

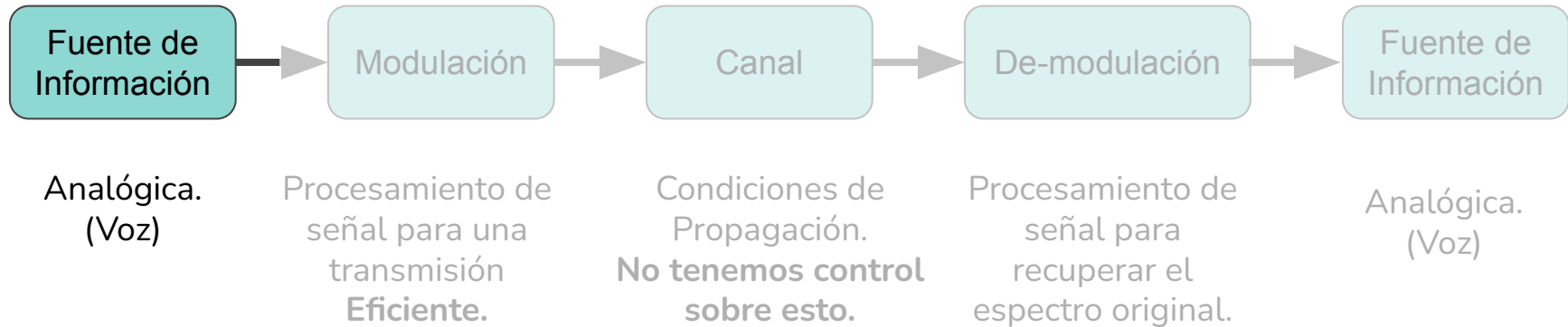
Comunicaciones 1

Modulación por Pulsos

Analógico y Digital



Sistemas de comunicaciones



Teoría de Muestreo.

Muestreo Ideal

- Los intervalos de muestreo son uniformes.
- $x(t)$ es limitada en banda.

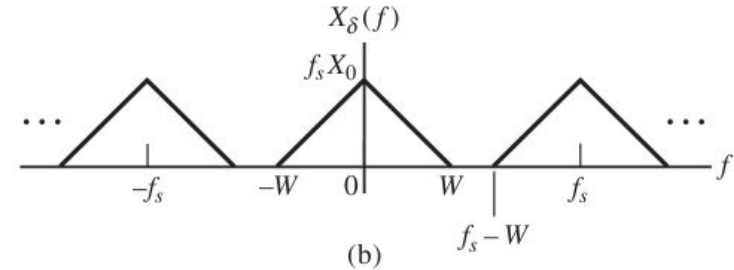
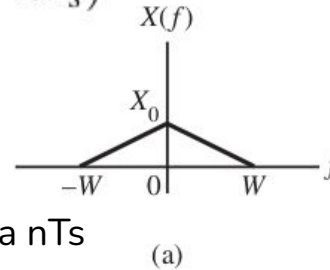
Representación de la señal a través de sus muestras.

$$x_{\delta}(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(nT_s)\delta(t-nT_s)$$

$x(t)$ Señal analógica

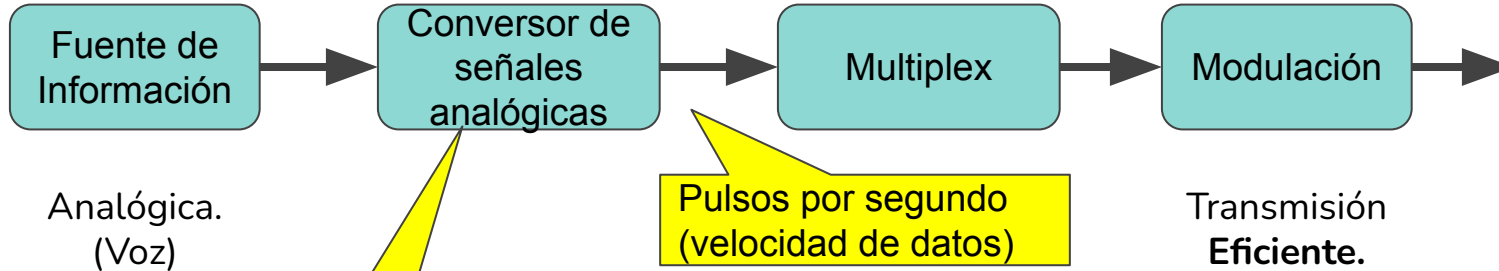
T_s Intervalo de muestreo

$\delta(t - nT_s)$ Delta Dirac, cada nT_s



Si la señal $x(t)$ es limitada en banda, W Hz, entonces $x(t)$ puede ser descrita a partir de sus muestras instantáneas y uniformemente distribuidas en tiempo si $T_s < 1/2W$. De manera inversa, $x(t)$ puede ser completamente reconstruida a partir de $x_{\delta}(t)$ filtrando la señal a través de un filtro pasabajos ideal de ancho de banda $W < B < f_s - W$

Sistemas de comunicaciones y muestreo de señales



Veremos varios métodos

- Las muestras son adquiridas intervalos de tiempo uniformemente distribuidos.
- La tasa de muestreo tiene relación con la señal fuente, pero no con la velocidad de transmisión de datos.
- El sincronismo se vuelve muy importante.



Modulación por pulsos.

Definiciones

- **Modulación por pulsos Analógica.**

Algún atributo del pulso varía en correspondencia uno a uno con el valor de la muestra.

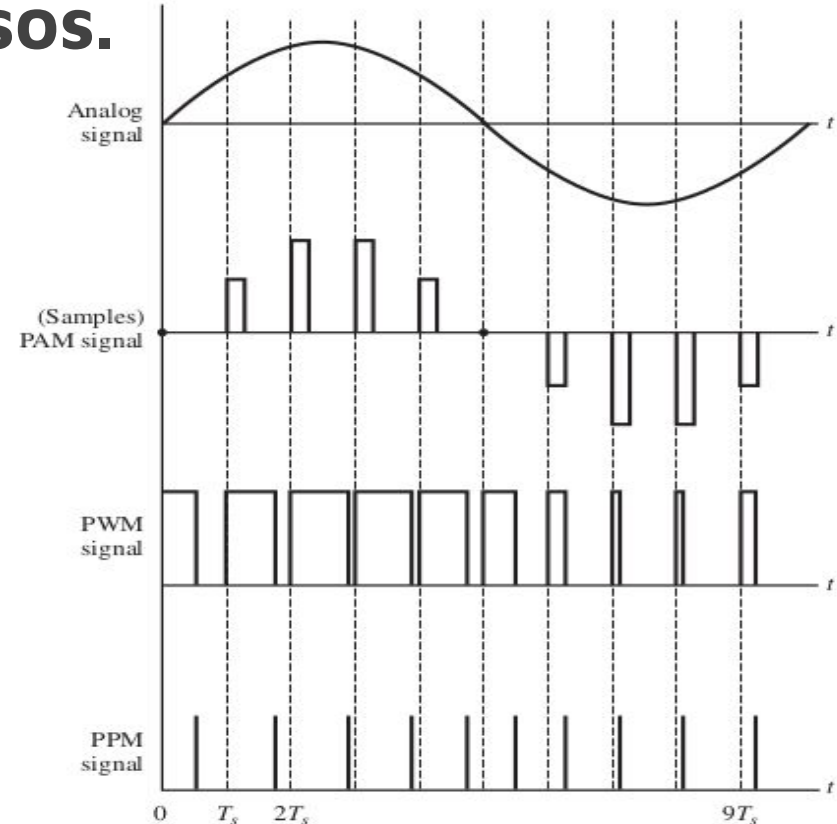
- **Modulación por pulso Digital**

Algún atributo del pulso toma un valor de un conjunto (finito) permitido de valores.

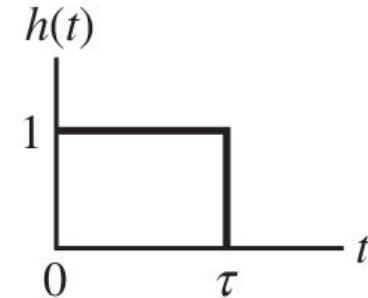
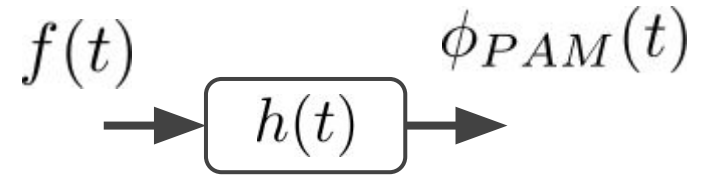
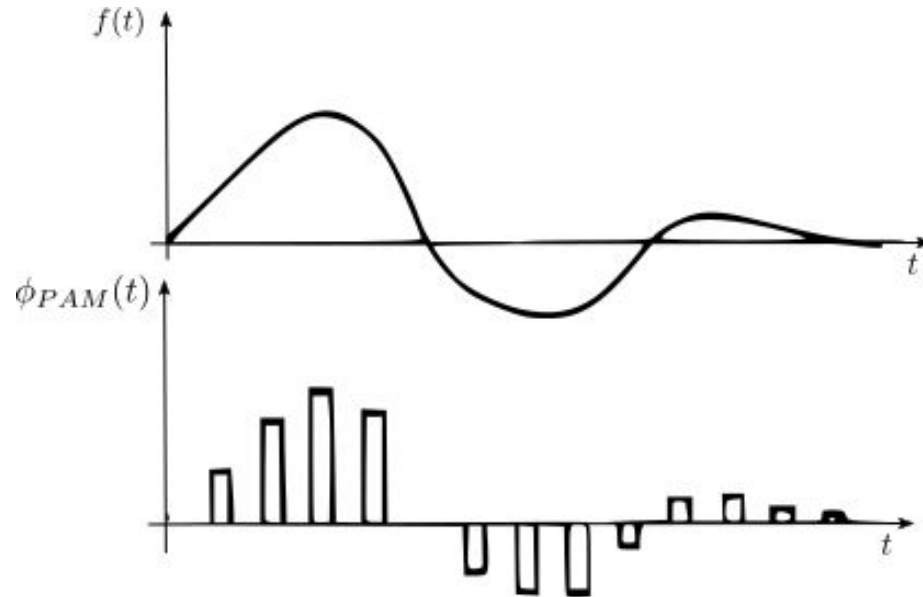
Modulación por pulsos. Analógicas

Atributos del pulso y modulación

- Amplitud
 - Pulse Amplitude Modulation (PAM)
- Ancho de pulso
 - Pulse Width Modulation (PWM)
- Posición
 - Pulse Position Modulation (PPM)



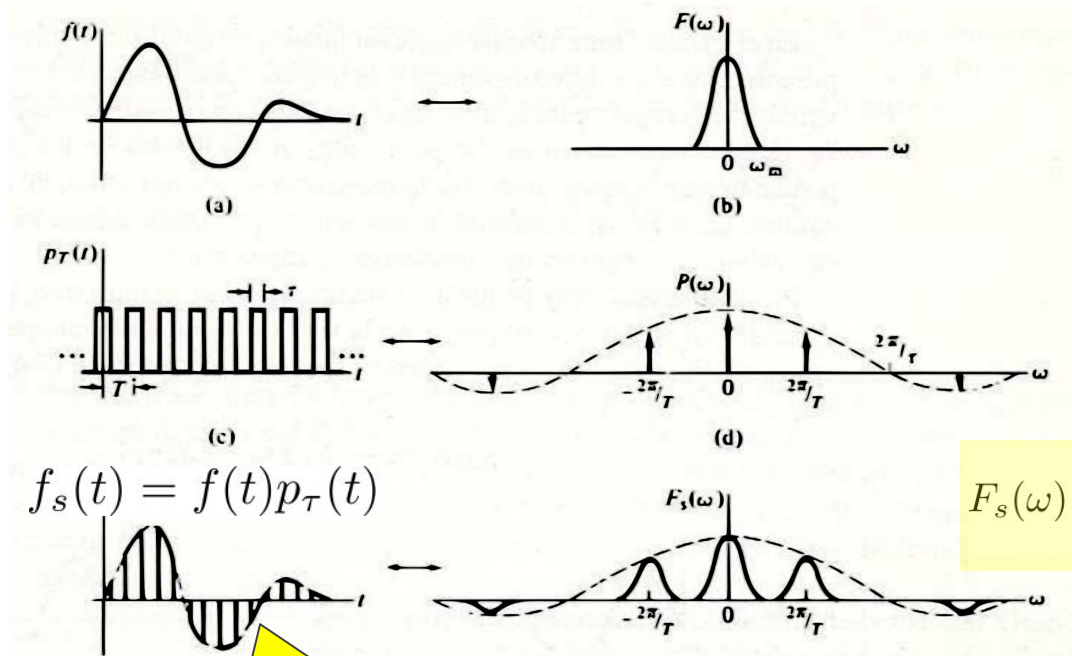
Modulación por pulsos. Analógicas. PAM



$h(t)$

Modulación por pulsos.

Analógicas. PAM

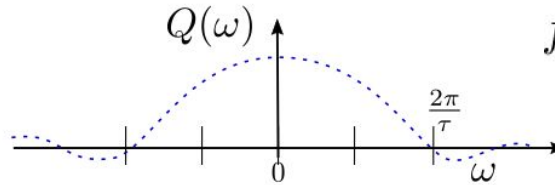
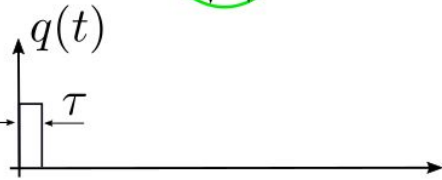
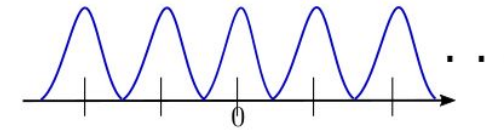
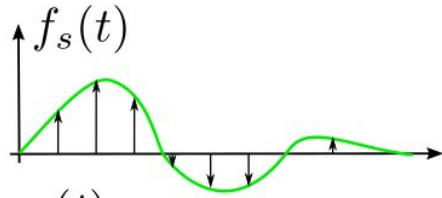
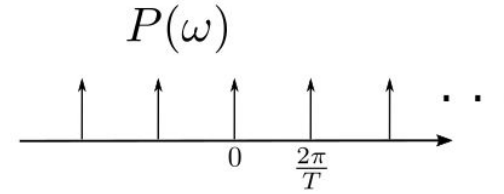
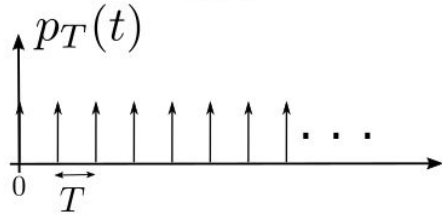
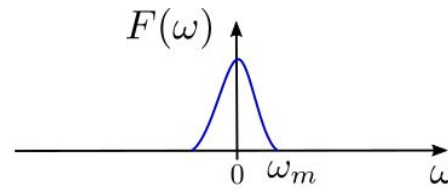
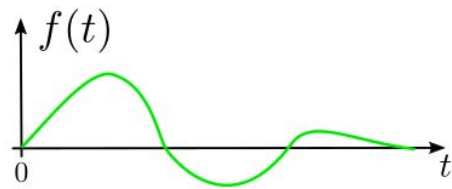


$$F_s(\omega) = \frac{\tau}{T} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \text{Sinc}(n\pi\tau/T) F(\omega - n2\pi/T)$$

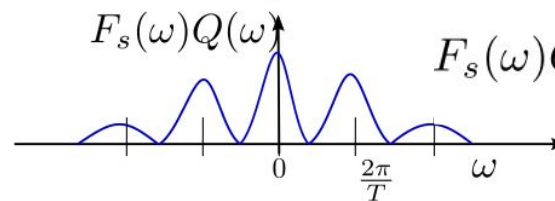
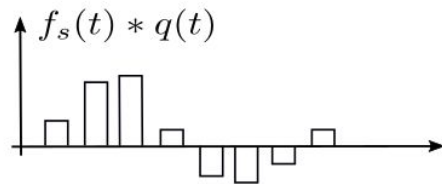
Cresta variante

Modulación por pulsos.

Analógicas. PAM



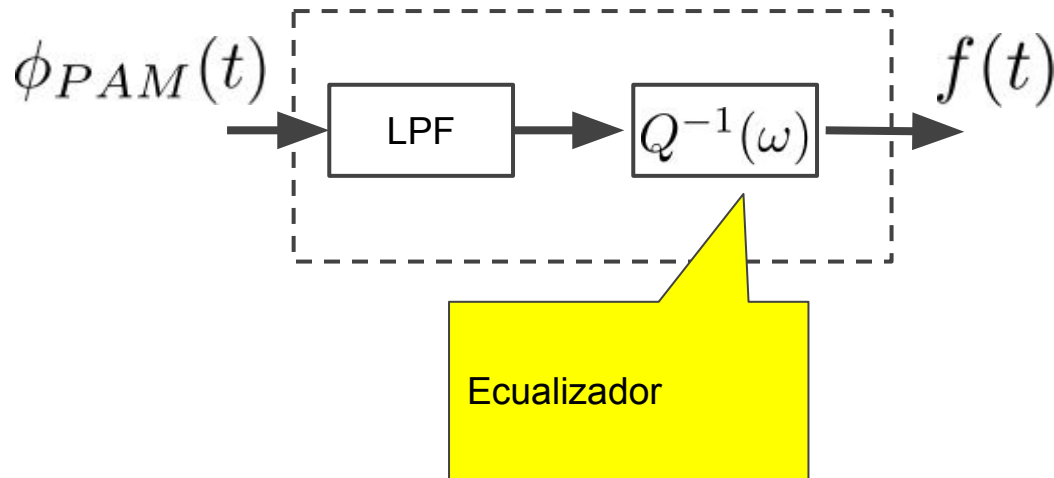
$$f_s(t) * q(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} f(nT)q(t - nT)$$



$$F_s(\omega)Q(\omega) = \frac{1}{T} \sum_{n=-\infty}^{\infty} F(\omega - n2\pi/T)Q(\omega)$$

Modulación por pulsos.

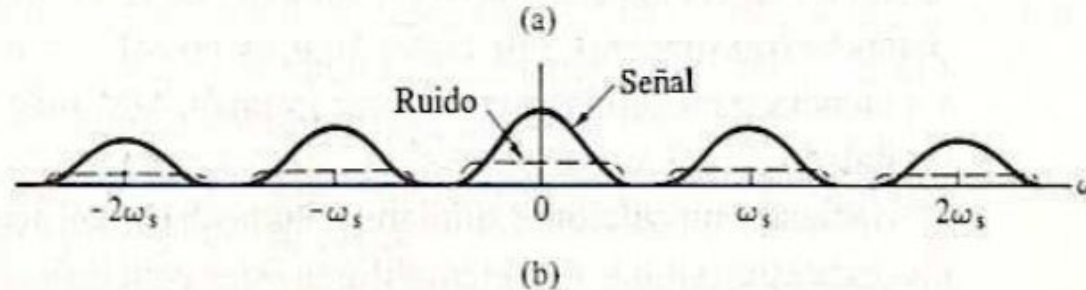
Analógicas. PAM



- Existe la necesidad de corregir la distorsión.
- La distorsión debe ser conocida.

Modulación por pulsos.

Analógicas. PAM



$$s_0^2(t) = k s_i^2(t)$$
$$n_0^2(t) = k n_i^2(t)$$

$$\frac{S_o}{N_o} = \frac{S_i}{N_i}$$

Resultado basado en
Potencias medias

Modulación por pulsos.

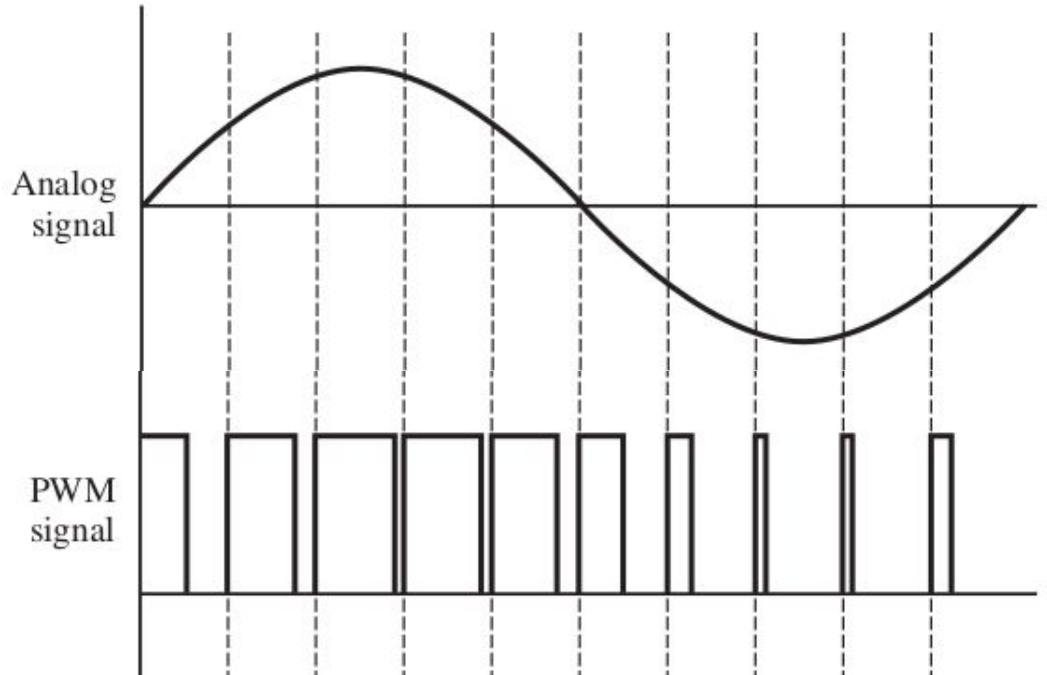
Analógicas. PAM

- $q(t)$ define la forma del pulso de salida y se puede elegir.
- Espectro de la señal de información distorsionado en base a la forma de $q(t)$.
- La información se encuentra en la altura del pulso no en la forma del mismo.
- La relación señal a ruido a la entrada del detector es la misma a su salida.
- El ancho de banda de la cantidad de pulsos ($\nu=1/T_s$) por segundo se puede pensar como:

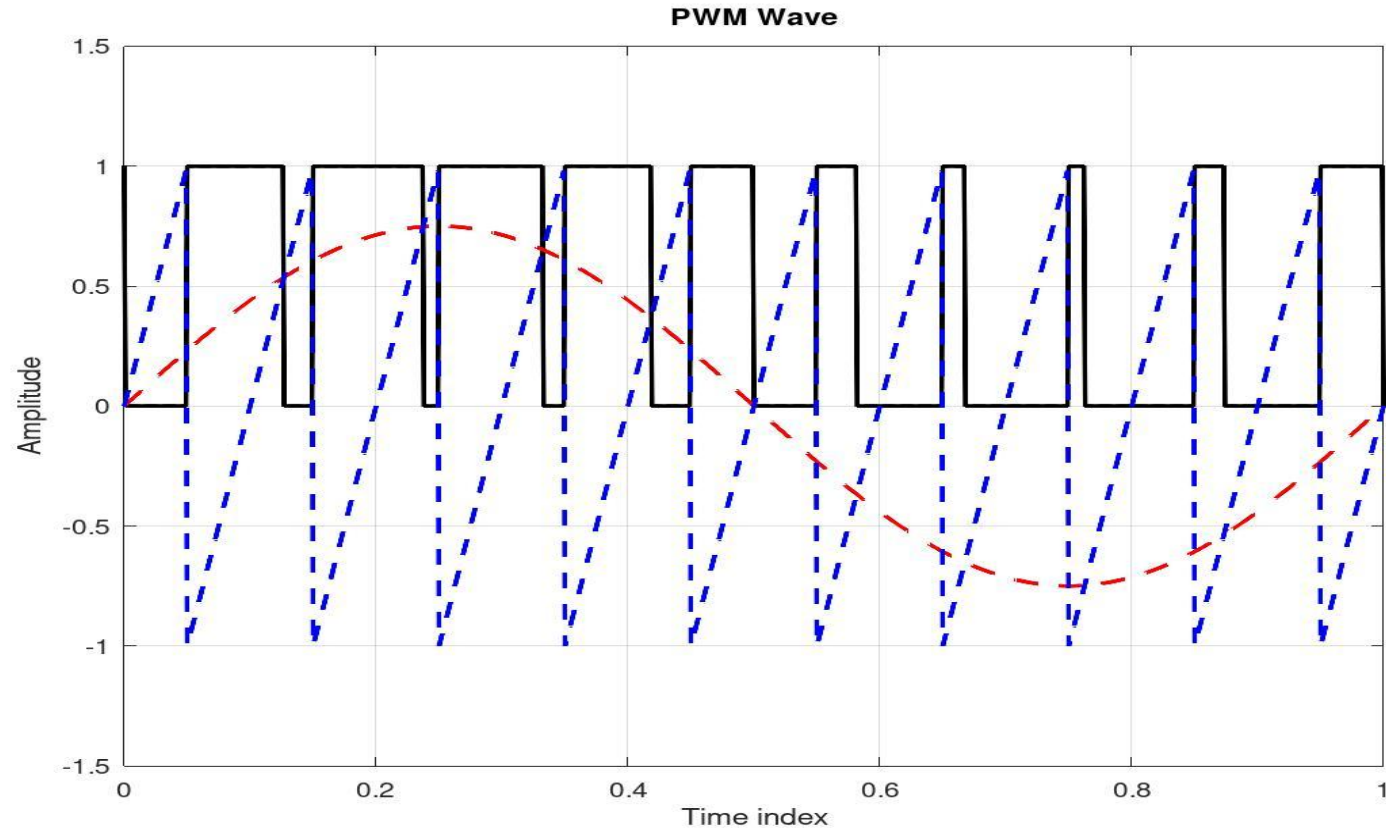
$$B \geq \frac{\nu}{2}$$

Modulación por pulsos.

Analógicas. PWM

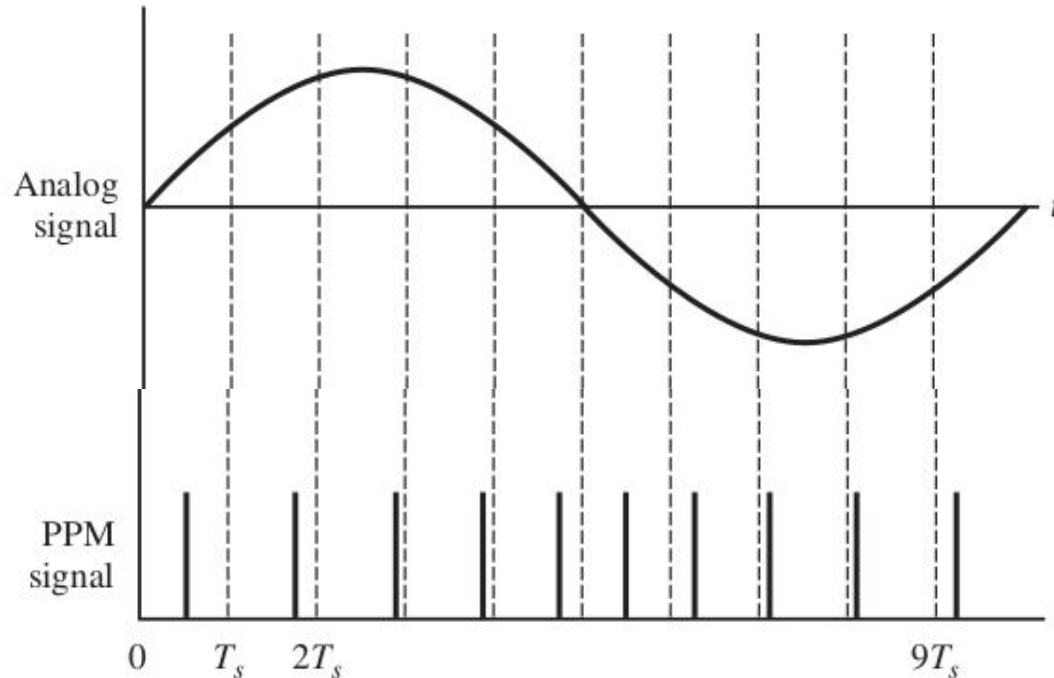


- En cada instante de muestreo se genera un pulso de amplitud fija y ancho proporcional a la amplitud de $f(t)$.
- La duración max. del pulso debe ser menor al slot de muestra.
- Se considera un tiempo de guarda.
- Aplicación: control remoto proporcional.
- Propiedad: Valor medio de señal PWM directo proporcional a la modulación.



Modulación por pulsos.

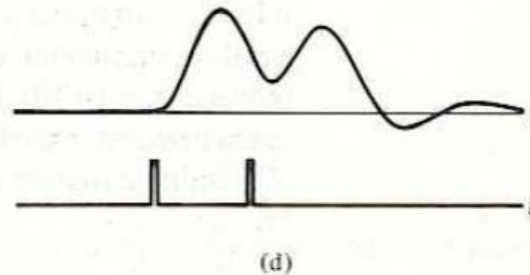
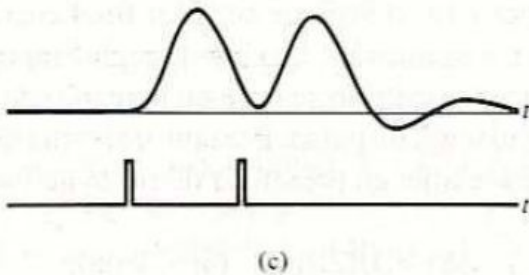
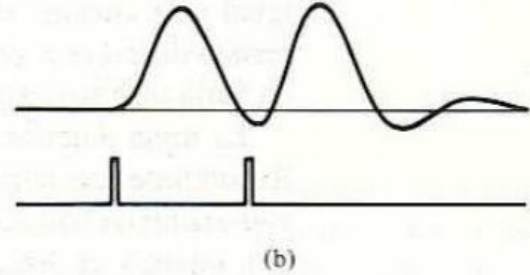
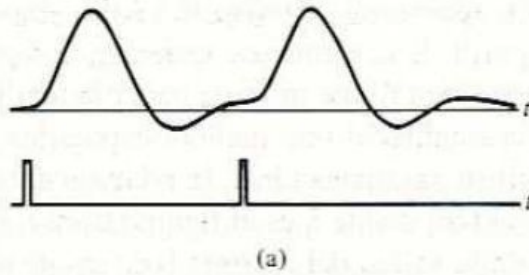
Analógicas. PPM



- Tanto PWM como PPM son métodos de modulación no lineales.
- Es necesario reconstruir buena parte del pulso para identificar su posición.
- Criterio: Los pulsos deben espaciarse al menos por el ancho efectivo de la respuesta del sistema al impulso.

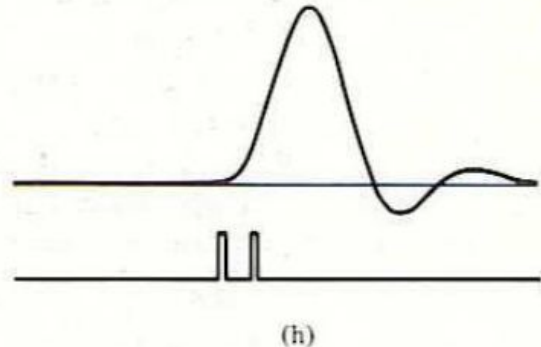
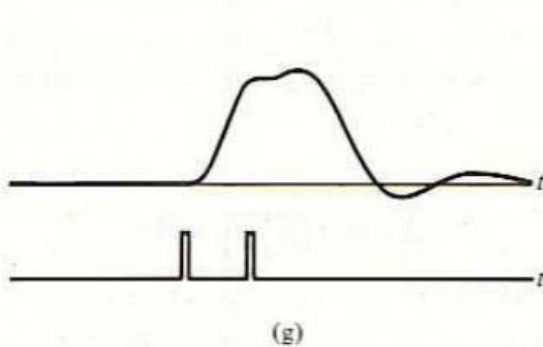
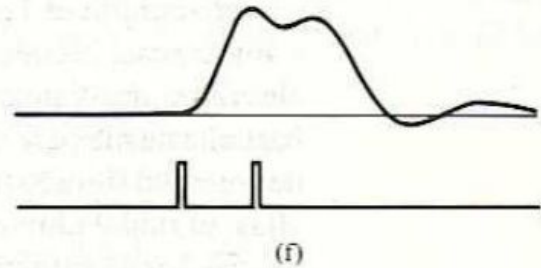
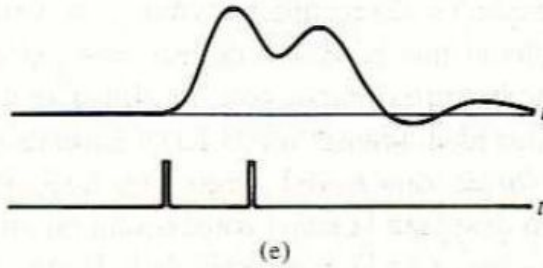
Modulación por pulsos.

Analógicas. PPM



Modulación por pulsos.

Analógicas. PPM



Modulación por pulsos.

Analógicas. PWM

- Relación ancho de banda y tiempo de elevación para un filtro pasabajos es: $T_r = 1/B$
- Pero como criterio práctico, la mínima precisión de tiempo detectable en presencia de ruido activo:

$$\Delta\tau \approx \frac{1}{2B}$$

- El criterio anterior es válido para SNR bajas, para SNR altas:

$$\Delta\tau \approx \frac{1}{B(\sqrt{SNR_{pk}})}$$

Este valor se suele tomar como umbral de detección.



Modulación por pulsos.

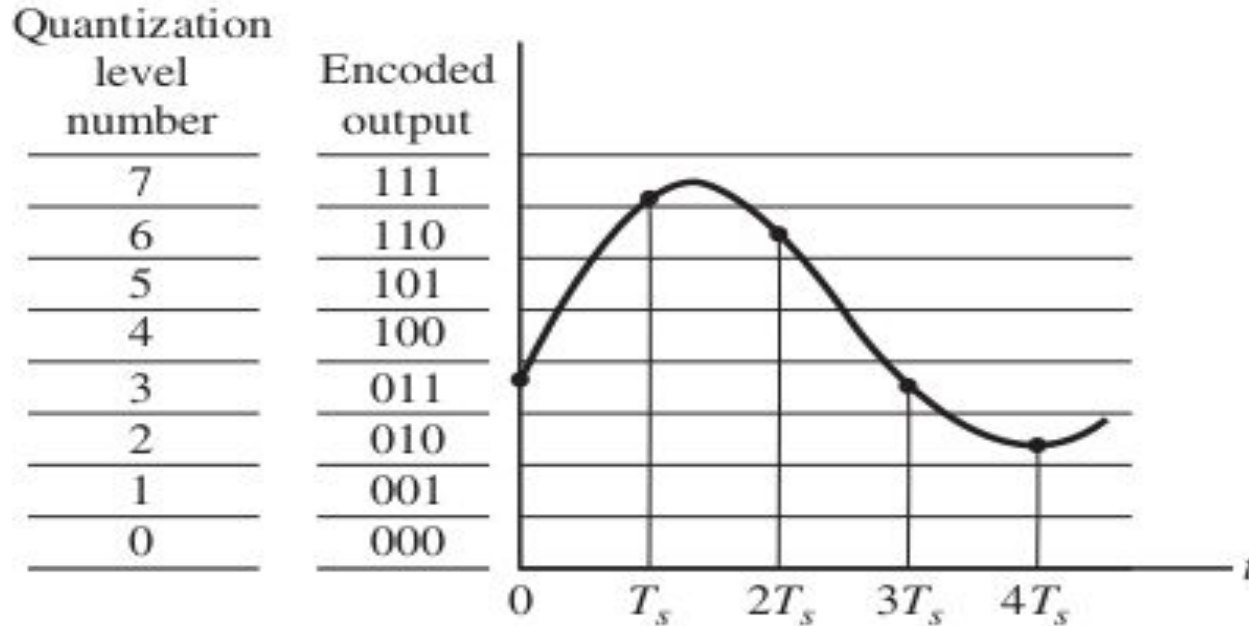
Analógicas. Sumario

- Esquemas que funcionan como conversión de representación de señales.
- Se utilizan para transmitir valores eficaces de una señal en comando remoto de servos y motores.
- La relación entre el ancho de banda de la señal modulante y la señal modulada es de varios órdenes de magnitud.

Modulación por pulsos

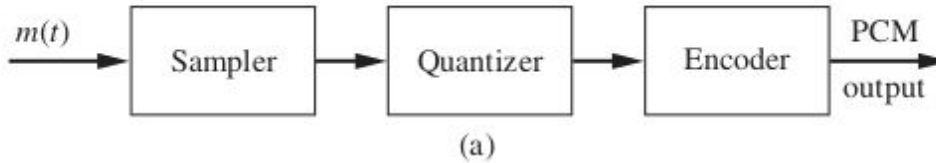
Digital

- Pulse-Code Modulation (PCM)



Modulación por pulsos.

Digital. PCM

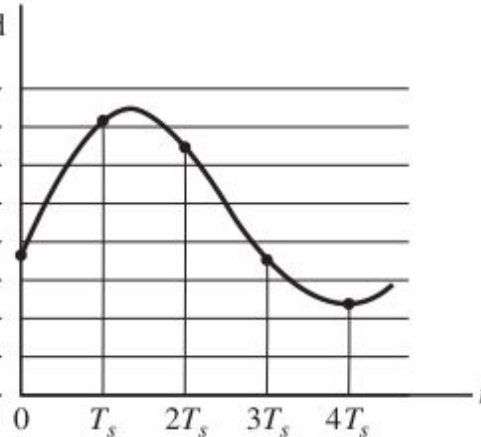


Quantization
level
number

7
6
5
4
3
2
1
0

Encoded
output

111
110
101
100
011
010
001
000



Dígito	Código binario	Código de pulsos binario
0	000	
1	001	
2	010	
3	011	
4	100	
5	101	
6	110	
7	111	





Modulación por pulsos.

Digital. PCM

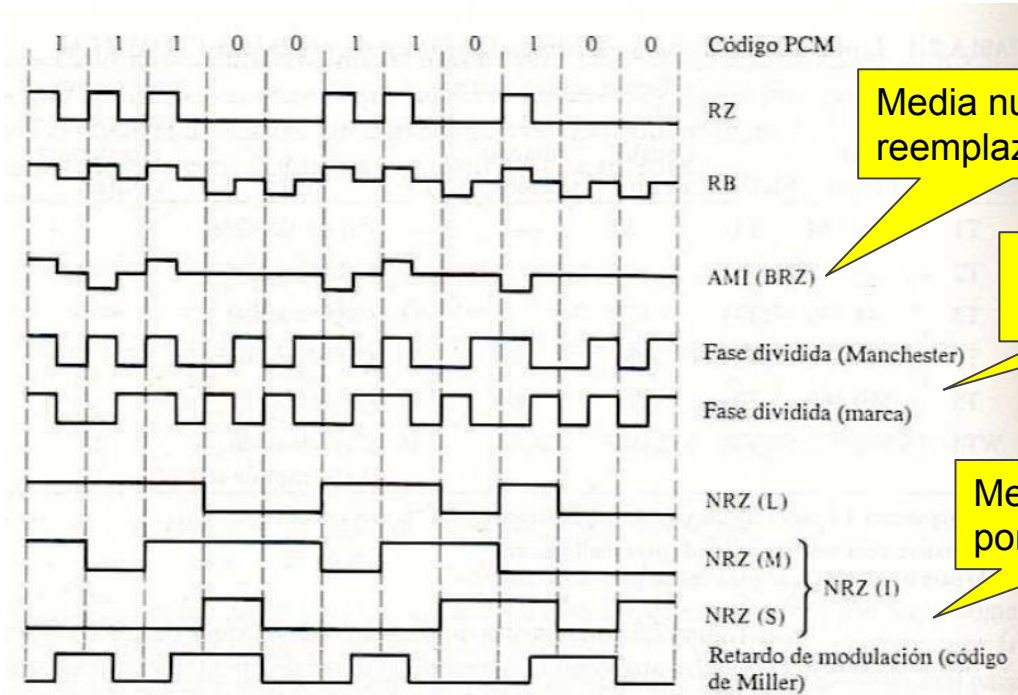
Ventajas

- Regeneración de la muestra libre de ruido.
- Almacenamiento efectivo de la información.
- Puede codificarse para eliminar redundancia.
- Codificación eficiente para mitigar efectos de ruido e interferencia.
- Compatibilidad inherente con circuitos digitales.

Modulación por pulsos.

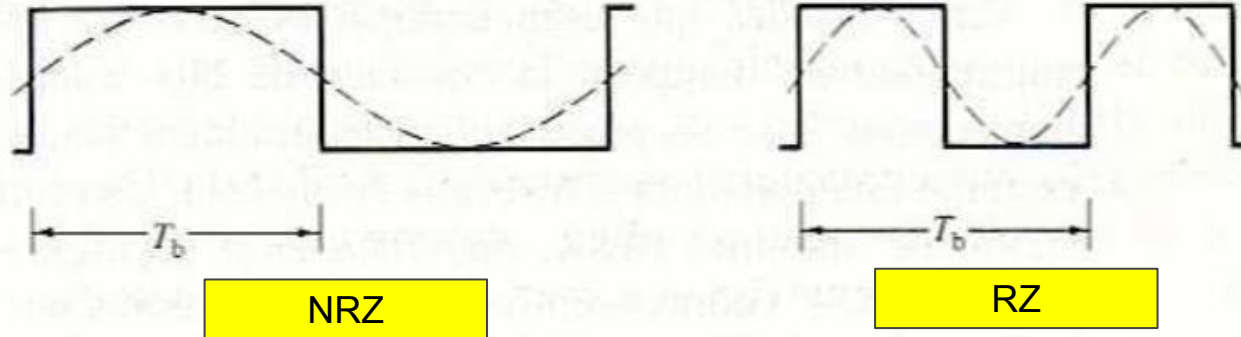
Digital. PCM. Codificación de línea.

Codificación para resolver problemas de sincronía, potencia media disipada y ancho de banda.



Modulación por pulsos.

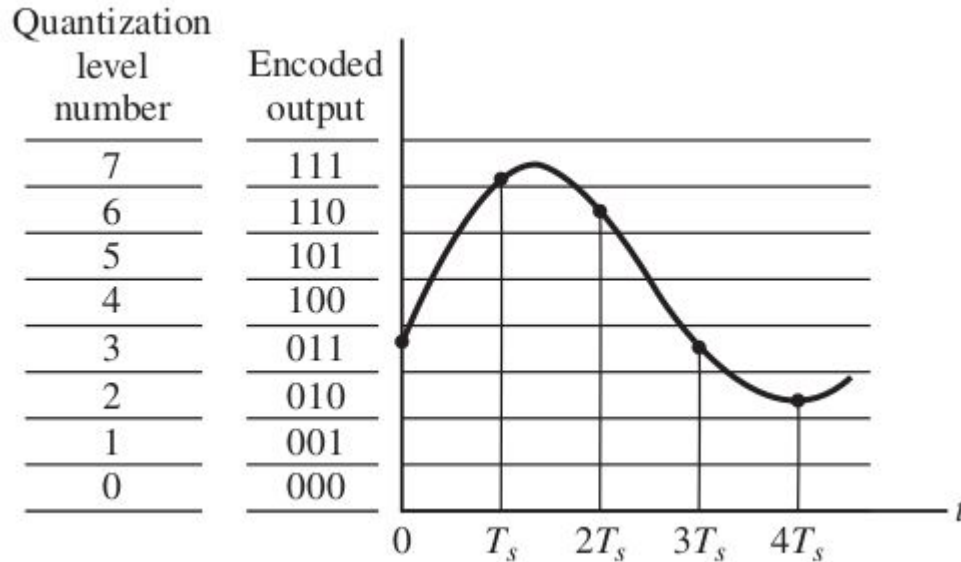
Digital. PCM. Eficiencia espectral



Cantidad de bits/ segundo/Hz [bps/Hz]

Modulación por pulsos.

Digital. PCM. Ancho de banda



$$R = \log_2(n)/T_s$$

$$B_{PCM} \geq \frac{R}{2}$$

n: niveles de cuantización.

Ts: tiempo de muestreo.

R: Tasa de símbolos



Modulación por pulsos.

Digital. PCM. Error de cuantificación

La cuantificación genera una incertidumbre sobre el valor real de la muestra de la señal. En este sentido es factible considerar esta incertidumbre como un error y cuantificar su magnitud en base a la elección de la cantidad de bits (n) de representación de la muestra y su distribución. Por ejemplo, para una cuantificación uniforme y sistema binario:

$$S/N_Q \cong 4.8 + 6n$$



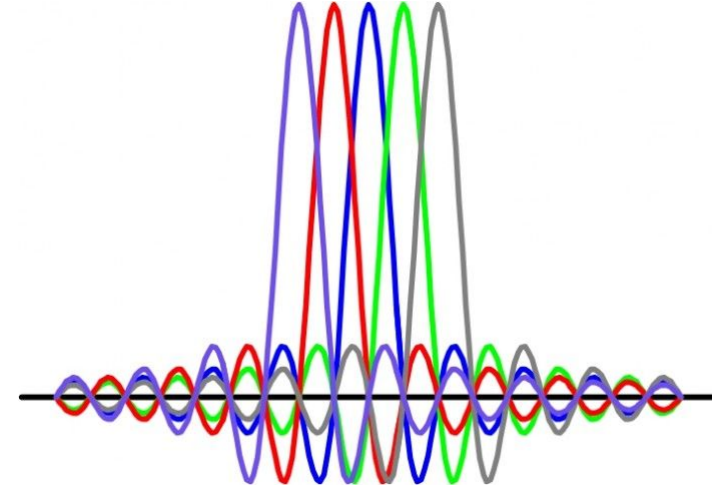
Modulación por pulsos.

Digital. Sumario

- Esquema que funcionan como conversión de representación de señales.
- Dependiendo del medio donde operan pueden ser más inmunes a las interferencias.
- Sensible a las interferencias intersímbolos

Multiplexación.

- **Analógico.** Enviar señales simultáneas que puedan ser separables en el receptor.
- **Digital.** La idea de que una señal puede representarse a través de sus muestras y luego se puede enviar pulsos cada cierto tiempo, permite pensar en una señal compuesta.



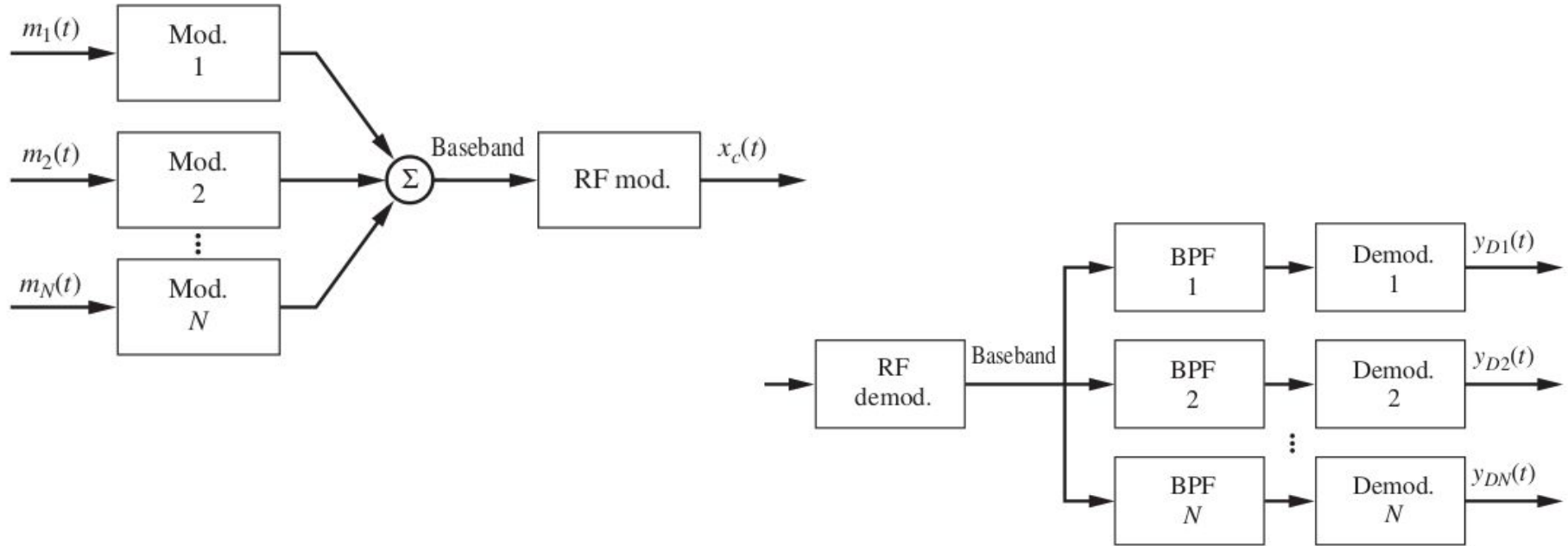


Multiplexación.

- Multiplexación por División de Frecuencia.
 - *Frequency Division Multiplexing (FDM)*
- Multiplexación por cuadratura.
 - *Quadrature Multiplexing (QM)*
- Multiplexación por División de tiempo.
 - *Time División Multiplexing (TDM)*

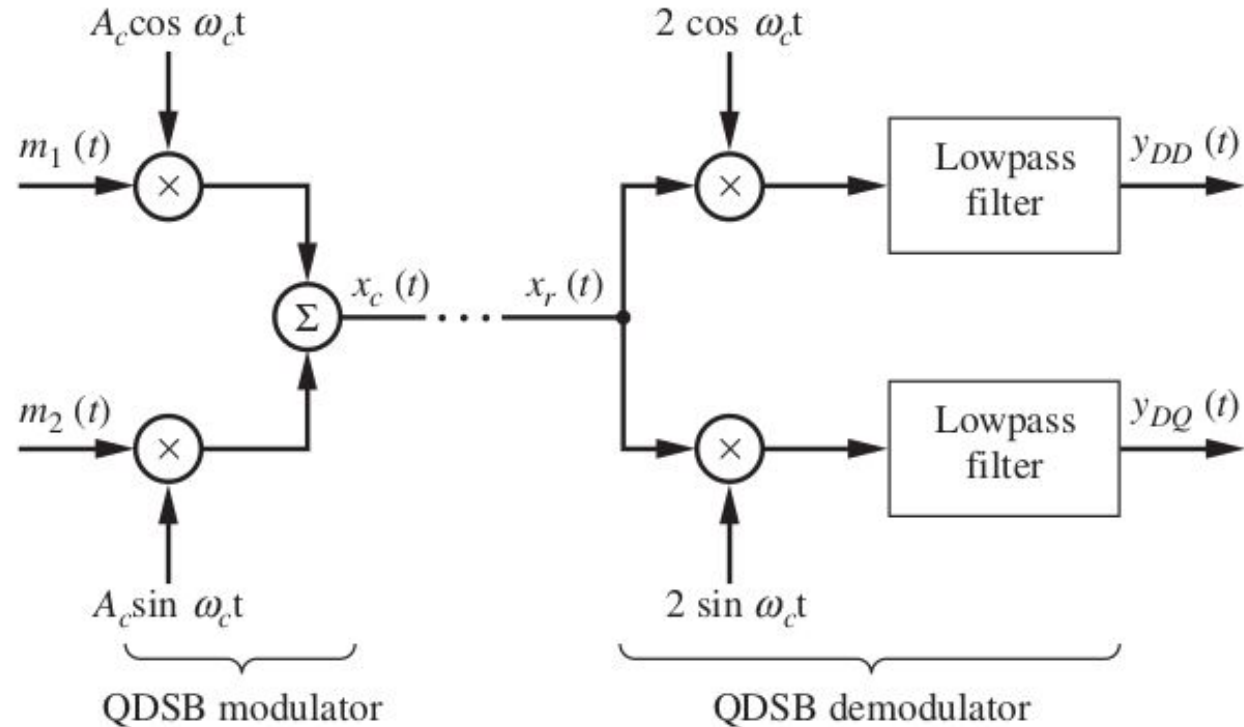
Multiplexación.

Multiplexación por División de Frecuencia.



Multiplexación.

Multiplexación por cuadratura.



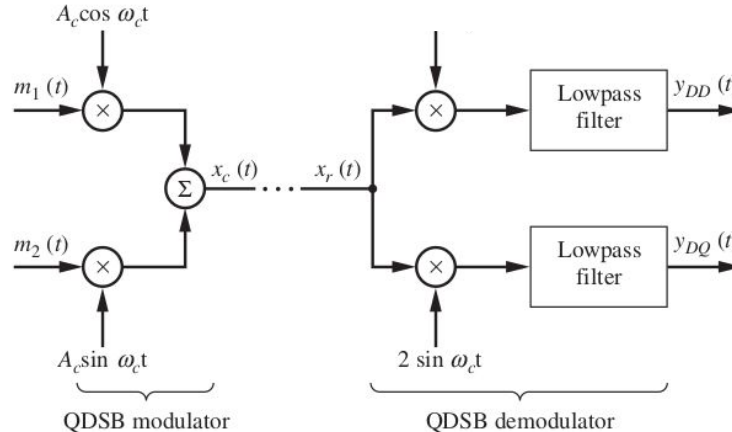
Multiplexación.

Multiplexación por cuadratura.

$$x_c(t) = A_c[m_1(t) \cos(2\pi f_c t) + m_2(t) \sin(2\pi f_c t)]$$

$$2x_r(t) \cos(2\pi f_c t + \theta) = A_c[m_1(t) \cos \theta - m_2(t) \sin \theta]$$

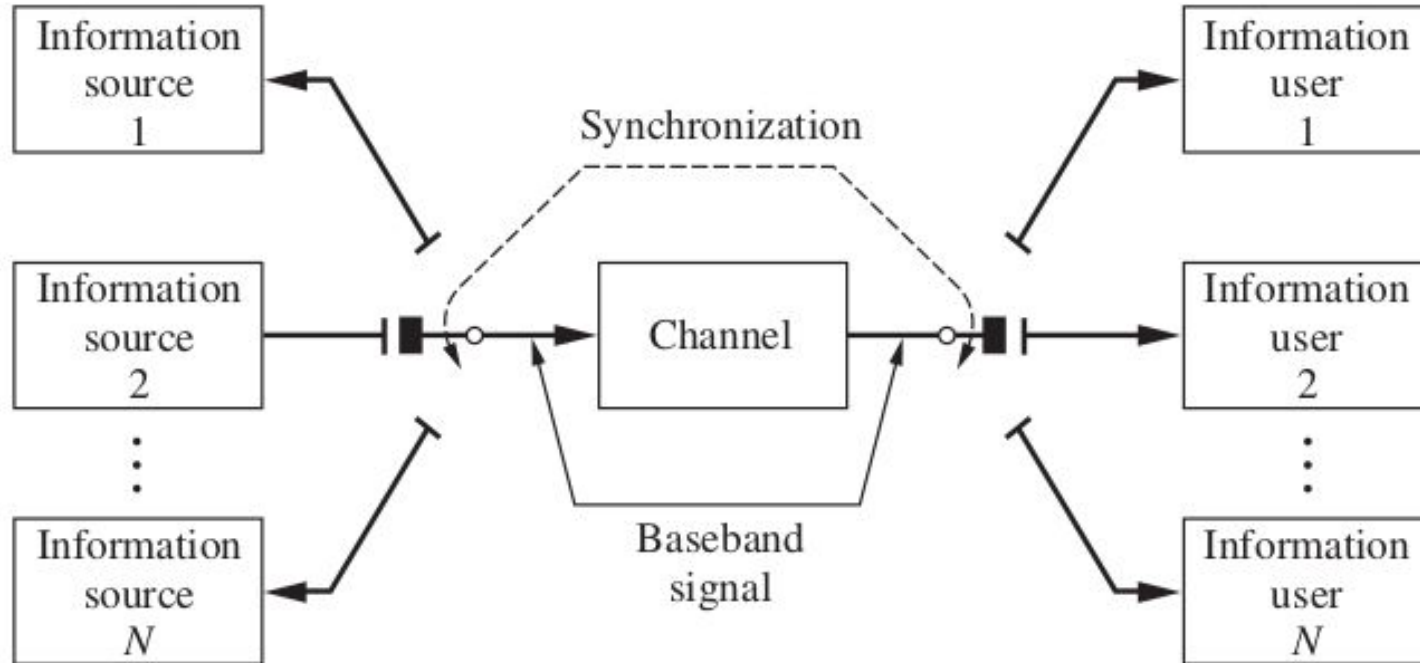
$$+ A_c[m_1(t) \cos(4\pi f_c t + \theta) + m_2(t) \sin(4\pi f_c t + \theta)]$$



$$y_{DD}(t) = A_c[m_1(t) \cos \theta - m_2(t) \sin \theta]$$

Multiplexación.

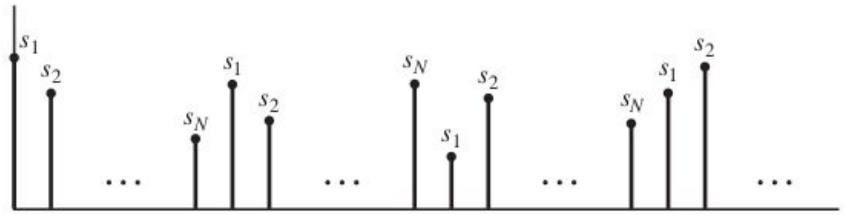
Multiplexación por División de tiempo.



Multiplexación.

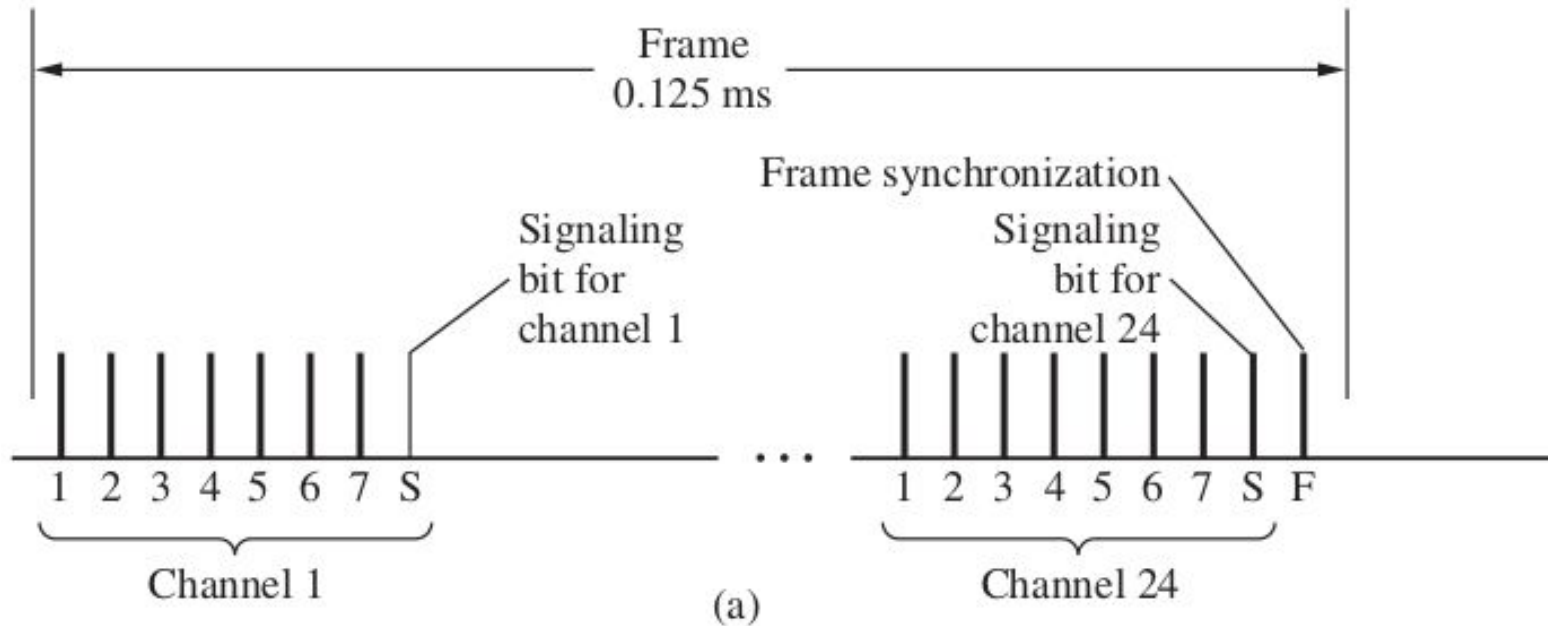
Multiplexación por División de tiempo.

- Se esperan progresiones regulares de pulsos de cada fuente de señal.
- El multiplexor combina los pulsos de las distintas fuentes en un flujo de pulsos de mayor velocidad.
- El multiplexor opera a una tasa que es múltiplo del reloj central.
- El esquema opera en banda base.
- Alta eficiencia para esquemas sincrónicos.



Multiplexación.

Multiplexación por División de tiempo.



Multiplexación.

Multiplexación por División de tiempo.

1. Señales Igual ancho de banda.

- a. Cantidad de pulsos:

$$2nf_m$$

- b. Ancho de banda:

$$\sum_i^n f_m^{(i)} = nf_m = nB$$

1. Señales con distinto ancho de banda.

- b. Sobremuestreo
- c. Relación armónica (múltiplos)

$$B_{mux} = \sum_i^n f_m^{(i)}$$

n : Cantidad de Señales

f_m : Máx. comp. de frecuencia.

B_i : Ancho de banda.

$$B \geq \frac{v}{2} = \frac{\sum_i^n 2f_m^{(i)}}{2}$$



Próximos temas

- Aplicaciones de la multiplexación.
- ¿Puedo enviar tantos pulsos como quiero en un canal?
Interferencia intersímbolo. Filtros de salida y entrada.
- ¿Cual de estos filtros es el que más me conviene frente al ruido? Filtro acoplado.
- ¿Se puede hacer algo con la fuente de información?
Teoría de la información.



Válvulas de una estación transmisora de AM de 25
KWatt. (AM 580 radio universidad UNC)

FIN



Modulación por pulsos.

Analógicas. PWM

Una señal de banda limitada a 1kHz con intervalo de amplitud de -1 a +1 V debe enviarse con una resolución de ± 0.5 mV usando PWM. El ancho mínimo del pulso es de 1 microsegundo y el tiempo de guarda es igual al tiempo mínimo del pulso. Estimar el ancho de banda necesario para que la SNR pico = 20dB.

- Muestras espaciadas cada 500 microsegundos (Nyquist).
- Tiempo disponible para modulación: 498 microsegundos (tiempos de guarda).
- Constante de modulación: $498/249$ microseg/V
- Precisión requerida
 $\text{delta tau} = \text{constante de modulación} \times \text{resolución (1 mV)} = 0.249 \text{ microseg}$
- Ancho de banda: 402 KHz.

Comparar con las modulaciones de AM y FM

Modulación por pulsos.

Analógicas. PWM

Una sistema de telemetría de cinco canales controlado por radio usa PPM. El tiempo entre muestras consecutivas del canal es de 100 ms, la mitad de este tiempo se usa en la sincronización. El ancho del pulso y el tiempo de guarda son de 1 ms.

- ¿Que ancho de banda mínimo es necesario en el receptor si la resolución de los servos debe ser de $\pm 2\%$ del máximo para una SNR pico de 15 dB?
- ¿Cuál es la máxima respuesta de cada canal?

