

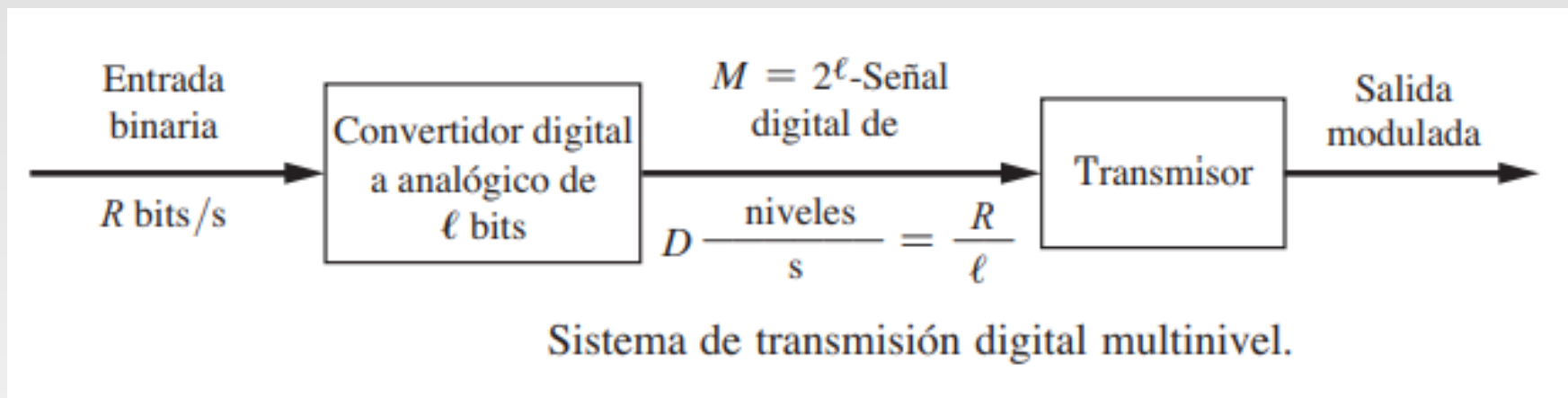
Sistemas de Comunicación Digital

INF2010

Clase 10:
Modulación Pasabanda Multinivel

Señalización multinivel modulada pasabanda

- Con este método, las entradas digitales con más de 2 niveles de modulación son admitidas a la entrada del transmisor.



- Para un DAC de 2 bits ($\ell=2$), $M=2^\ell=2^2=4$ y la velocidad de símbolos es $D=R/\ell = \frac{1}{2}R$ y el bit rate es $R=1/T_b$ bits/s.

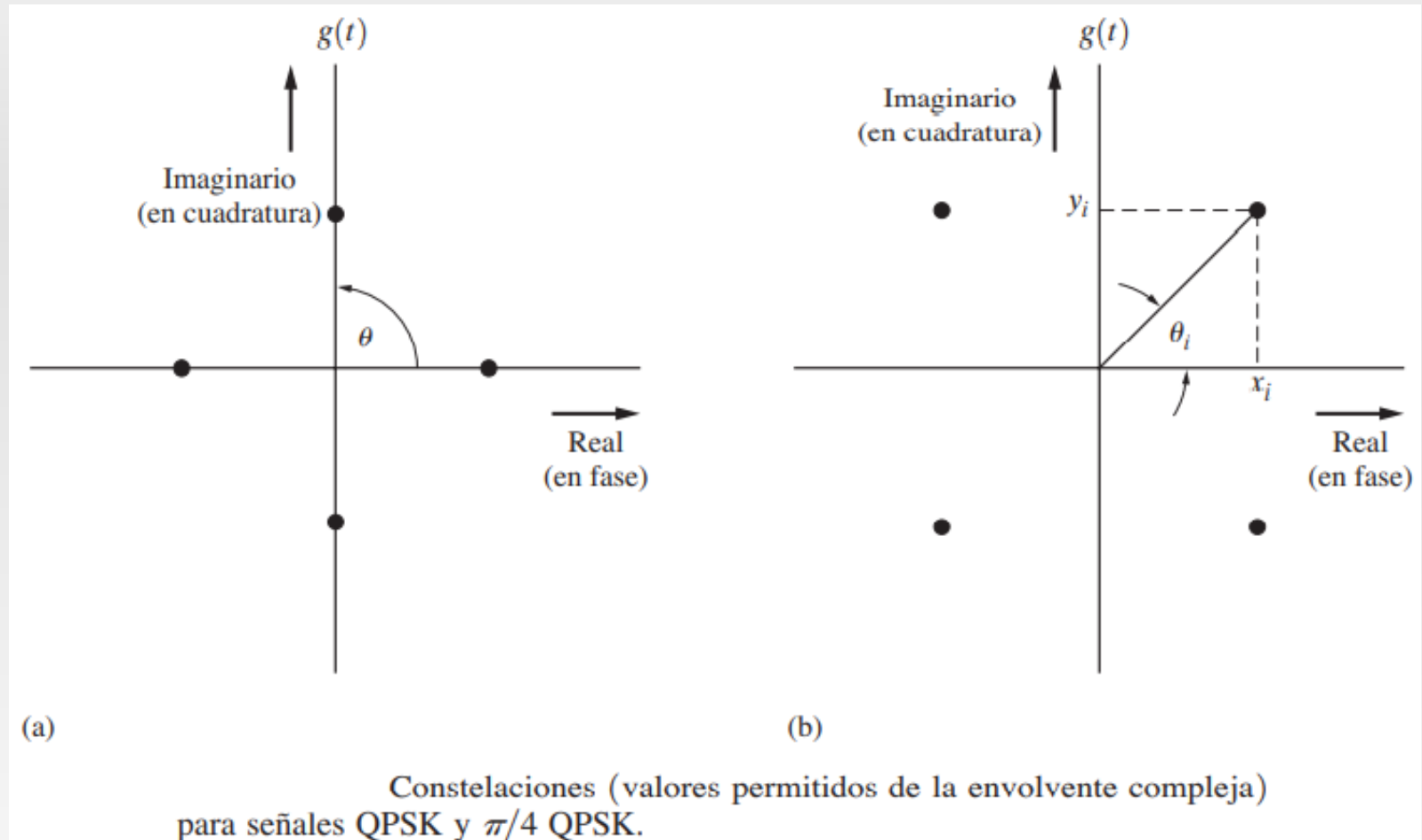
Señalización multinivel modulada pasabanda

- QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) y MPSK (M-ary Phase Shift Keying)
- Para un transmisor donde la entrada es $M=4$ niveles, entonces a la salida se generan 4 puntos que corresponden a la modulante compleja:

$$g(t) = A_c e^{j\theta(t)}$$

- Por ejemplo, si los valores a la salida del DAC son -3, -1, +1 y +3V, entonces esto corresponderá a las fases $0^\circ, 90^\circ, 180^\circ$ y 270° .

Señalización multinivel modulada pasabanda



- Este ejemplo corresponde a una implementación del MPSK con 4 puntos, llamada QPSK.

Señalización multinivel modulada pasabanda

- También puede generarse MPSK usando dos portadoras en cuadratura moduladas por las componentes x e y de la envolvente compleja:

$$g(t) = A_c e^{j\theta(t)} = x(t) + jy(t)$$

- Donde los valores permitidos de x e y son:

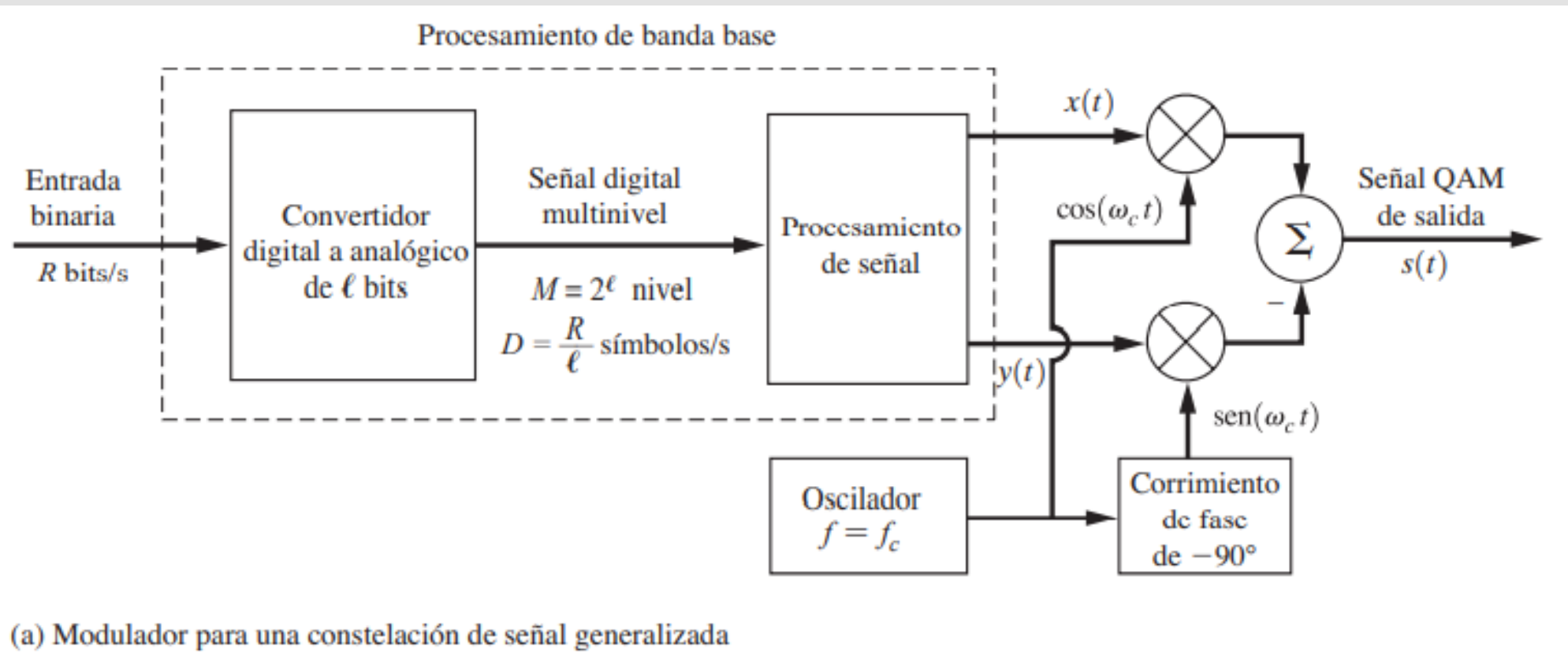
$$x_i = A_c \cos \theta_i$$

$$y_i = A_c \sin \theta_i$$

- Para los valores permitidos de ángulo θ_i , $i=1,2,\dots,M$ para una señal MPSK.

Señalización multinivel modulada pasabanda

- QAM (Quadrature Amplitude Modulation)



Señalización multinivel modulada pasabanda

- QAM (Quadrature Amplitude Modulation)
- En general, no tienen la restricción de tener puntos sobre un círculo, sino que pueden ocupar puntos con distinto radio.
- La señal QAM general es:

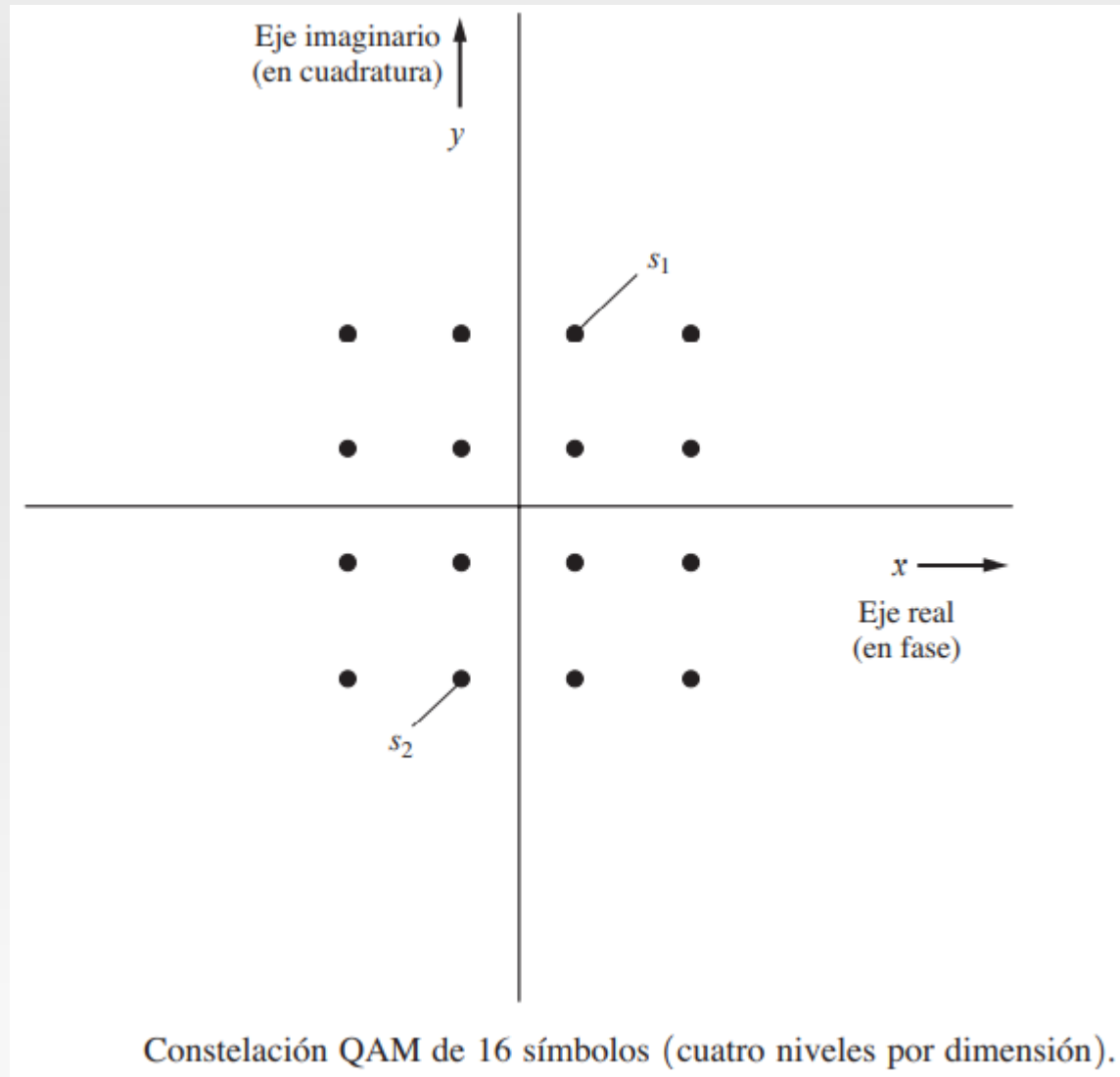
$$s(t) = x(t)\cos w_c t - y(t)\sin w_c t$$

- Donde:

$$g(t) = x(t) + jy(t) = R(t)e^{j\theta(t)}$$

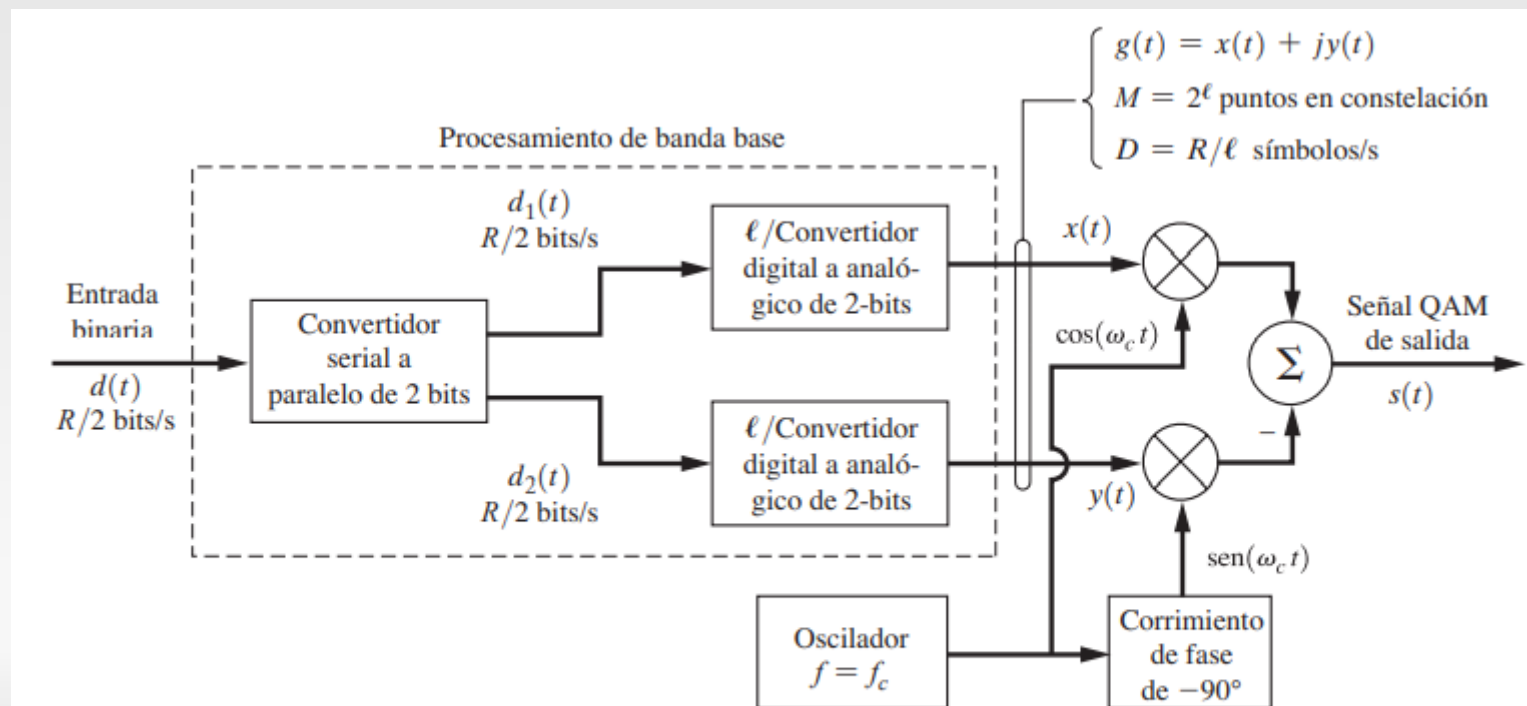
Señalización multinivel modulada pasabanda

- Por ejemplo, para $M=16$:



Señalización multinivel modulada pasabanda

- En este ejemplo, se establece la relación de coordenadas polares (R_i, θ_i) a cartesianas (x_i, y_i) .
- En este caso, x_i e y_i pueden tener 4 niveles por dimensión, y hacen falta 2 conversores DAC y moduladores balanceados.



(b) Modulador para una constelación de señal rectangular

Generación de señales QAM.

Señalización multinivel modulada pasabanda

- Las señales en x e y serían:

$$x(t) = \sum_n x_n h_1\left(t - \frac{n}{D}\right)$$

$$y(t) = \sum_n y_n h_1\left(t - \frac{n}{D}\right)$$

- Donde $D=R/\ell$ y el símbolo está centrado en $t=nT_s = n/D$.

T_s : Tiempo [s] para enviar un símbolo, $h_1(t)$: forma de pulso utilizado para cada símbolo.

- $h_1(t)$ es la forma del pulso utilizada en la modulación, donde si no hay restricciones de ancho de banda, será rectangular.

Señalización multinivel modulada pasabanda

- En algunas aplicaciones, se agrega un offset (corrimiento) de $T_s/2 = 1/2D$ segundos, entre x e y:

$$y(t) = \sum_n y_n h_1\left(t - \frac{n}{D} - \frac{1}{2D}\right)$$

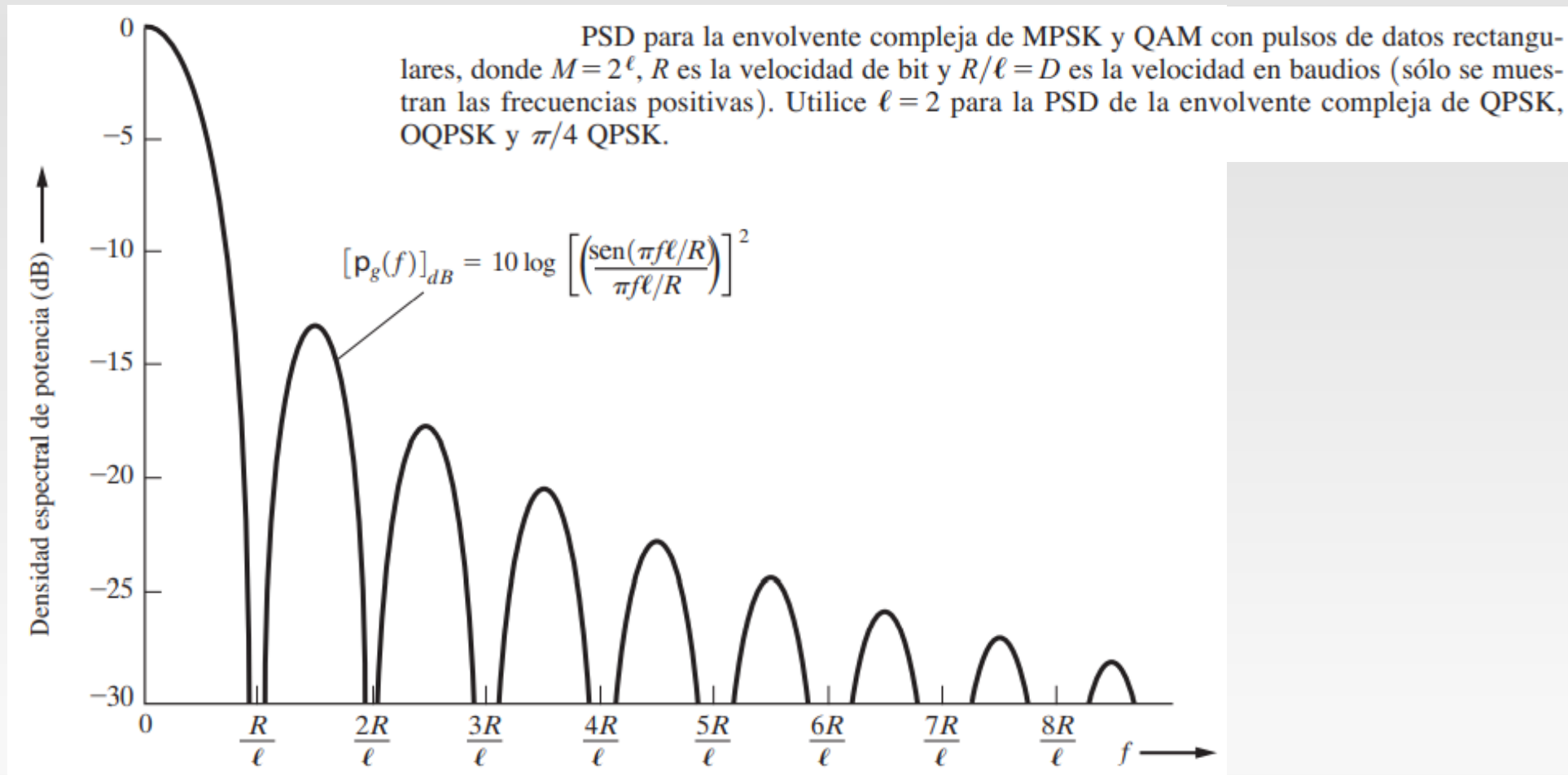
- Así se genera OQPSK, (offset-QPSK) que es QAM con offset cuando $M=4$.
- Y el espectro de potencia es:

$$P_g(f) = K \left(\frac{\sin \pi f l T_b}{\pi f l T_b} \right)^2$$

- Con $K = ClT_b$ y $M = 2_\ell$ es el número de puntos de la constelación y C la varianza de la señal.

Señalización multinivel modulada pasabanda

- Que se puede graficar como:



Señalización multinivel modulada pasabanda

- El ancho de banda desde un nulo al siguiente es:

$$B_T = \frac{2R}{l}$$

- Y la eficiencia espectral para QAM es de:

$$\eta = \frac{R}{B_T} = \frac{l}{2} \frac{\text{bits/s}}{\text{Hertz}}$$

- Osea, para una señal QAM con M=16, la eficiencia espectral es de $\eta=2$ bits/s por Hz.

Señalización multinivel modulada pasabanda

- Si ahora queremos transmitir la señal en un canal de banda limitada, el pulso rectangular no se va a poder utilizar.
- En efecto, debemos minimizar el ISI.
- Para esto, usamos un pulso tipo coseno realzado con rolloff r :

$$B = \frac{1}{2} (1 + r) D$$

- Sabemos además (del estudio de AM) que el ancho de banda de transmisión está relacionado con el ancho de banda de modulación por: $B_T = 2B$.

Señalización multinivel modulada pasabanda

- Entonces, el ancho de banda total para QAM es:

$$B_T = \left(\frac{1+R}{l} \right) R$$

- Como $M=2^l$, entonces $l=\log_2(M)$ que se puede escribir como:

$$l = \frac{\ln(M)}{\ln(2)}$$

- Y finalmente la eficiencia espectral de una modulación QAM con pulso de coseno realzado queda:

$$\eta = \frac{R}{B_T} = \frac{\ln(M)}{(1+r)\ln(2)} \frac{\text{bit/s}}{\text{Hertz}}$$

Señalización multinivel modulada pasabanda

- Y si tenemos un ancho de banda limitado, podemos saber cuantos símbolos por segundo se pueden transmitir con QAM.

TABLA 5-8 EFICIENCIA ESPECTRAL PARA SEÑALIZACIÓN QAM CON FORMACIÓN DE PULSO DE COSENO REALZADO (use $M = 4$ para señalización QPSK, OQPSK y $\pi/4$ QPSK)

Número de niveles, M (símbolos)	Tamaño del DAC, ℓ (bits)	$\eta = \frac{R}{B_T} \left(\frac{\text{bit/s}}{\text{Hz}} \right)$					
		$r = 0.0$	$r = 0.1$	$r = 0.25$	$r = 0.5$	$r = 0.75$	$r = 1.0$
2	1	1.00	0.909	0.800	0.667	0.571	0.500
4	2	2.00	1.82	1.60	1.33	1.14	1.00
8	3	3.00	2.73	2.40	2.00	1.71	1.50
16	4	4.00	3.64	3.20	2.67	2.29	2.00
32	5	5.00	4.55	4.0	3.33	2.86	2.50

Señalización multinivel modulada pasabanda

- Finalmente, la máxima cantidad de símbolos va a estar dada por la relación señal a ruido del canal.
- Entonces $\eta < \eta_{max}$

- Donde:

$$\eta_{max} = \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right)$$