Modulaciones de espectro ensanchado

- Origen: combatir interferencias en sistemas militares
- Aplicaciones actuales
  - Acceso múltiple
  - Mitigar efectos de distorsión no lineal del canal
- Ancho de banda considerablemente superior al dado por Nyquist
  - Inmunidad frente a interferencias localizadas en frecuencia
  - Mejores prestaciones en canales con zonas de gran atenuación
- Acceso múltiple
  - CDMA: acceso múltiple por división de código

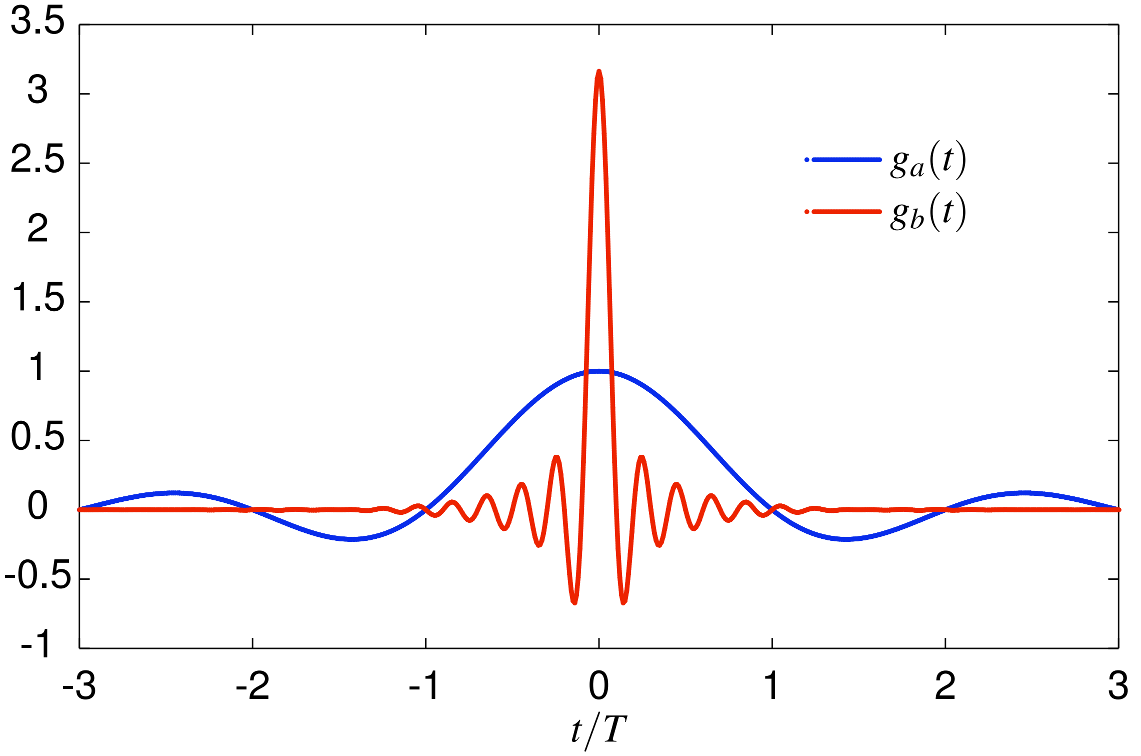
Aumento del ancho de banda

- Señal PAM

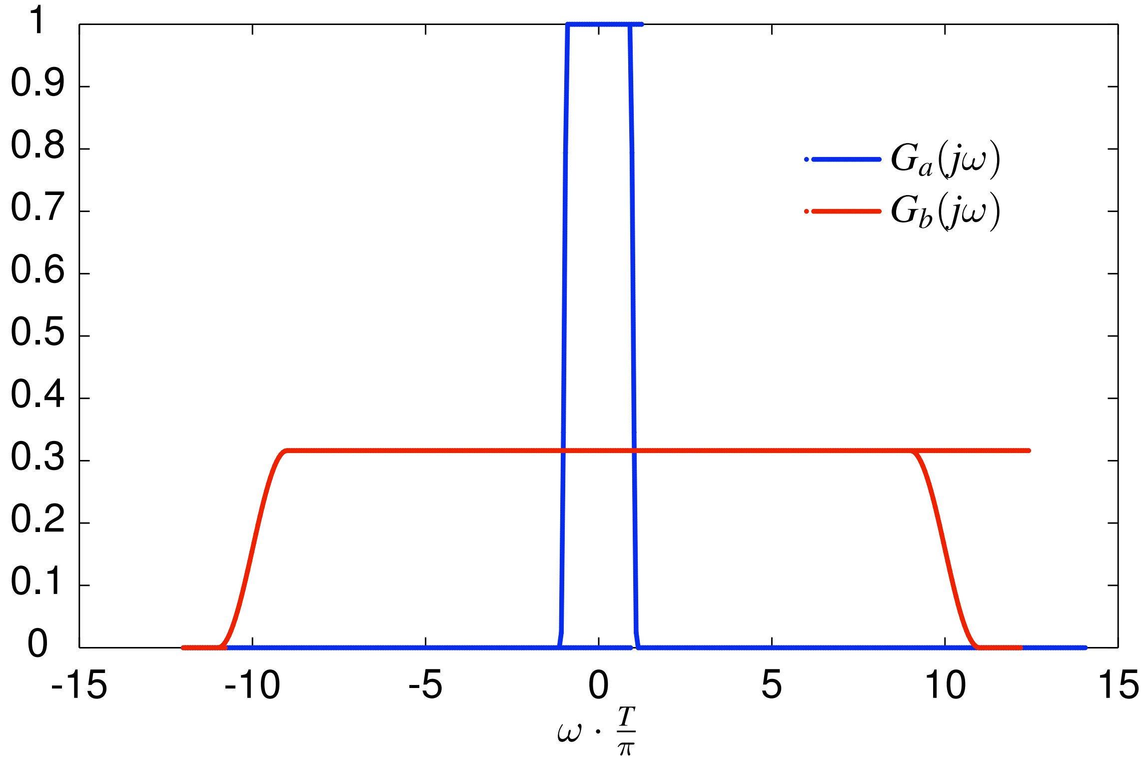
$$s(t) = \sum_n A[n] \cdot g(t - nT), \quad S_s(j\omega) = \frac{1}{T} \cdot S_A(e^{j\omega T}) \cdot |G(j\omega)|^2$$

- Aumentar el ancho de banda del filtro de transmisión
  - Tasa de símbolo $R_s = \frac{1}{T}$
  - Factor de expansión: N
  - Ancho de banda: $\frac{\pi}{T} \cdot (1+\alpha) \cdot N$ (BB) , $\frac{2\pi}{T} \cdot (1+\alpha) \cdot N$ (PB)
- Transmisión sin ISI: pulsos en (raíz de) coseno alzado
- Posible opción: pulsos cumpliendo Nyquist a T/N
  - Si se cumple Nyquist a T/N se cumple a T
  - El ancho de banda aumenta por un factor N
  - Función de ambigüedad localizada en el tiempo

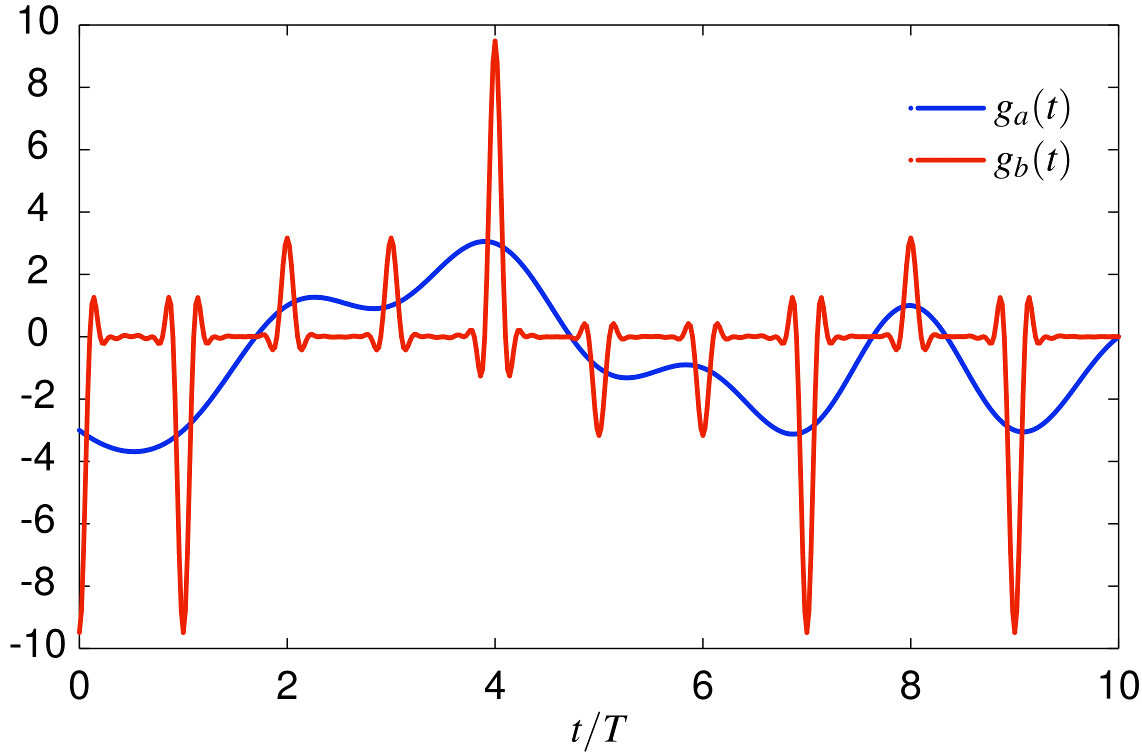
Pulsos en coseno alzado a T y T/N ($N = 10, \alpha = 0{,}1$)



Respuesta en frecuencia a T y T/N ($N = 10, \alpha = 0{,}1$)



Forma de onda: 4-PAM, $N = 10$, $\alpha = 0{,}5$



Espectro ensanchado por secuencia directa

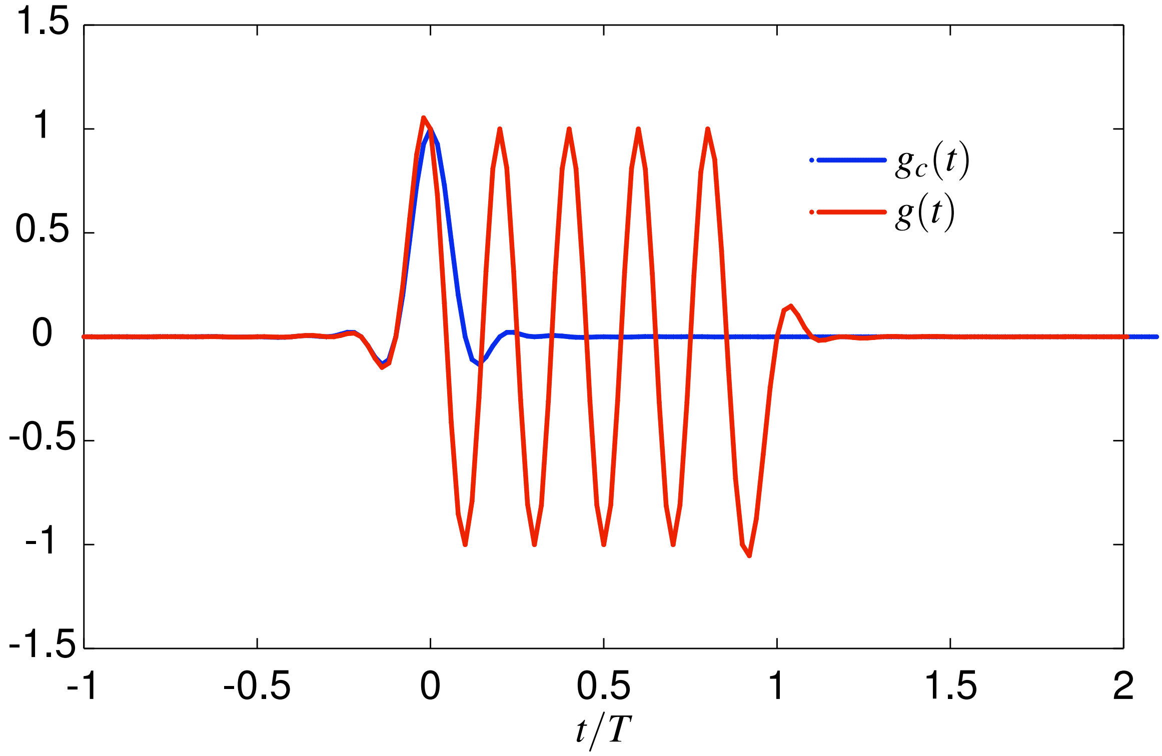
- Familia de pulsos

$$g(t) = \sum_{m=0}^{N-1} x[m] \cdot g_c(t - mT_c)$$

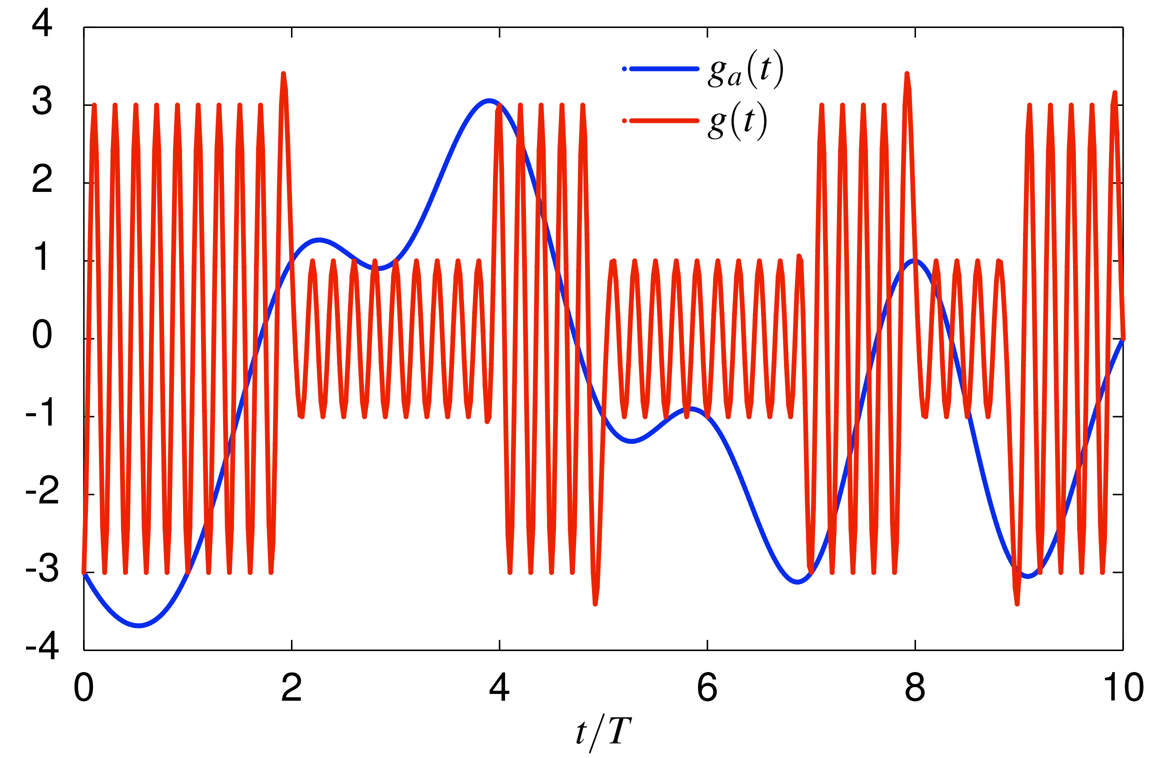
  - $x[m]$: secuencia ensanchadora (secuencia de *chip*)
  - T_c: período de *chip* $T_c = \frac{T}{N}$
  - $g_c(t)$: pulso cuya función de ambigüedad cumple Nyquist a T_c
- Señal modulada

$$s(t) = \sum_{n} A[n] \cdot \sum_{\ell=0}^{N-1} x[\ell] \cdot g_c(t - \ell T_c - nT)$$

Ejemplo de pulso: Coseno alzado $N = 10$, $\alpha = 0{,}5$



Ejemplo de forma de onda: Coseno alzado $N = 10$, $\alpha = 0{,}5$



Acceso múltiple (CDMA)

- Parámetros idénticos para todos los usuarios
  - $g_c(t)$, T, T_c
- Señales multiusuario CDMA: L usuarios
  - Cada usuario tiene una secuencia de ensanchado $x_i[m]$
  - Pulsos a tiempo de símbolo

$$g_i(t) = \sum_{m=0}^{N-1} x_i[m] \cdot g_c(t - m \cdot T_c)$$

  - Señal compleja en banda base

$$s(t) = \sum_{i=0}^{L-1} s_i(t)$$

$$s_i(t) = \sum_n A_i[n] \cdot g_i(t - nT) = \sum_n \sum_{m=0}^{N-1} A_i[n] \cdot x_i[m] \cdot g_c(t - mT_c - nT)$$

Condición de ortogonalidad de los pulsos

$$\begin{aligned}
\langle g_i(t), g_j(t)\rangle &= \int_{-\infty}^{\infty} g_i(t) \cdot g_j^*(t)\, dt \\
&= \sum_{m=0}^{N-1} \sum_{\ell=0}^{N-1} x_i[m] \cdot x_j^*[\ell] \cdot \int_{-\infty}^{\infty} g_c(t - mT_c) \cdot g_c^*(t - \ell T_c)\, dt \\
&= \sum_{m=0}^{N-1} \sum_{\ell=0}^{N-1} x_i[m] \cdot x_j^*[\ell] \cdot \left(g_c(t - mT_c) * g_c^*(-t - \ell T_c)\right)_{t=0} \\
&= \sum_{m=0}^{N-1} \sum_{\ell=0}^{N-1} x_i[m] \cdot x_j^*[\ell]
\end{aligned}$$

- Condición sobre las secuencias de código

$$\sum_{m=0}^{N-1} \sum_{\ell=0}^{N-1} x_i[m] \cdot x_j^*[\ell] = \delta[i-j], \quad i,j = 0, \cdots, L-1$$