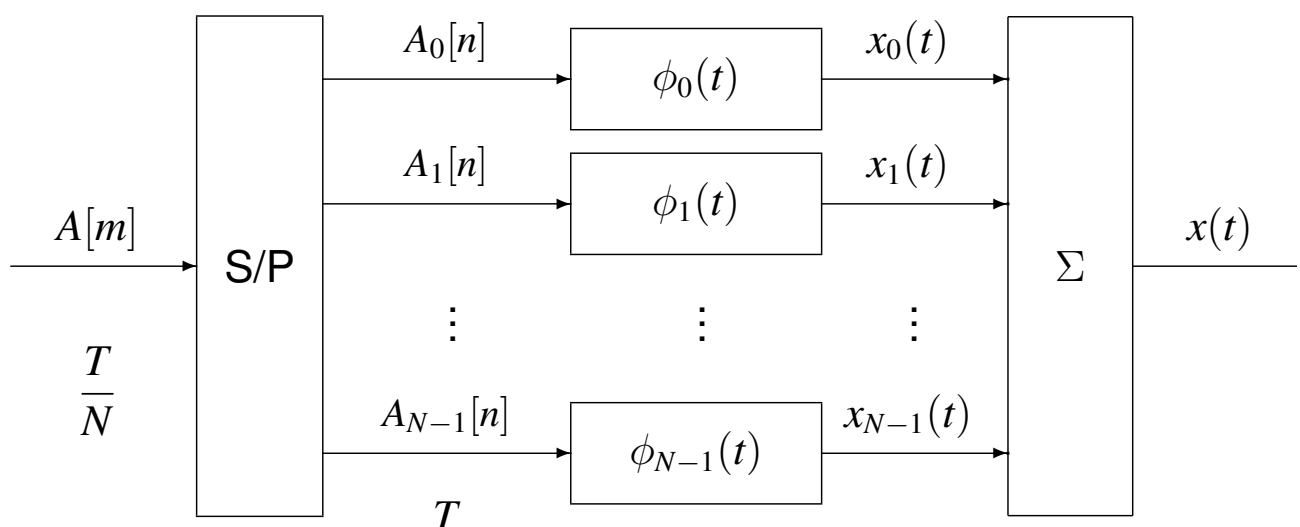


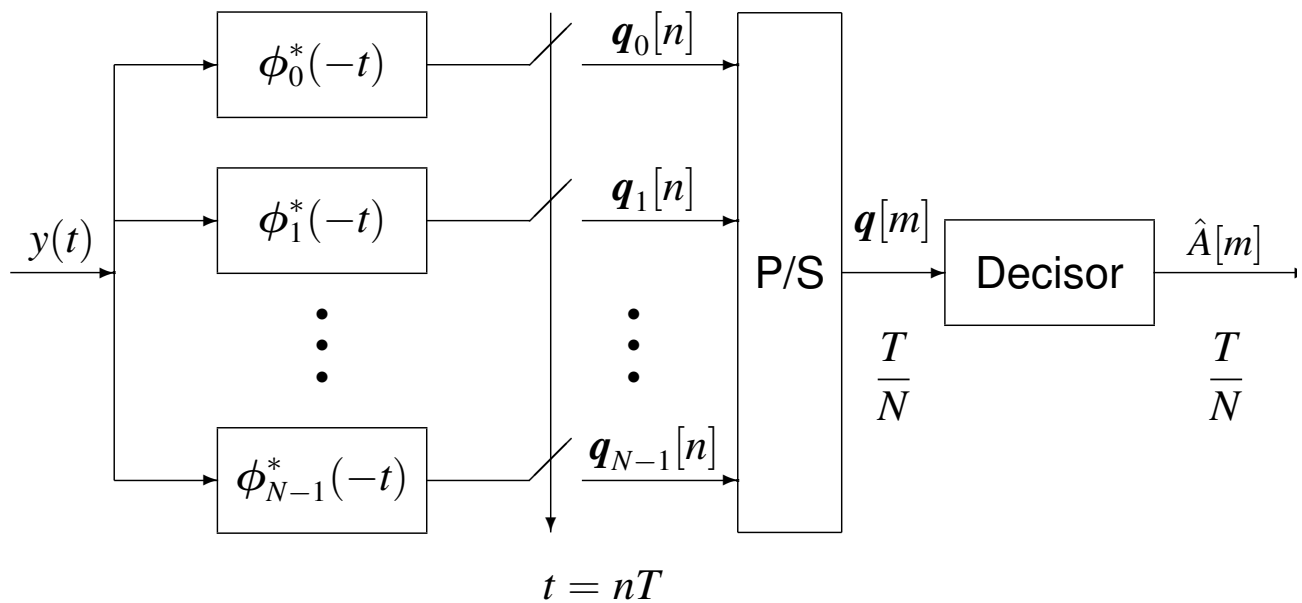
## Modulación con múltiples portadoras - FDM

- División del ancho de banda disponible ( $W$  rad/s) en  $N$  subcanales
  - Transmisión de una señal en cada subcanal (p.e. PAM)
  - Tasa de cada subcanal:  $R_s = \frac{1}{T}$  baudios
  - Tasa total:  $R_{s-total} = \frac{1}{T_s} = \frac{N}{T}$  baudios
  - Ancho de banda de cada subcanal:  $\frac{W}{N} = \frac{2\pi}{T} \cdot (1 + \alpha)$  rad/s
- Transmisor
  - Conversión serie / paralelo:  $A[m] \rightarrow \{A_0[n], \dots, A_{N-1}\}$
  - $N$  ramas con señales PAM
    - Filtro transmisor  $\phi_k(t)$ ,  $k = 0, \dots, N - 1$ 
      - $g_k(t)$ ,  $\omega_{c,k}$
    - Señal  $s_k(t)$
- Receptor
  - $N$  filtros adaptados al transmisor
  - Conversión paralelo serie:  $\{\hat{A}_0[n], \dots, \hat{A}_{N-1}\} \rightarrow \hat{A}[m]$

## Modulador FDM



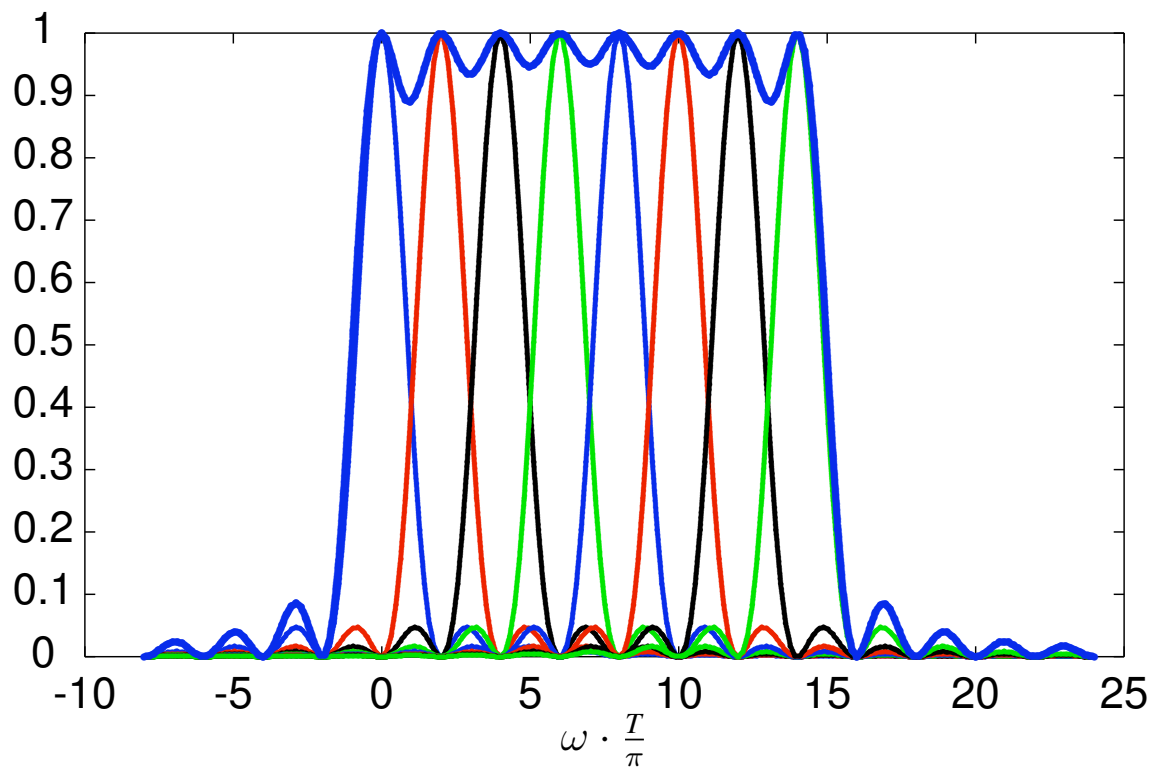
## Demodulador FDM



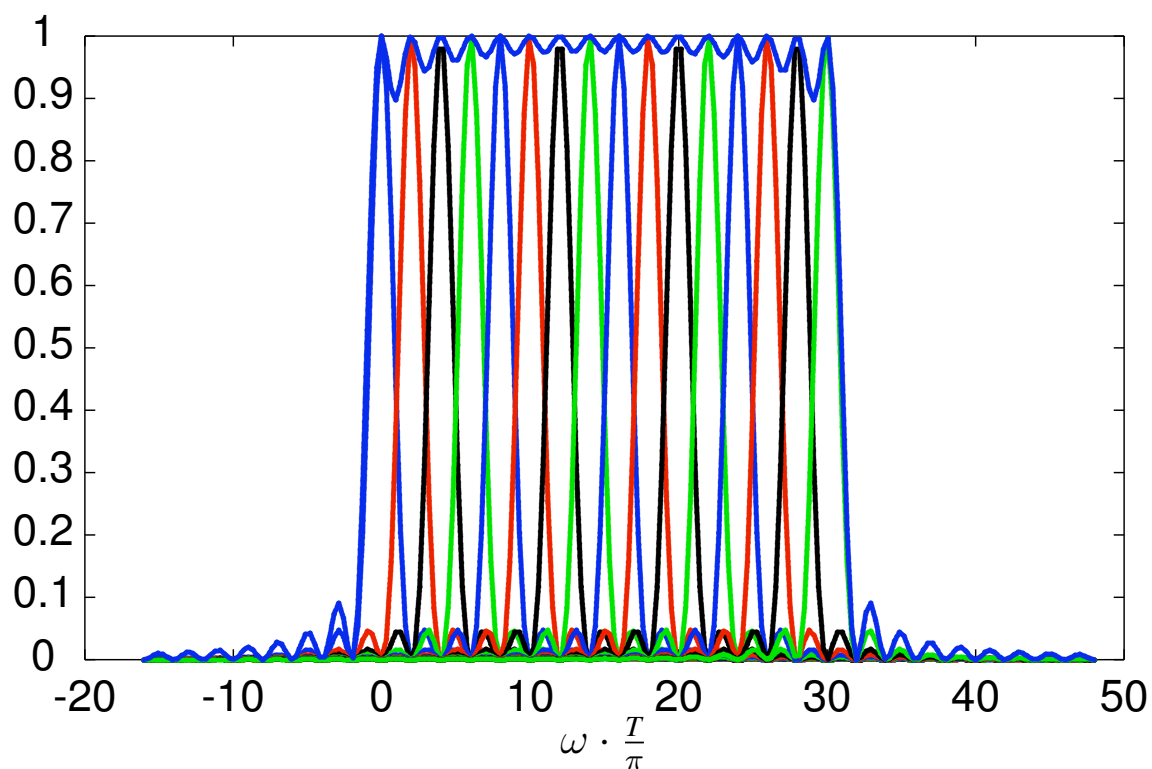
## Inconvenientes solución FDM

- Se necesitan filtros ideales
  - Intervalos de guarda
    - Pérdida de eficiencia espectral
- Complejidad del sistema
  - $N$  filtros (complejos)
  - $N$  muestreadores síncronos
- Solución:
  - $N$  pulsos ortogonales (con solapamiento)

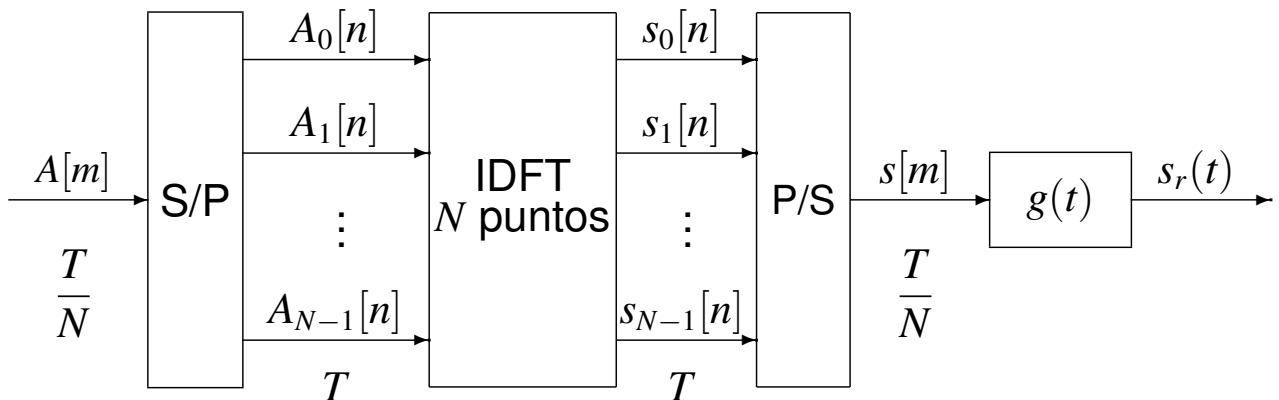
## Espectro OFDM en tiempo continuo - $N = 8$



## Espectro OFDM en tiempo continuo - $N = 16$

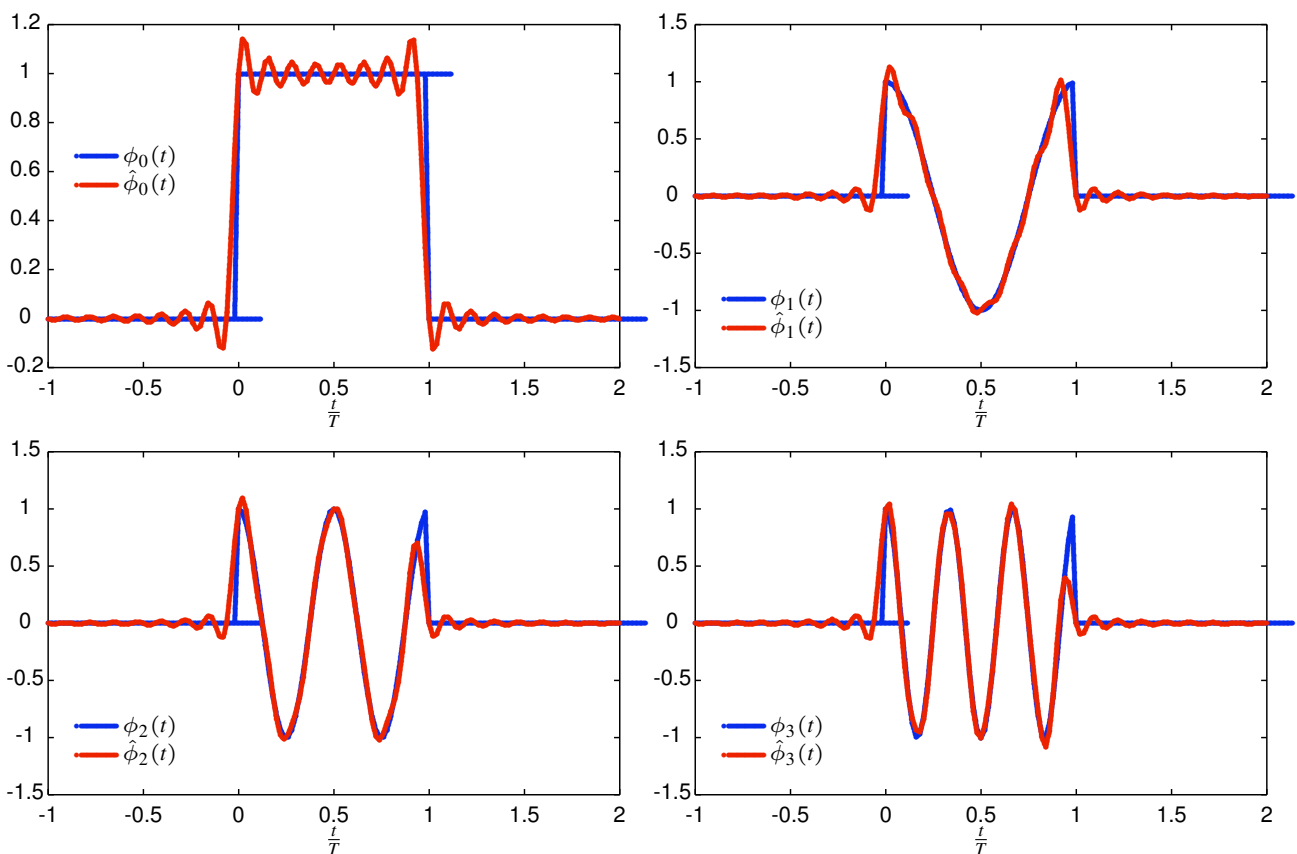


# Modulador OFDM en tiempo discreto

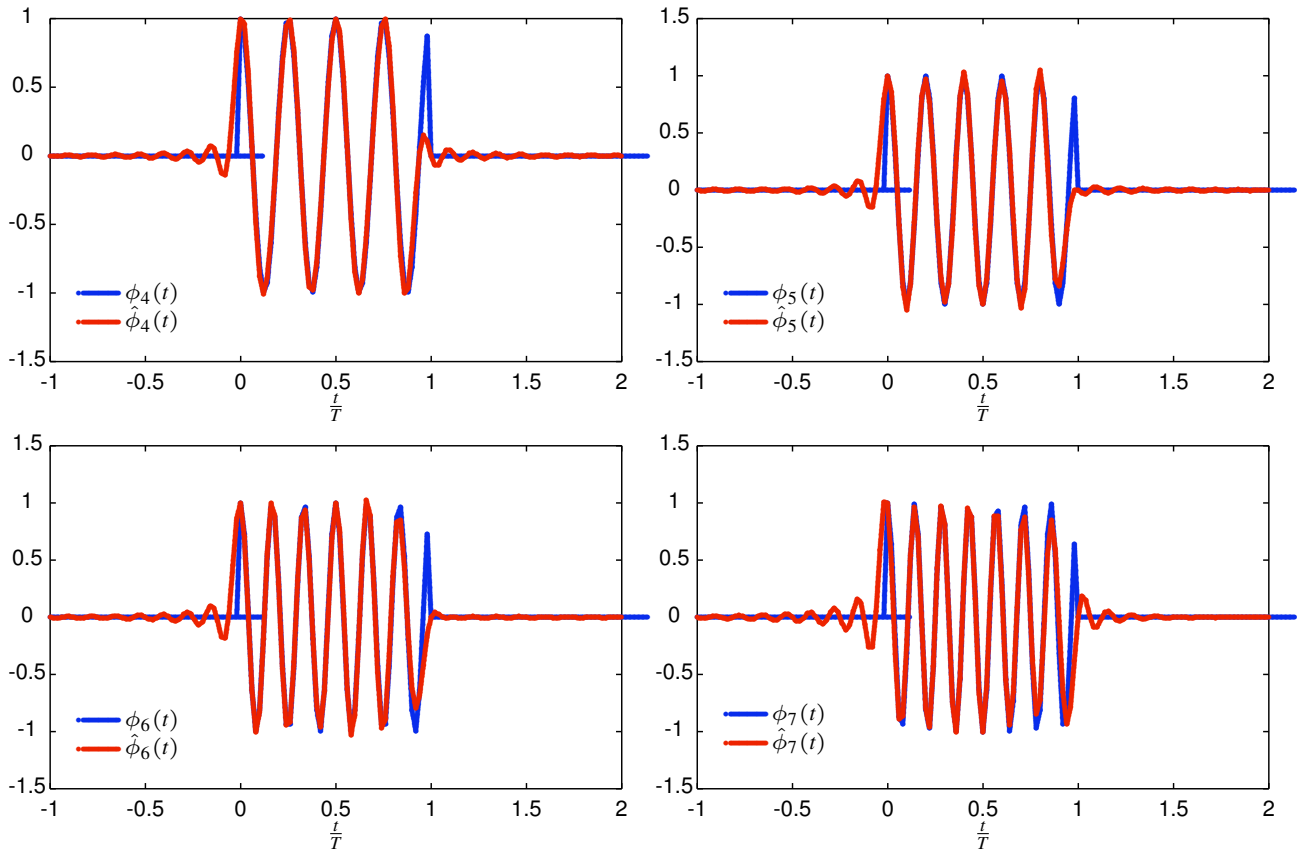


$$s_r(t) = \sum_m s[m] \cdot g(t - mT/N)$$

# Funciones base en tiempo discreto



## Funciones base en tiempo discreto



IT (UC3M)

Comunicaciones Digitales

Mod. multipulso - OFDM

9 / 14

## Espectro de OFDM en tiempo discreto

- Densidad espectral de potencia

$$S_{sr}(j\omega) = \frac{1}{T} \cdot \sum_{k=0}^{N-1} E_{s,k} \cdot |\hat{\Phi}_k(j\omega)|^2$$

- Respuesta en frecuencia de las funciones base discretas

$$|\Xi_k(e^{j\omega})|^2 = \frac{1}{N} \frac{\text{sen}^2[(\omega - 2\pi k/N)N/2]}{\text{sen}^2[(\omega - 2\pi k/N)/2]}$$

- Respuesta en frecuencia de las funciones base continuas

$$|\hat{\Phi}_k(j\omega)|^2 = \frac{N}{T} \cdot |\Xi_k(e^{j\omega T/N})|^2 \cdot \left(\frac{T}{N}\right)^2 \cdot \Pi\left(\frac{\omega T}{2\pi N}\right)$$

$$|\hat{\Phi}_k(j\omega)|^2 = \frac{T}{N^2} \cdot \frac{\text{sen}^2[(\omega - 2\pi k/T)T/2]}{\text{sen}^2[(\omega - 2\pi k/T)T/2N]}, \quad |\omega| < \frac{\pi}{T} \cdot N$$

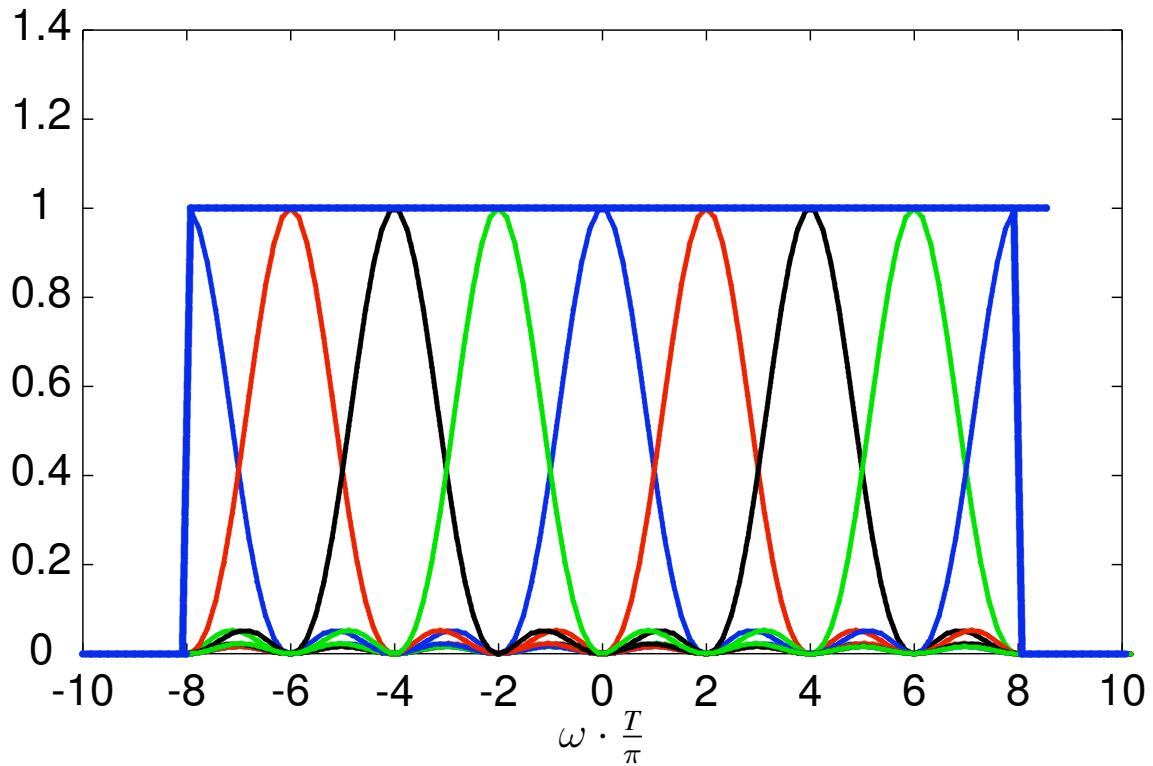
IT (UC3M)

Comunicaciones Digitales

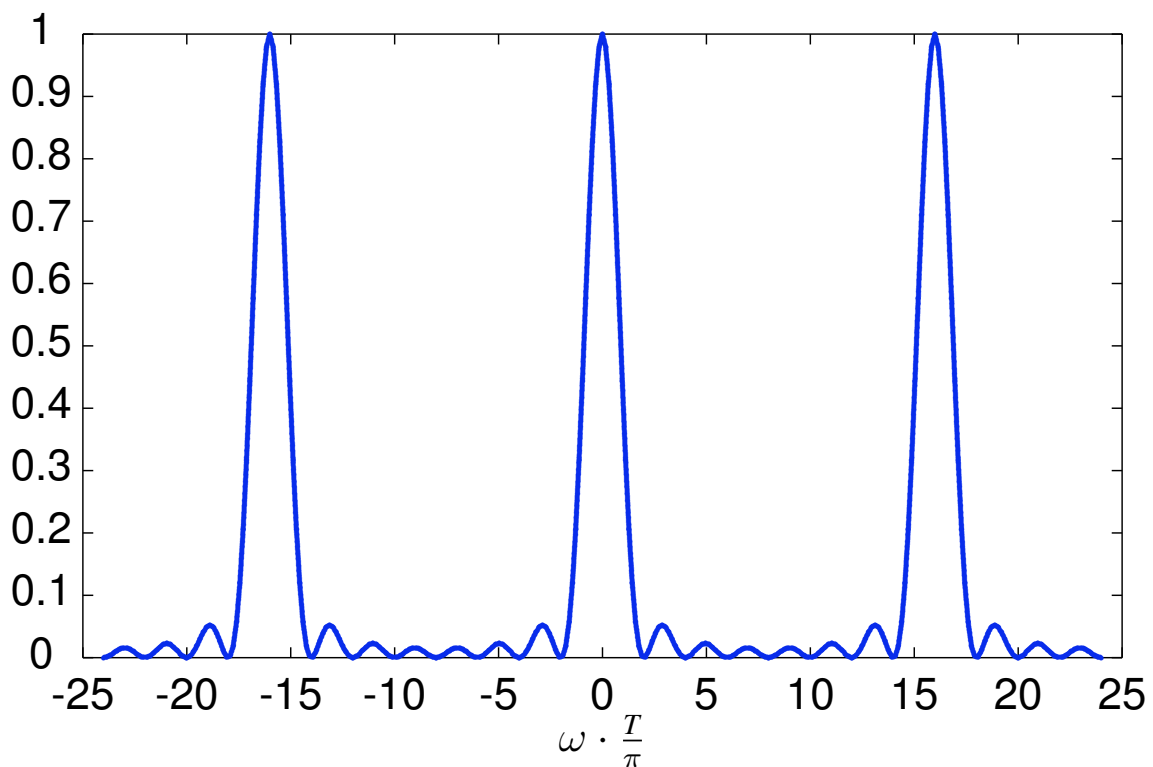
Mod. multipulso - OFDM

10 / 14

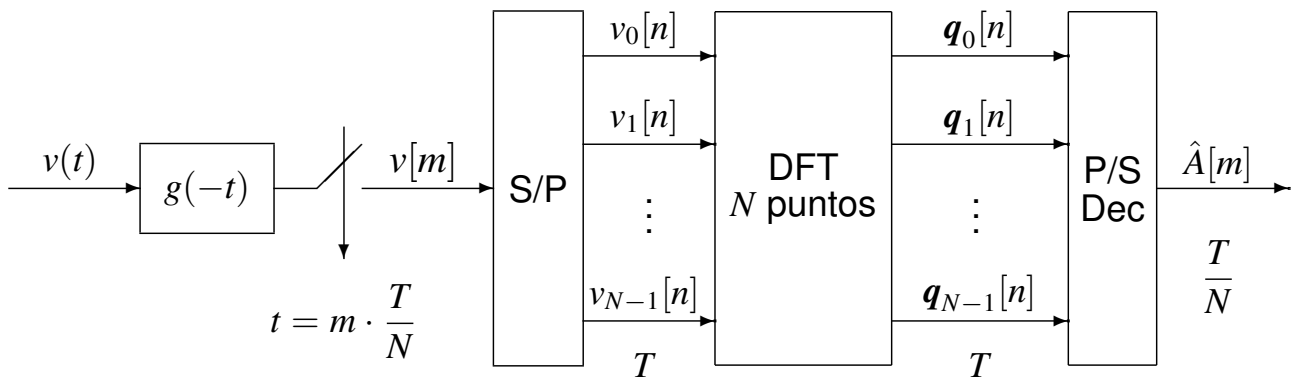
## Espectro OFDM en tiempo discreto - $N = 8$



## Espectro OFDM en tiempo discreto - Periodicidad



# Receptor OFDM en tiempo discreto



# Modulador/demodulador OFDM con prefijo cíclico

