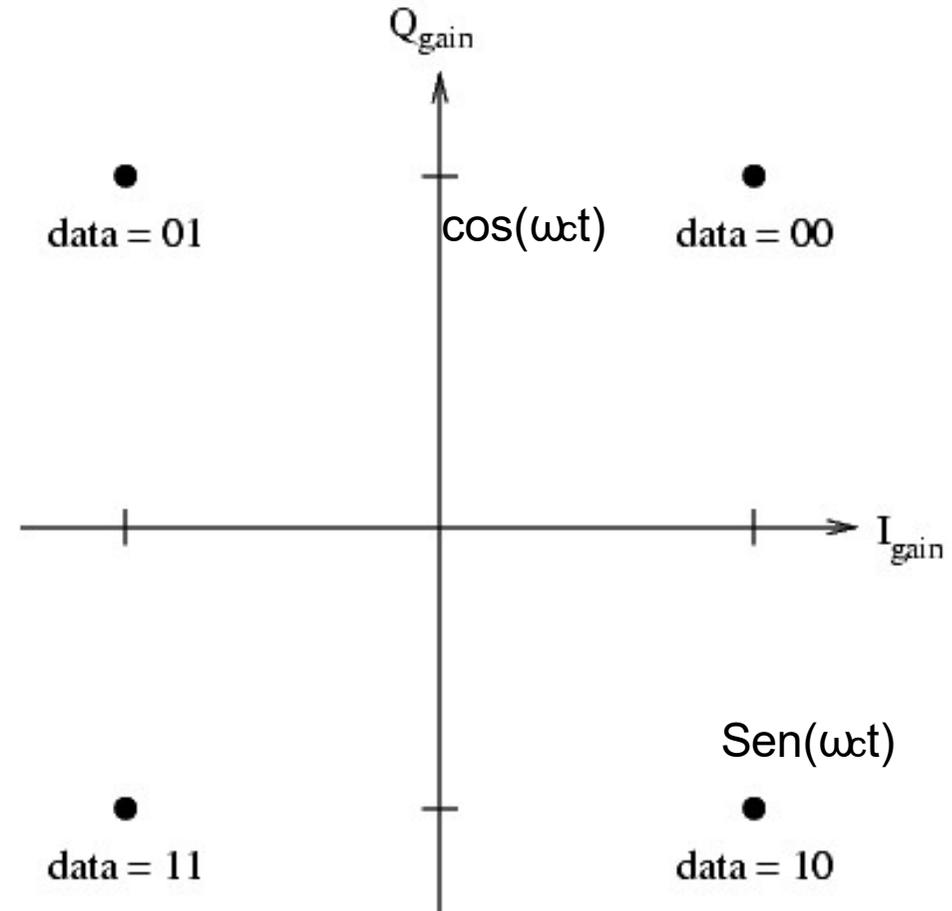


Manipulación por Desplazamiento Cuaternario de Fase (QPSK)

- Constelación para QPSK

Entrada		Fase
Q	I	
0	0	-135°
0	1	-45°
1	0	+135°
1	1	+45°

Debe recordarse que los ejes se referencian según: eje "X" como $\text{Sen } \omega_c t$ y eje "Y" como $\text{Cos } \omega_c t$



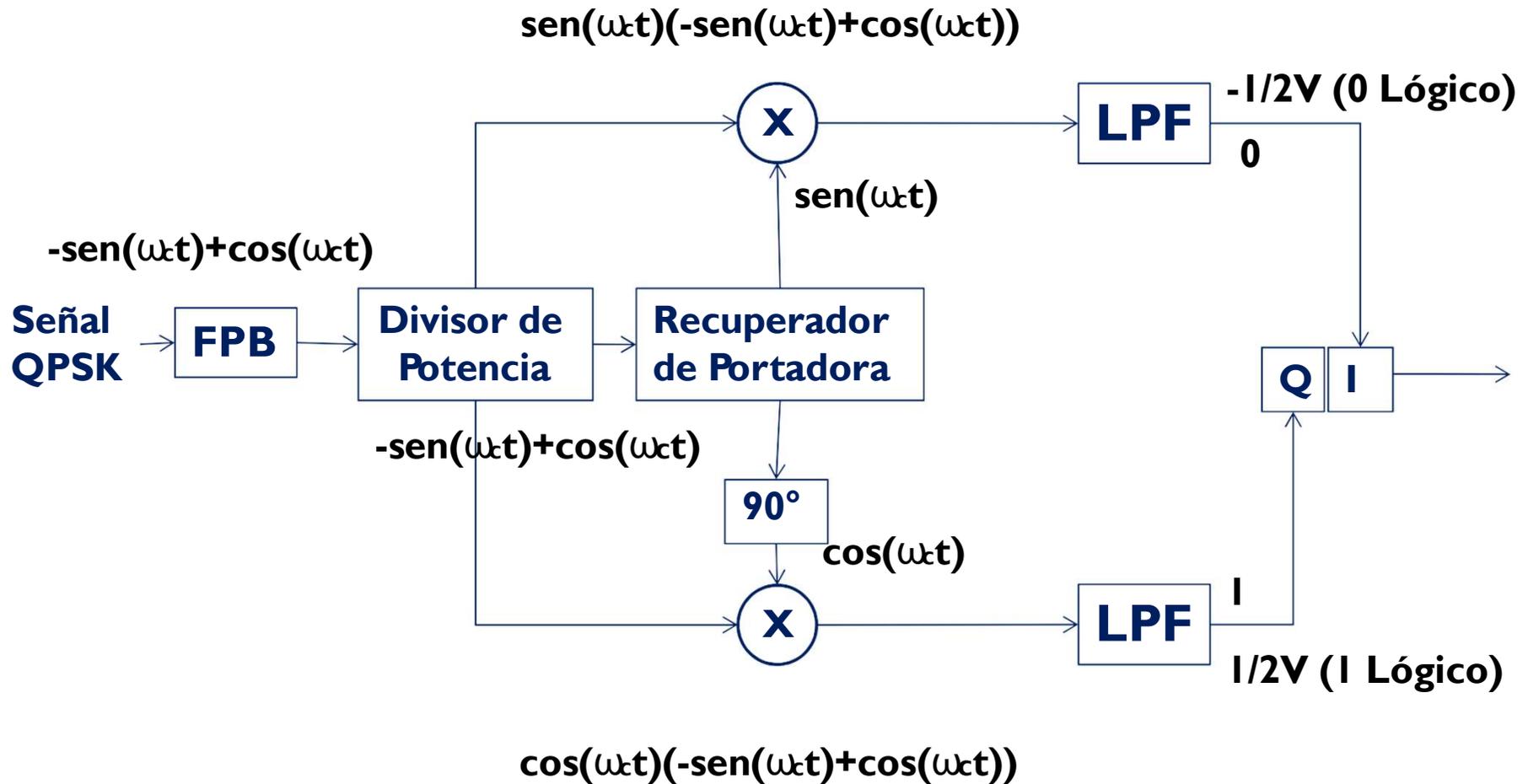
Manipulación por Desplazamiento Cuaternario de Fase (QPSK)

- El ancho de banda mínimo para una señal QPSK se calcula a través de la ecuación:

$$f_{N,Q-PSK} = B = \frac{f_b}{2}$$



Demodulación QPSK



Manipulación por Desplazamiento de 8-Fases (8-PSK)



MANIPULACIÓN POR DESPLAZAMIENTO DE 8-FASES (8-PSK)

- ϕ El número de bits agrupados a la entrada del modulador se puede incrementar para obtener la PSK de 8 fases (8-PSK), que es una técnica de modulación M-aria en la que $M=8$.
- ϕ Existen 8 fases posibles de salidas, para este caso se consideran a los bits en grupos de 3, llamados tribits.



MANIPULACIÓN POR DESPLAZAMIENTO DE 8-FASES (8-PSK)

¢ Descripción de los bits involucrados

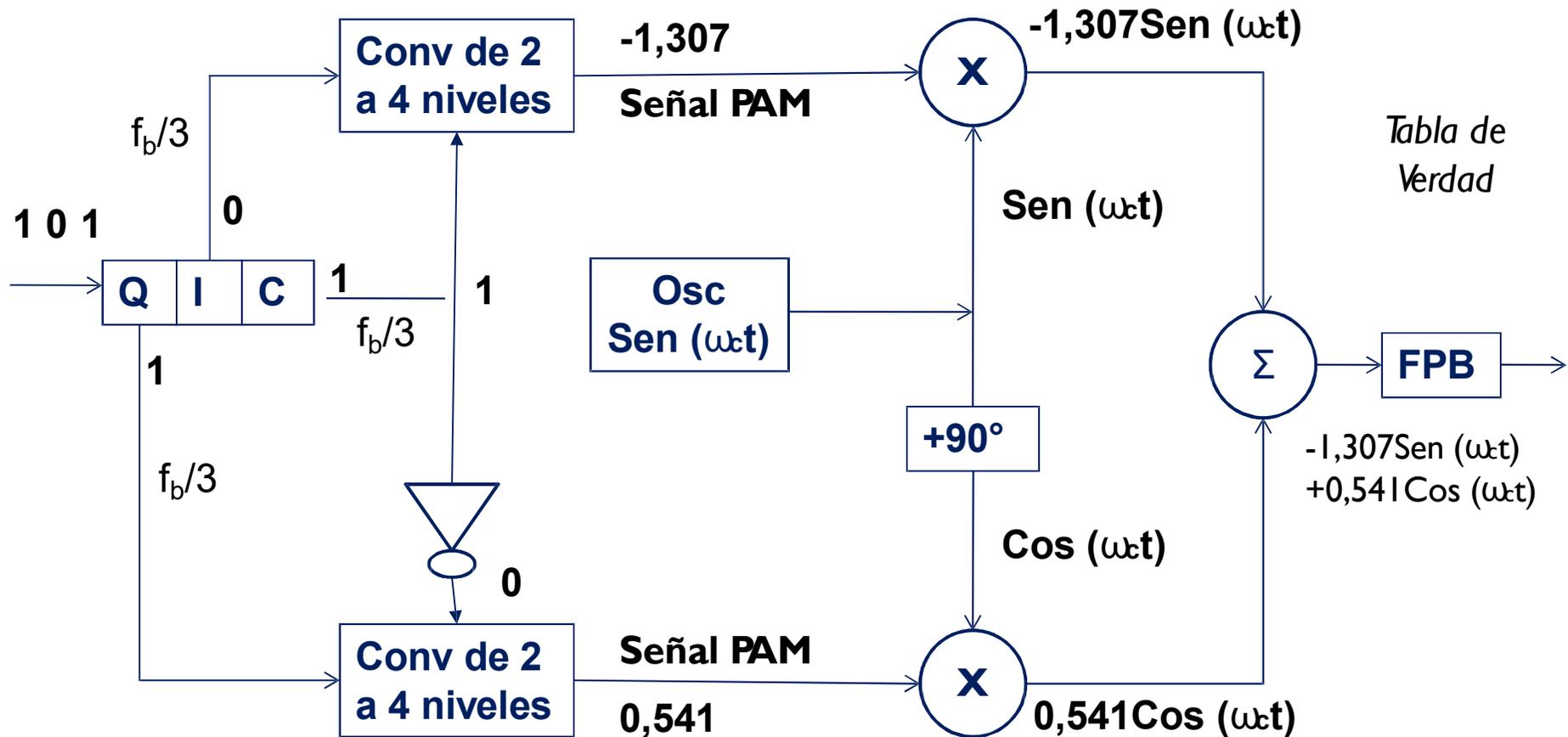
I	C	Salida	Q	C negada	Salida
0	0	-0,541 V	0	1	-1,307
0	1	-1,307 V	0	0	-0,541
1	0	+0,541 V	1	1	+1,307
1	1	+1,307 V	1	0	+0,541

Los bits Q e I son los datos de entrada, C es un bit de control y Cnegado es el valor de C complementado.



MANIPULACIÓN POR DESPLAZAMIENTO DE 8-FASES (8-PSK)

¢ Modulador 8-PSK con entrada binaria 101



MANIPULACIÓN POR DESPLAZAMIENTO DE 8-FASES (8-PSK)

- ¢ La corriente de bits llegan al divisor de bits, donde se convierten en una salida paralela de tres canales, en canal I (en fase), el canal Q (en cuadratura) y el canal C (control)
- ¢ Los bits de los canales I y C entran al convertidor del canal I y los bits de Q y Cnegado entran al convertidor del canal Q



MANIPULACIÓN POR DESPLAZAMIENTO DE 8-FASES (8-PSK)

- ¢ El bit Q y I determinan la polaridad de la señal analógica de salida

$$\begin{array}{l} +1 V = "1" \text{ l\u00f3gico} \\ -1 V = "0" \text{ l\u00f3gico} \end{array}$$

- ¢ Mientras que el bit C determina su magnitud

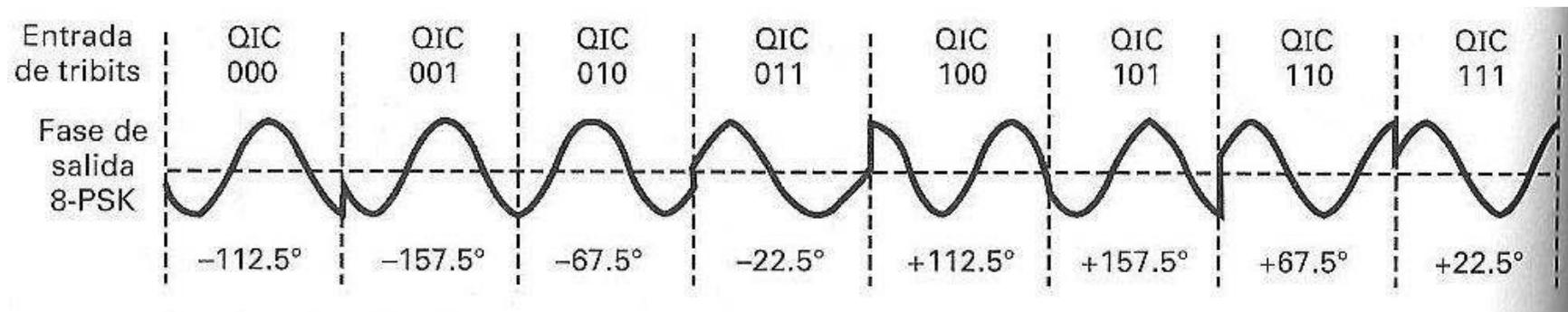
$$\begin{array}{l} 1,307 V = "1" \text{ l\u00f3gico} \\ 0,541 V = "0" \text{ l\u00f3gico} \end{array}$$



MANIPULACIÓN POR DESPLAZAMIENTO DE 8-FASES (8-PSK)

Señal modulada en 8-PSK

☞ La figura muestra las ocho combinaciones de fases que se obtienen a la salida del modulador 8-PSK. Observe que la amplitud es constante.

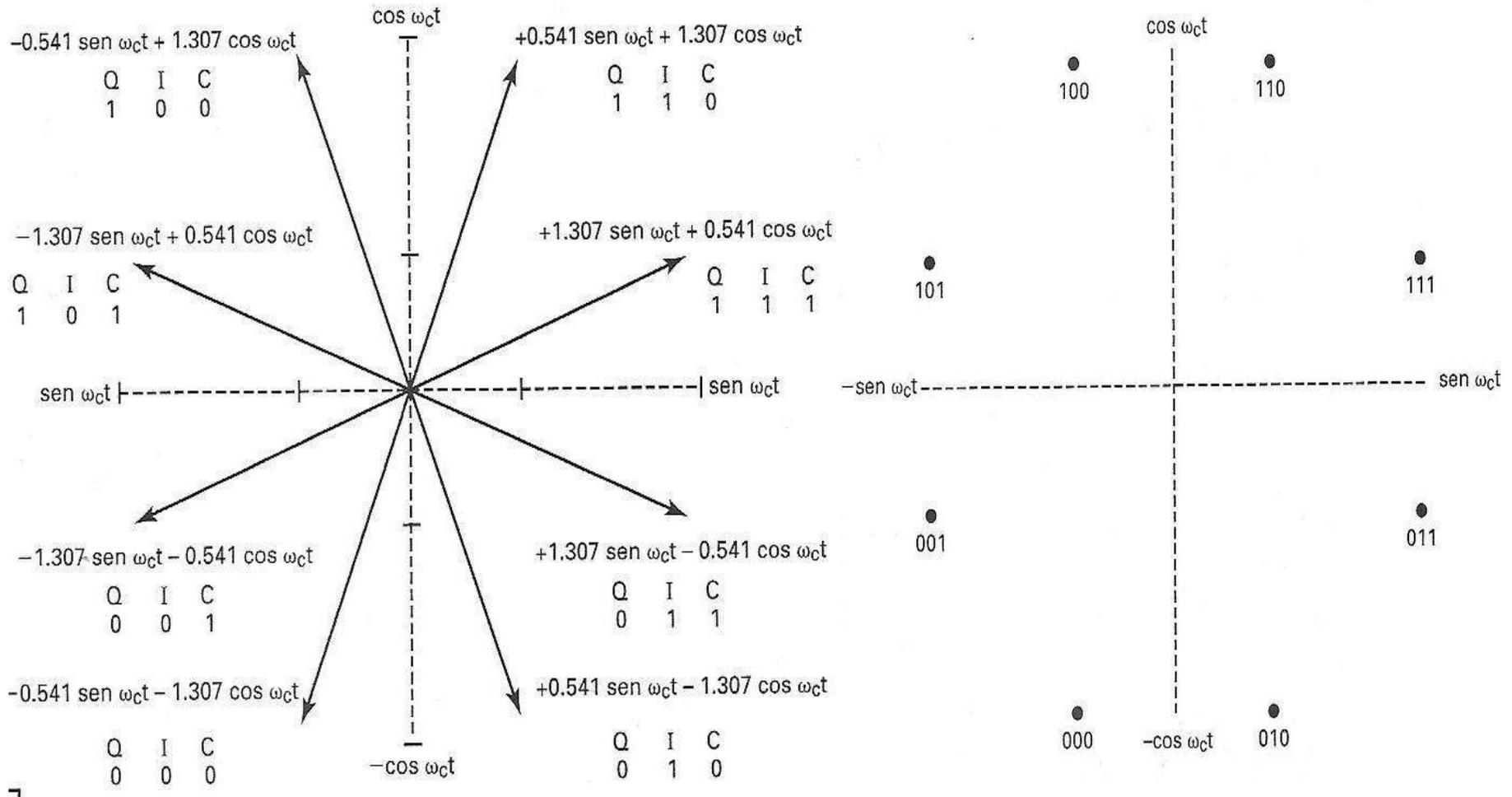


MANIPULACIÓN POR DESPLAZAMIENTO DE 8-FASES (8-PSK)

- ¢ Como se ha observado se tienen 8 posibles fasores como respuesta a los 3 bits de entrada.
- ¢ Cada fador estará desfasado uno del otro en:
$$360^\circ \div 8 = 45^\circ$$
- ¢ Es importante dicha separación para evitar que por ruido en las amplitudes se pueda desviar una fase hacia otra y producir un error.



Se ve que la separación angular entre los fasores adyacentes es de 45°



► **Diagrama Fasorial 8-PSK**

Constelación 8-PSK

MANIPULACIÓN POR DESPLAZAMIENTO DE 8-FASES (8-PSK)

¢ Tabla resumen de ángulos de fase de los ocho fasores de la Modulación Digital 8-PSK

Entrada binaria			Fase de Salida de 8-PSK
Q	I	C	
0	0	0	-112,5
0	0	1	-157,5
0	1	0	-67,5
0	1	1	-22,5
1	0	0	+112,5
1	0	1	+157,5
1	1	0	+67,5
1	1	1	+22,5



MANIPULACIÓN POR DESPLAZAMIENTO DE 8-FASES (8-PSK)

Características de 8-PSK:

- Tiene 8 fasores separados 45° entre ellos.
- La amplitud de los fasores es constante.
- Posee un proceso de conversión de nivel antes de la modulación
- Posee un bit de control que controla la magnitud de la salida del conversor de nivel.
- Los bits Q e I controlan el signo del nivel de salida.



MANIPULACIÓN POR DESPLAZAMIENTO DE 8-FASES (8-PSK)

Características de 8-PSK:Cont....

- Cada evento de salida representa 3 bits.
- El flujo de datos por las ramas Q,I y C es igual a $f_b/3$.



MANIPULACIÓN POR DESPLAZAMIENTO DE 8-FASES (8-PSK)

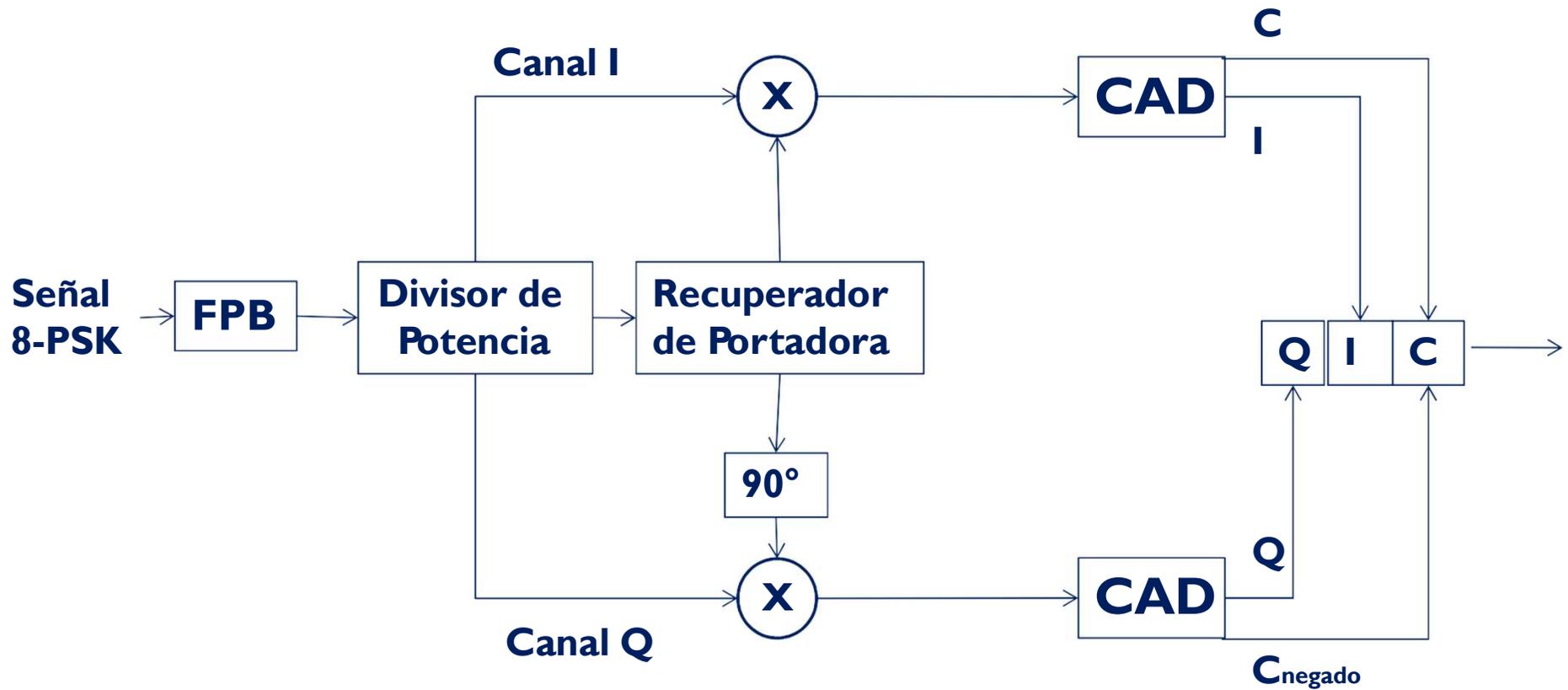
¢ El ancho de banda mínimo para una señal 8-PSK se calcula a través de la ecuación:

$$f_{N,8-PSK} = B = \frac{f_b}{3}$$



Demodulación 8-PSK

El diagrama de bloques para un demodulador 8-PSK, es el siguiente:



Modulación de amplitud en
cuadratura QAM
(Quadrature Amplitude
Modulation)



Modulación de amplitud en
cuadratura QAM
(8-QAM)



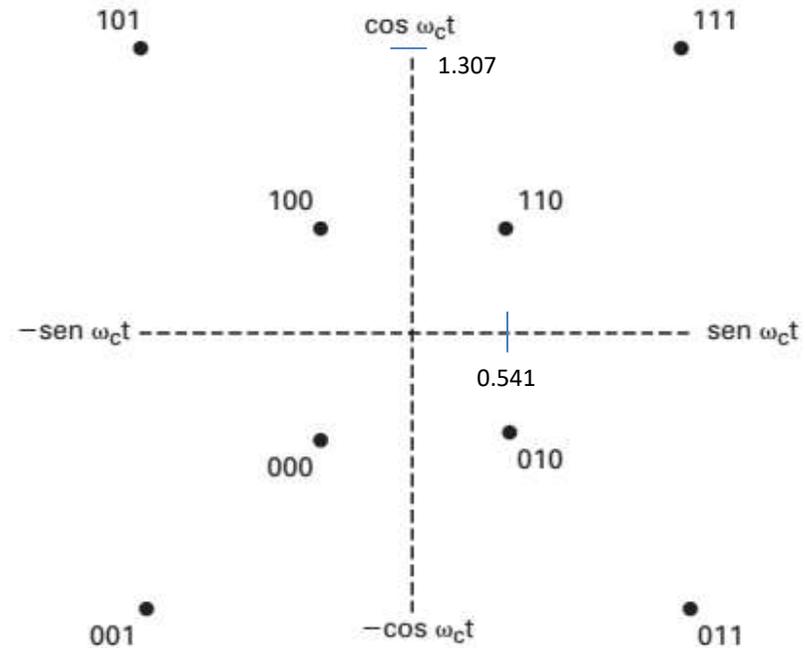
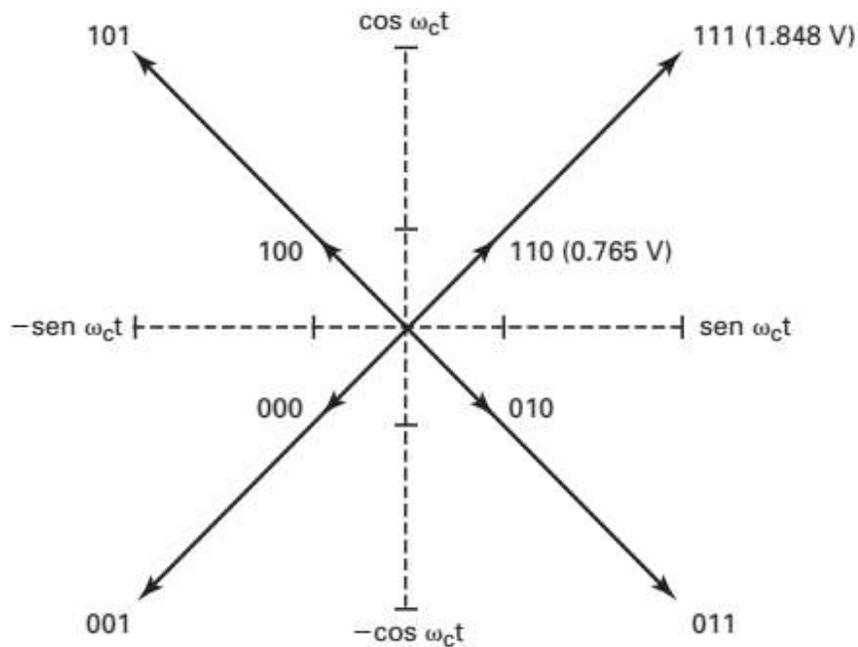
MODULACIÓ DE AMPLITUD EN CUADRATURA (8-QAM)

- QAM es una forma de modulación digital, donde la información digital está contenida tanto en la amplitud como en la fase de la portadora transmitida.
- 8-QAM es una técnica de codificación M -aria en la que $M=8$. A diferencia de la 8-PSK, la señal de salida de un modulador 8-QAM no es una señal de amplitud constante.
- Existen 8 configuraciones posibles de salidas, los bits se agrupan en grupos de tres bits (tribits).



MODULACIÓ DE AMPLITUD EN CUADRATURA (8-QAM)

- Diagramas Fasorial y de Constelaciones

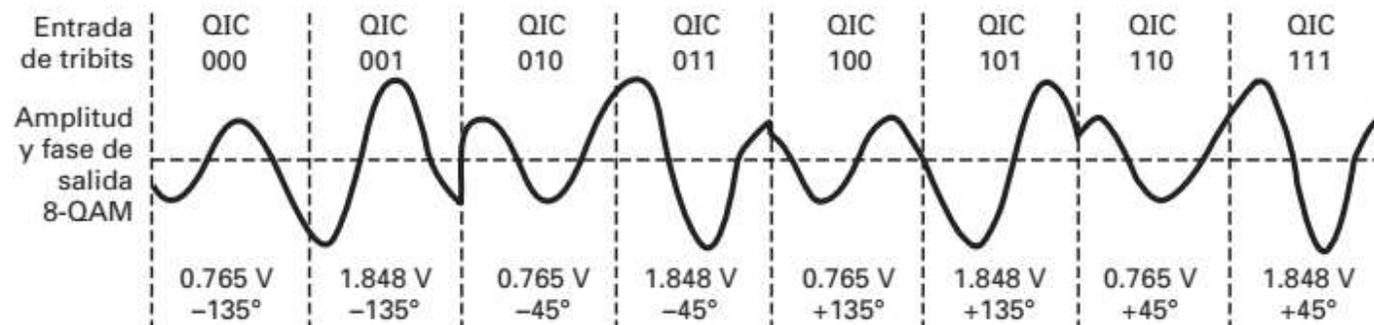


I/Q	C	Salida
0	0	-0.541 V
0	1	-1.307 V
1	0	+0.541 V
1	1	+1.307 V

MODULACIÓ DE AMPLITUD EN CUADRATURA (8-QAM)

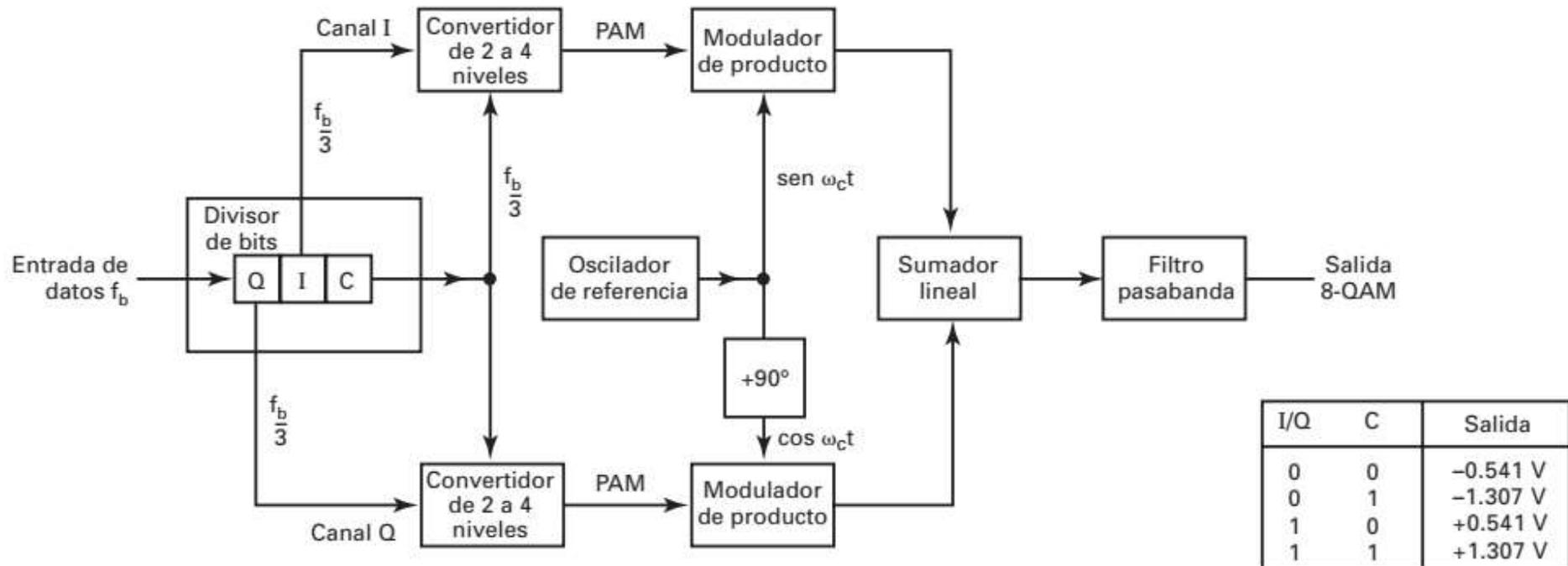
- Tabla de Verdad 8-QAM

Entrada binaria			Salida 8-QAM	
Q	I	C	Amplitud	Fase
0	0	0	0.765 V	-135°
0	0	1	1.848 V	-135°
0	1	0	0.765 V	-45°
0	1	1	1.848 V	-45°
1	0	0	0.765 V	+135°
1	0	1	1.848 V	+135°
1	1	0	0.765 V	+45°
1	1	1	1.848 V	+45°



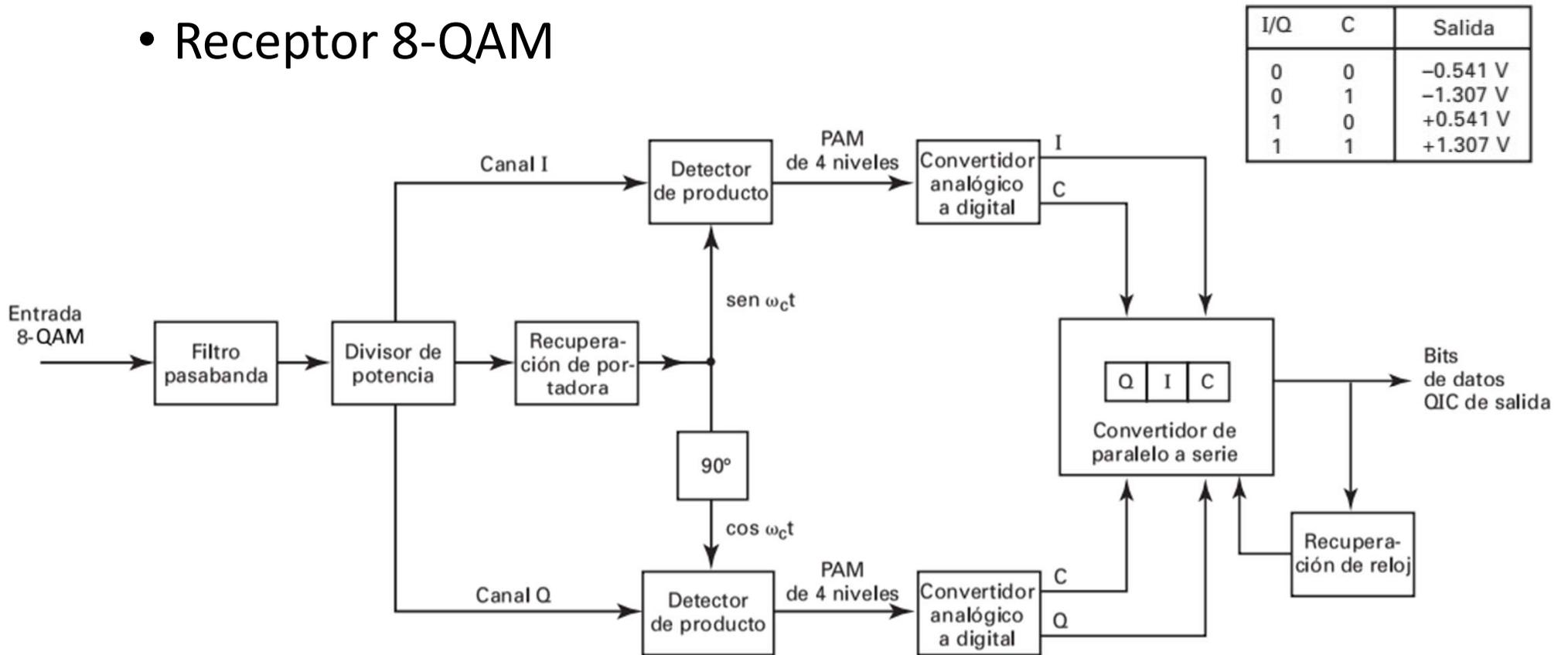
MODULACIÓ DE AMPLITUD EN CUADRATURA (8-QAM)

- Transmisor 8-QAM



MODULACIÓ DE AMPLITUD EN CUADRATURA (8-QAM)

- Receptor 8-QAM



Modulación de amplitud en
cuadratura QAM
(16-QAM)



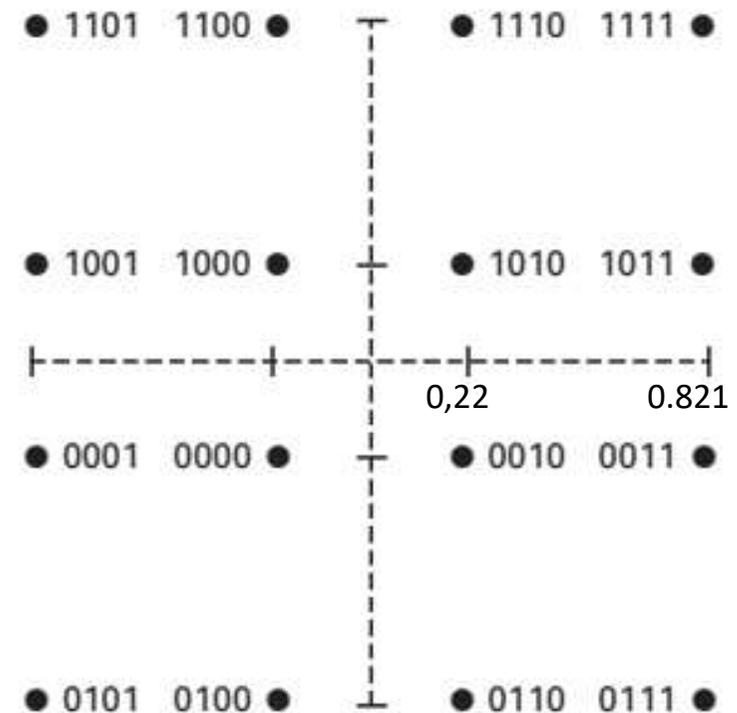
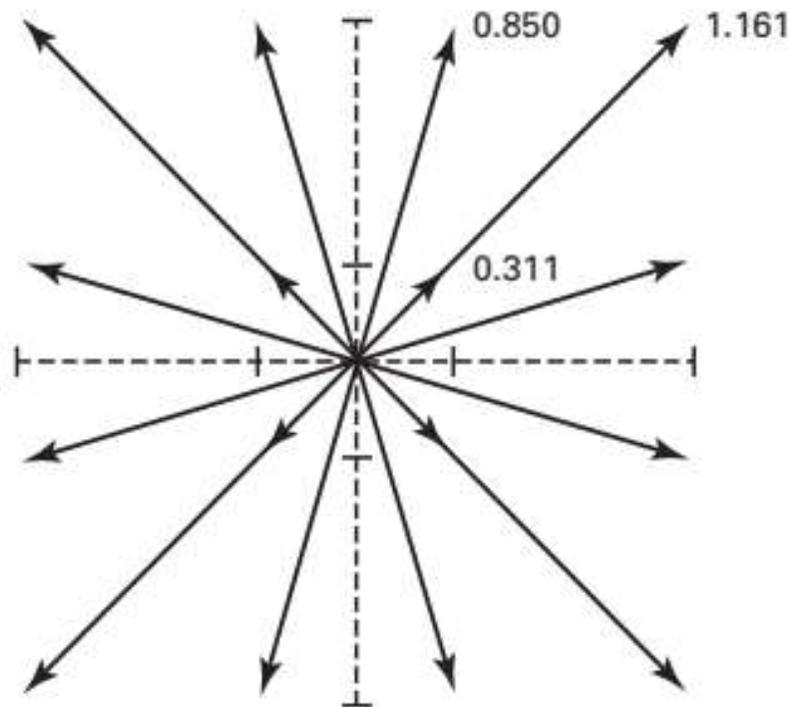
MODULACIÓ DE AMPLITUD EN CUADRATURA (16-QAM)

- QAM es una forma de modulación digital, donde la información digital está contenida tanto en la amplitud como en la fase de la portadora transmitida.
- 16-QAM es un sistema M -ario en el que $M=16$. Los datos de entrada se manejan en grupos de cuatro ($2^4=16$). Como en 8-QAM, se varían tanto la fase como la amplitud de la portadora de transmisión.
- Existen 16 configuraciones posibles de salidas, los bits se agrupan en grupos de cuatro bits (cuadribits).



MODULACIÓ DE AMPLITUD EN CUADRATURA (16-QAM)

- Diagramas Fasorial y de Constelaciones



I	I'	Salida
0	0	-0.22 V
0	1	-0.821 V
1	0	+0.22 V
1	1	+0.821 V

Q	Q'	Salida
0	0	-0.22 V
0	1	-0.821 V
1	0	+0.22 V
1	1	+0.821 V

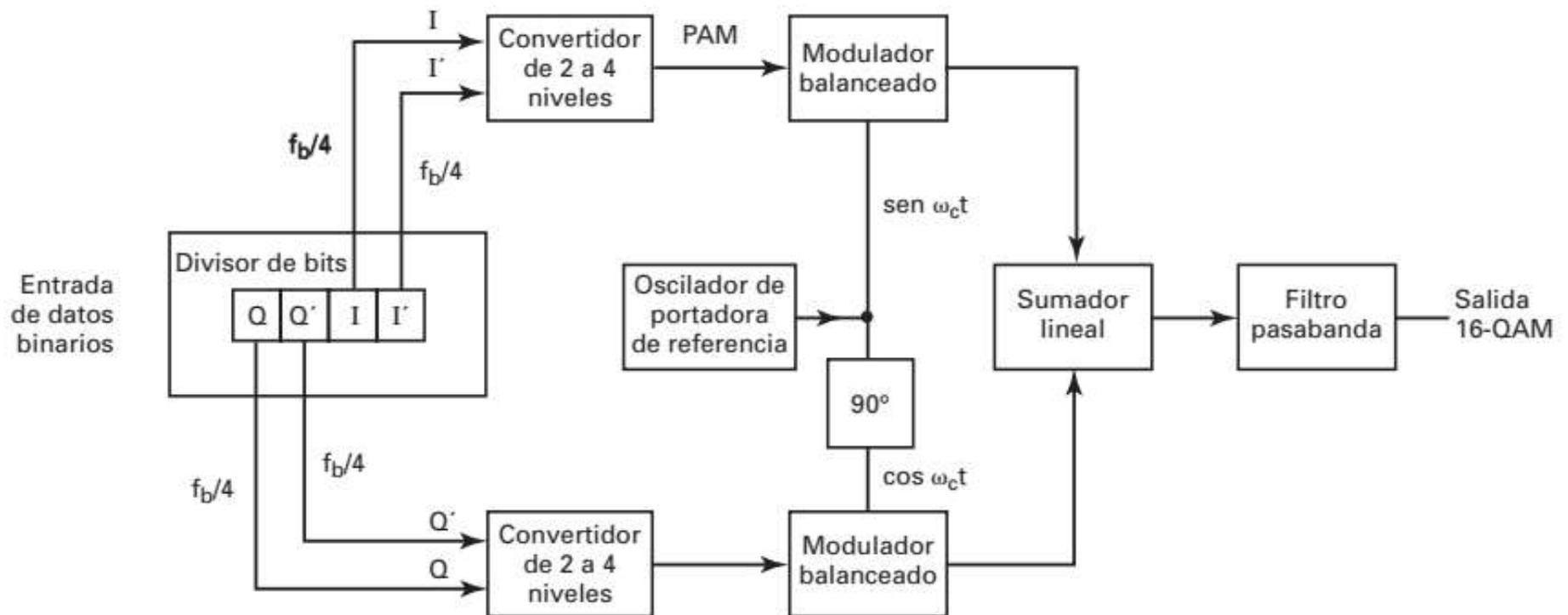
MODULACIÓ DE AMPLITUD EN CUADRATURA (16-QAM)

- Tabla de Verdad 16-QAM

Entrada binaria				Salida 16-QAM	
Q	Q'	I	I'		
0	0	0	0	0,311v	-135°
0	0	0	1	0,850v	-165°
0	0	1	0	0,311v	-45°
0	0	1	1	0,850v	-15°
0	1	0	0	0,850v	-105°
0	1	0	1	1,161v	-135°
0	1	1	0	0,850v	-75°
0	1	1	1	1,161v	-45°
1	0	0	0	0,311v	135°
1	0	0	1	0,850v	165°
1	0	1	0	0,311v	45°
1	0	1	1	0,850v	15°
1	1	0	0	0,850v	105°
1	1	0	1	1,161v	135°
1	1	1	0	0,850v	75°
1	1	1	1	1,161v	45°

MODULACIÓ DE AMPLITUD EN CUADRATURA (8-QAM)

- Transmisor 16-QAM



MODULACIÓ DE AMPLITUD EN CUADRATURA (8-QAM)

- Receptor 16-QAM

I	I'	Salida
0	0	-0.22 V
0	1	-0.821 V
1	0	+0.22 V
1	1	+0.821 V

Q	Q'	Salida
0	0	-0.22 V
0	1	-0.821 V
1	0	+0.22 V
1	1	+0.821 V

