

# Procesamiento de Señales en Comunicaciones

Juan E. Cousseau

Departamento de Ingeniería Eléctrica y Computadoras

Universidad Nacional del Sur

# Contenidos

- **Modulación.**
- **Diseño de Distancia Mínima.**
- **Desempeño en ruido.**
- **Detección.**
- **Ecualización óptima.**
- **Ecualización adaptativa.**
- **Modulación de portadoras múltiples**

# Modulación

- **Introducción.**
- **PAM bandabase**
  - Criterio de Nyquist.
- **PAM pasabanda.**
- **Filtro acoplado**
  - espectro disperso
- **Modulación de pulsos ortogonales**
  - Criterio de Nyquist generalizado.
- **Combinación PAM y pulsos ortogonales**
  - Modulación Multiportadora.
  - CDMA.

# Diseño de Distancia Mínima

- Espacio de señales.
- Diseño en base a distancia mínima.
- Aplicación a diferentes modulaciones
  - Pulsos aislados
  - Con ISI.
- Ancho de banda y dimensionalidad.

# Desempeño en Ruido

## Procesos Gaussianos complejos.

- Probabilidad de error: resultados generales.
- Probabilidad de error PAM.
- Desempeño de Distancia Mínima pulso aislado.
  - PAM; Pulsos Ortogonales (PO); Combinación PAM / PO
- Desempeño de Distancia Mínima para PAM con ISI.
- Espectro Disperso.
- Capacidad y Modulación.

# Detección

- Detección de un símbolo.
- Detección de un vector señal.
- Señales conocidas en ruido Gaussiano.
- Detección no coherente óptima.
- Detección óptima de PAM con ISI.
- Detector de secuencias: Algoritmo de Viterbi.

# Ecualización Óptima

- Criterio de ISI nula.
- Métodos de ecualización generalizados.
- Ecualización de espaciamiento fraccionario.
- Ecualizadores FIR.
- ISI y Capacidad de canal.

# Ecualización Adaptiva

- Ecualizadores de complejidad reducida.
- Ecualizador lineal adaptivo.
- DFE adaptivo.
- Ecualizador de espaciamiento fraccionario.
- Ecualización pasabanda.



# Modulación de portadoras múltiples

- **Multiplexado por división de frecuencias ortogonales (OFDM)**
- **Modulación multicanal**
- **Modulación multitonos discretos (DMT)**

# Modulación

- **Introducción.**
- **PAM bandabase**
  - **Criterio de Nyquist.**
- **PAM pasabanda.**
- **Filtro acoplado**
  - **espectro disperso**
- **Modulación de pulsos ortogonales**
  - **Criterio de Nyquist generalizado.**
- **Combinación PAM y pulsos ortogonales**
  - **Modulación Multiportadora.**
  - **CDMA.**

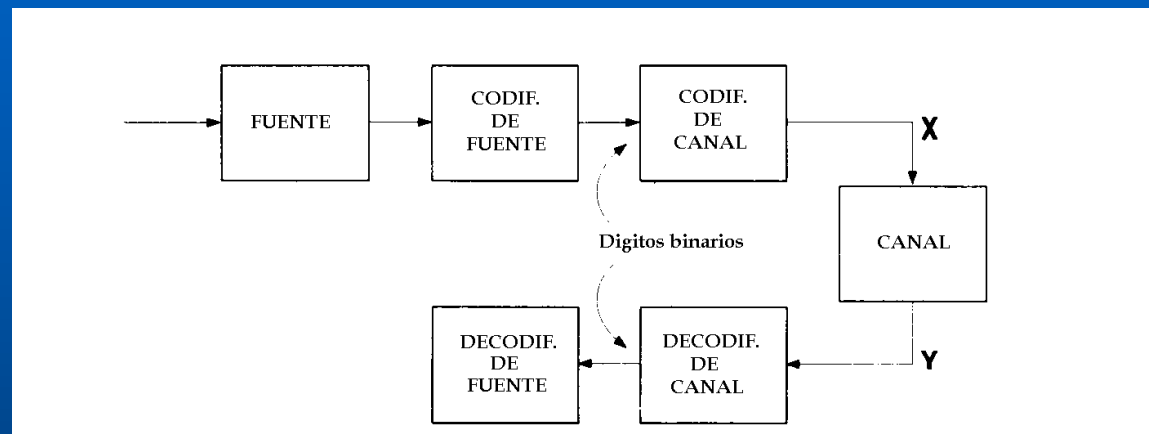
# Modelo de canal desde la perspectiva de Teoría de la Información

- **Receptor interno:**

- produce una secuencia tal que el *canal sincronizado* tenga una capacidad próxima al límite.

- **Receptor externo:**

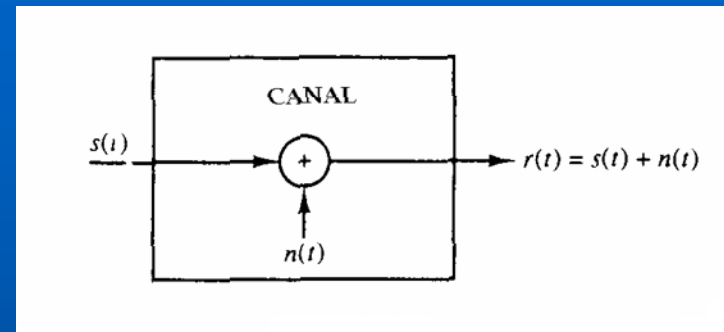
- decodifica en forma óptima secuencia transmitida.



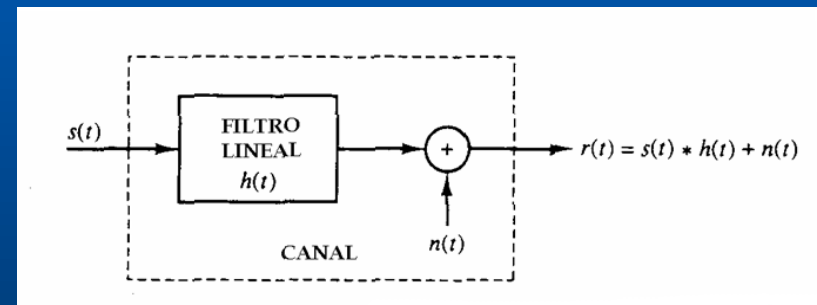
- Cual es la mas alta tasa de compresión? (resp.: la entropía  $H$ ).
- Cual es la máxima velocidad de transmisión? (resp.: la capacidad del canal  $C$ ).

# Modelos de canales Típicos

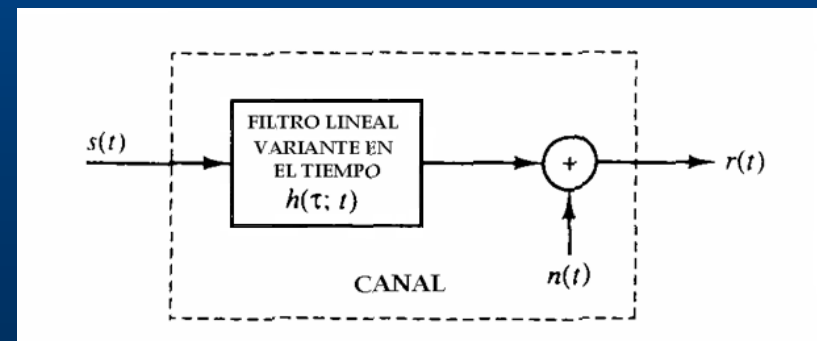
Canal aditivo (AWGN)



Canal aditivo con distorsión lineal

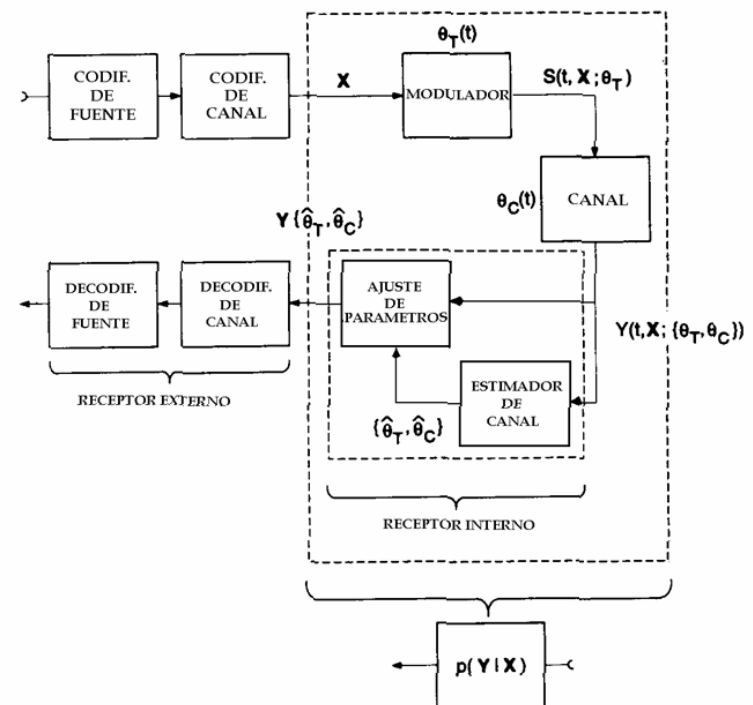


Canal aditivo con distorsión variante en el tiempo



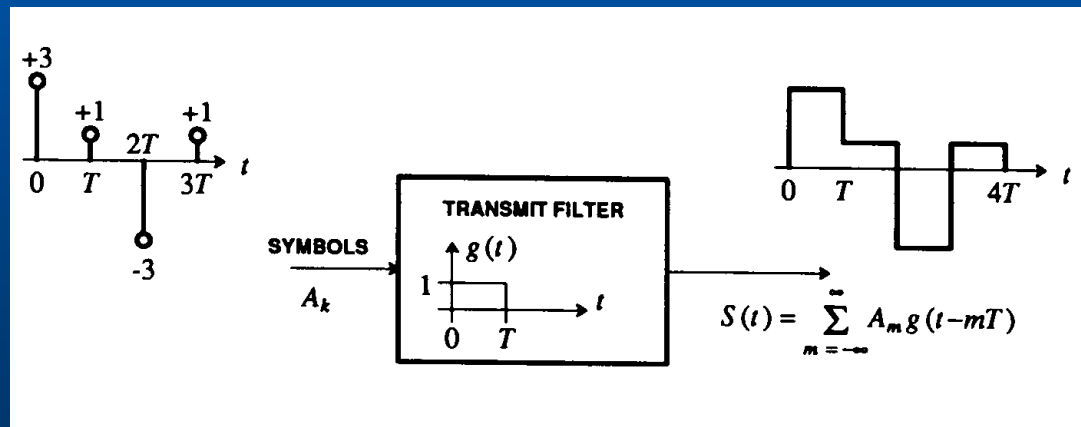
# Esquema funcional de un sistema de comunicaciones

- Si canal AWGN,  $\theta = (\hat{\theta}_T, \hat{\theta}_C)$  pueden suponerse constantes pero desconocidos (i.e.: estimación inicial y luego uso).
- Si canal inalámbrico:  $y(t, \mathbf{x}, (\hat{\theta}_T, \hat{\theta}_C))$ , i.e., es necesaria la estimación acoplada de datos y parámetros. Solución: **transmisión en bloques** (frames).



# Elementos de un sistema de comunicaciones

- Canal, 3 tipos: AWGN, Distorsión lineal, desvanecimiento multicamino
- Transmisor: transforma de símbolos a señales



## Elementos de un sistema de comunicaciones (cont.)

- Receptor: decisión, temporización, estimación.
- Medidas de desempeño:

velocidad límite

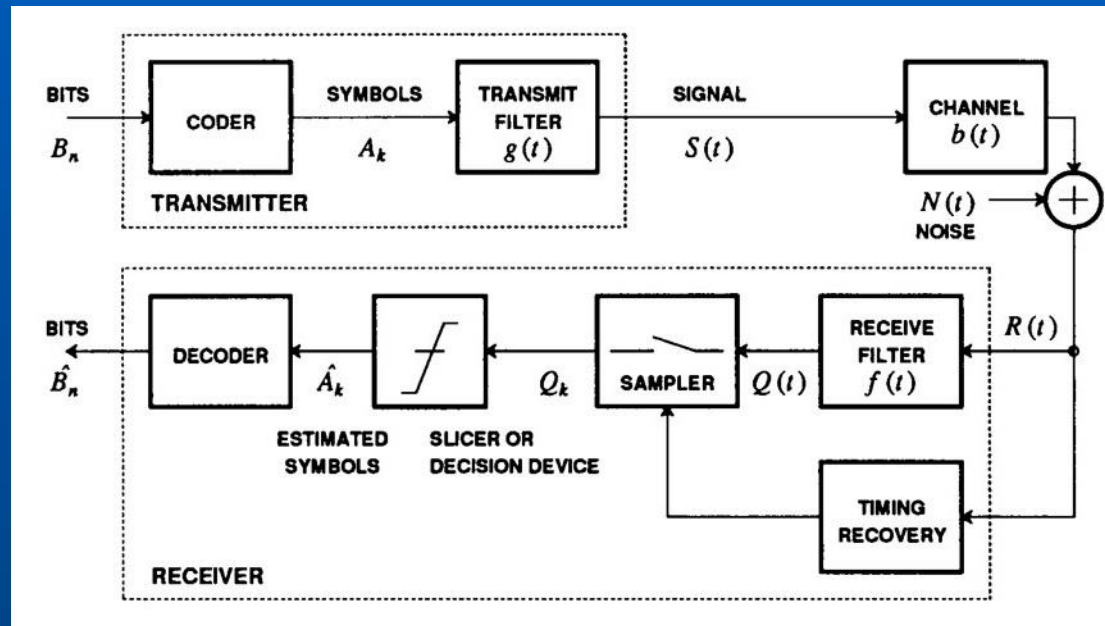
$$C_S = \frac{1}{2} \log_2 \left( 1 + \frac{\sigma_x^2}{\sigma^2} \right)$$

Eficiencia espectral

$$\nu = \frac{\text{veloc. [bits/seg]}}{\text{ancho de banda [Hz]}} = \frac{\log_2 \Omega_A}{BT}$$

# Elementos de un sistema de comunicaciones (cont.)

## Esquema básico:



Un sistema de comunicación bandabase, mostrando el codificador y filtro de transmisión, el canal, el filtro de recepción, el muestreo y recuperación del temporizado, el elemento de decisión y el decodificador.



## PAM bandabase

$$S(t) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} A_m g(t + \Theta - mT)$$

DEP PAM  $S_S(jw) = \frac{1}{T} |G(jw)|^2 S_A(e^{jwT}) = \frac{\sigma_A^2}{T} |G(e^{jw})|^2$

Si Canal ideal  $B(jw) = \begin{cases} 1; & |w| < W \\ 0; & |w| \geq W \end{cases}$

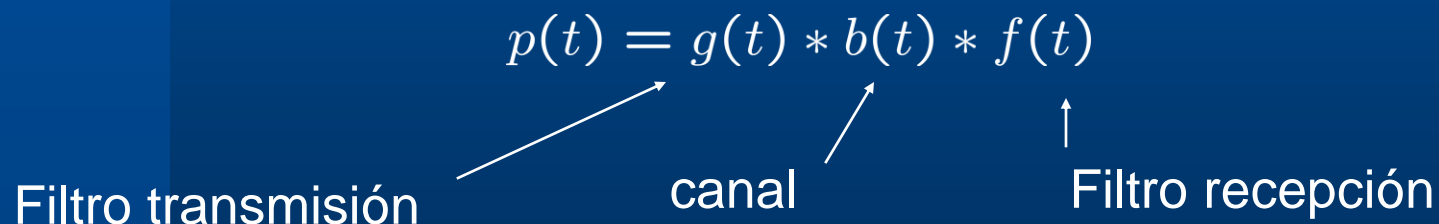
Pulso básico  $G(jw) = \begin{cases} \pi/W; & |w| < W \\ 0; & |w| \geq W \end{cases} \quad g(t) = \frac{\sin(Wt)}{Wt}$

# Interferencia intersímbolo (ISI)

Salida muestreada receptor

$$\begin{aligned} Q_k &= \sum_{m=-\infty}^{\infty} A_m p(kT - mT) + U(kT) \\ &= A_k p(0) + \underbrace{\sum_{m \neq k} A_m p(kT - mT)}_{\text{ISI !!}} + U(kT) \end{aligned}$$

ISI !!



# Critério de Nyquist

Condición de ISI nula:

$$p(kT) = \delta_k \quad Q(kT) = A_k + U_k$$

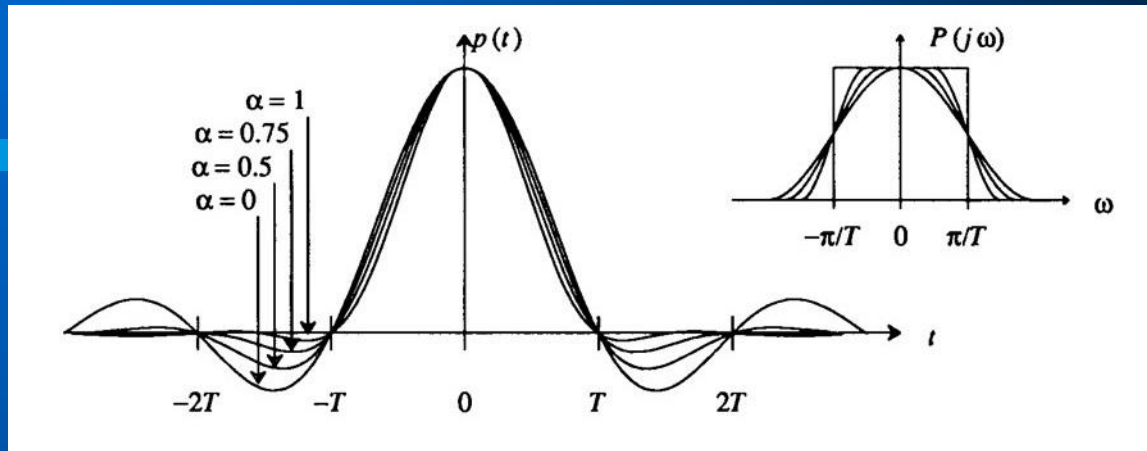
Lo que se puede escribir como

$$\frac{1}{T} \sum_{k=-\infty}^{\infty} P[j(\omega - \frac{2\pi}{T}k)] = 1$$

Entonces, se cumple si ancho de banda de  $p(t)$ ,  $B$  verifica

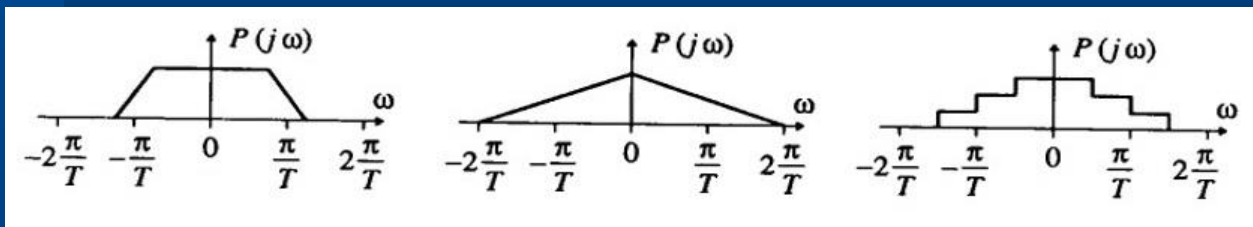
$$B \geq \frac{\pi}{T}$$

## Critério de Nyquist (cont.)

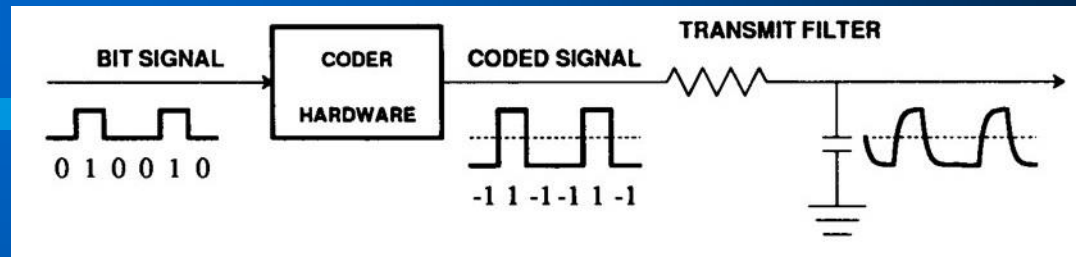


Una familia de pulsos con cruces por cero en múltiplos de  $T$ , para 4 valores de  $\alpha$ , el factor de superposición (roll-off), y sus TF. Con la forma de “coseno elevado” el exceso de ancho de banda aumenta con  $\alpha$  de 0 a 100%.

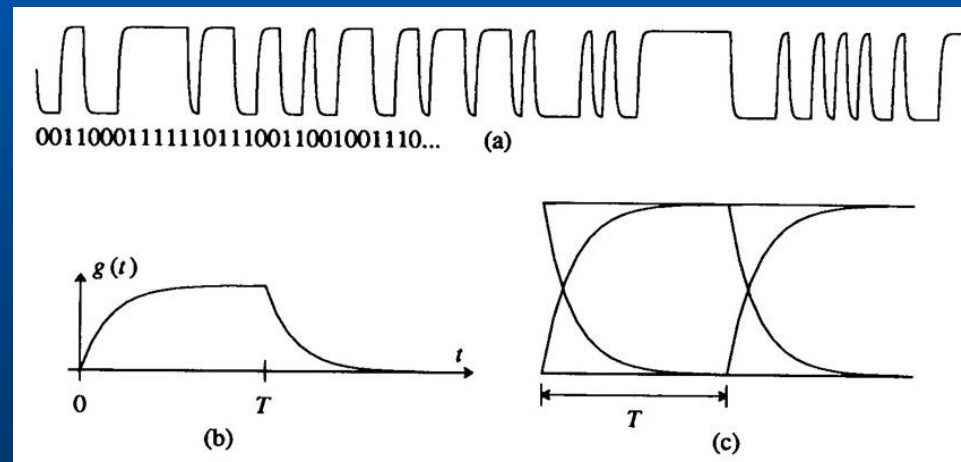
Condición de ISI nula: ejemplos de alternativas



## Ejemplo de PAM bandabase, diagrama de ojo.

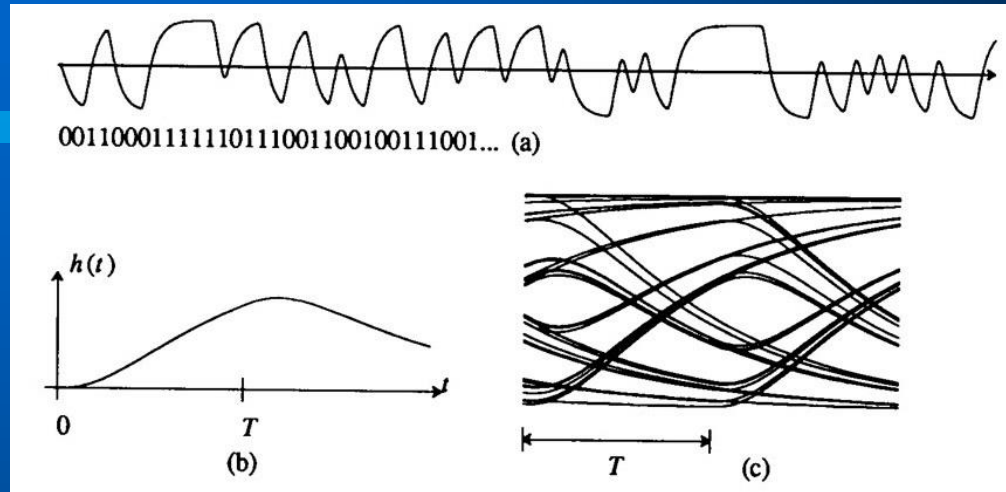


Transmisor PAM bandabase simplificado que puede usarse cuando la capacidad del canal es mucho mayor que la velocidad de transmisión deseada.



a) Salida del filtro RC de 1er. Orden y los datos representados; b) Representación de la forma del pulso para 2 intervalos de símbolo; c) Se muestra el diagrama de ojo, que en este caso está ampliamente abierto.

## Ejemplo de PAM bandabase, con ISI.



La salida del transmisor ahora se hizo pasar por un canal (filtro Butterworth de 2do. orden con una frecuencia de 3 dB igual a la tasa de transmisión. a) Secuencia temporal; b) Símbolos consecutivos; c) Diagrama de ojo, ahora relativamente cerrado.

Entonces, para evitar ISI

$$F(jw) = \begin{cases} \frac{P(jw)}{B(jw)G(jw)}; & w \text{ tal que } B(jw)G(jw) \neq 0 \\ 0; & w \text{ tal que } B(jw)G(jw) = 0 \end{cases}$$

Si no es posible (por compromiso de ruido): **ECUALIZACIÓN** (lineal, DFE, Viterbi).

# Modulación (resumen)

- **Introducción.**
- **PAM bandabase**
  - **Criterio de Nyquist.**
- **PAM pasabanda.**
- **Filtro acoplado**
  - **espectro disperso**
- **Modulación de pulsos ortogonales**
  - **Criterio de Nyquist generalizado.**
- **Combinación PAM y pulsos ortogonales**
  - **Modulación Multiportadora.**
  - **CDMA.**