

TEMA 3: Sistemas de comunicación



TEMA 3: Sistemas de comunicación

Contenido:

1. Digitalización de señales
2. Sistemas de comunicación digital

Sistemas de comunicación digital



Sistemas de comunicación digital

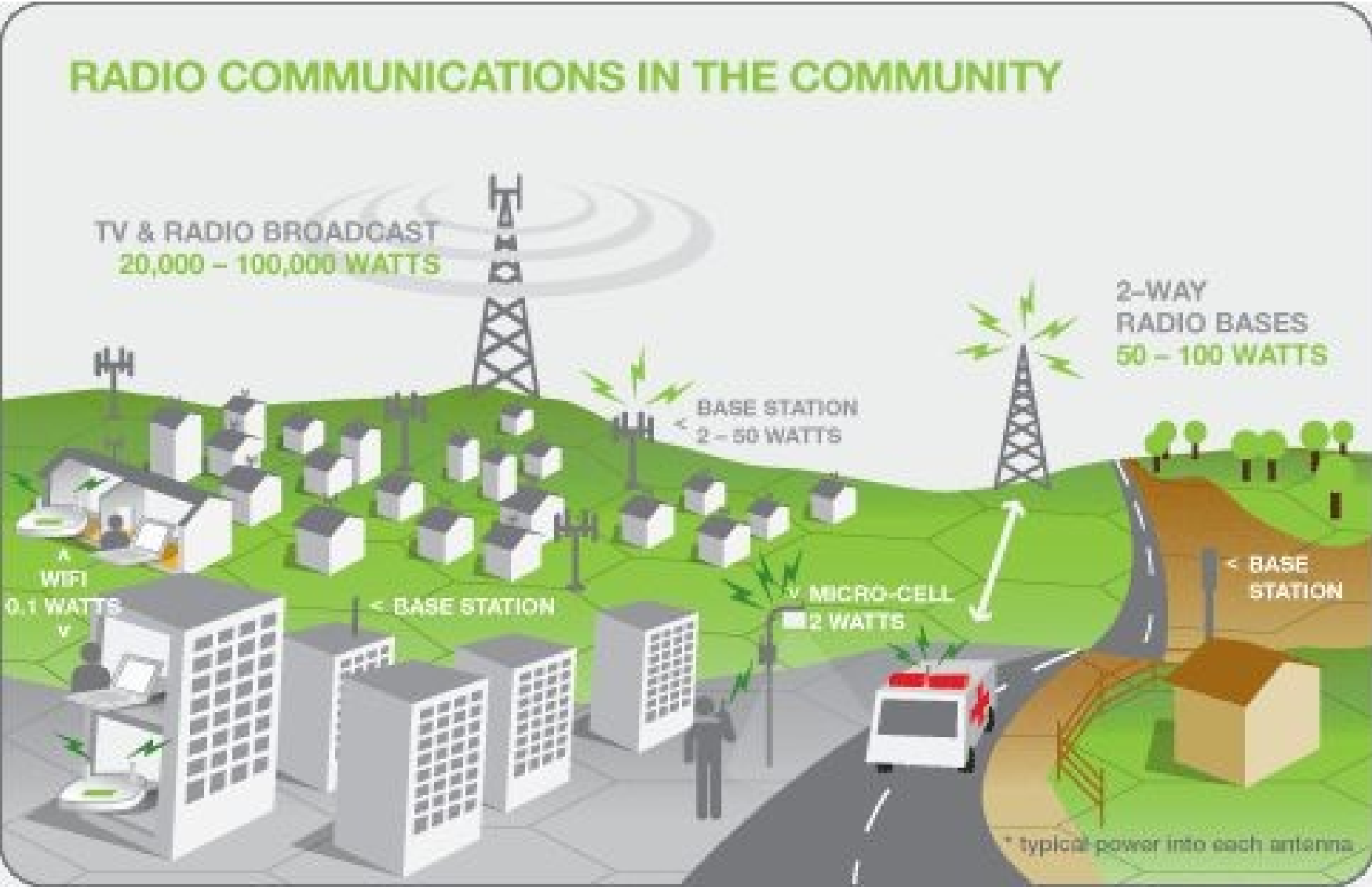
Contenido:

1. Sistemas de comunicaciones
2. Modulador digital
 - Definición y ejemplos
 - Parámetros principales
3. Modulador PAM
 - Definición
 - 4-PAM
4. Transmisión PAM por canales de banda limitada
 - Pulso rectangular
 - Pulso de Nyquist
5. Transmisión PAM por canales con ruido
 - Transmisión
 - Demodulación

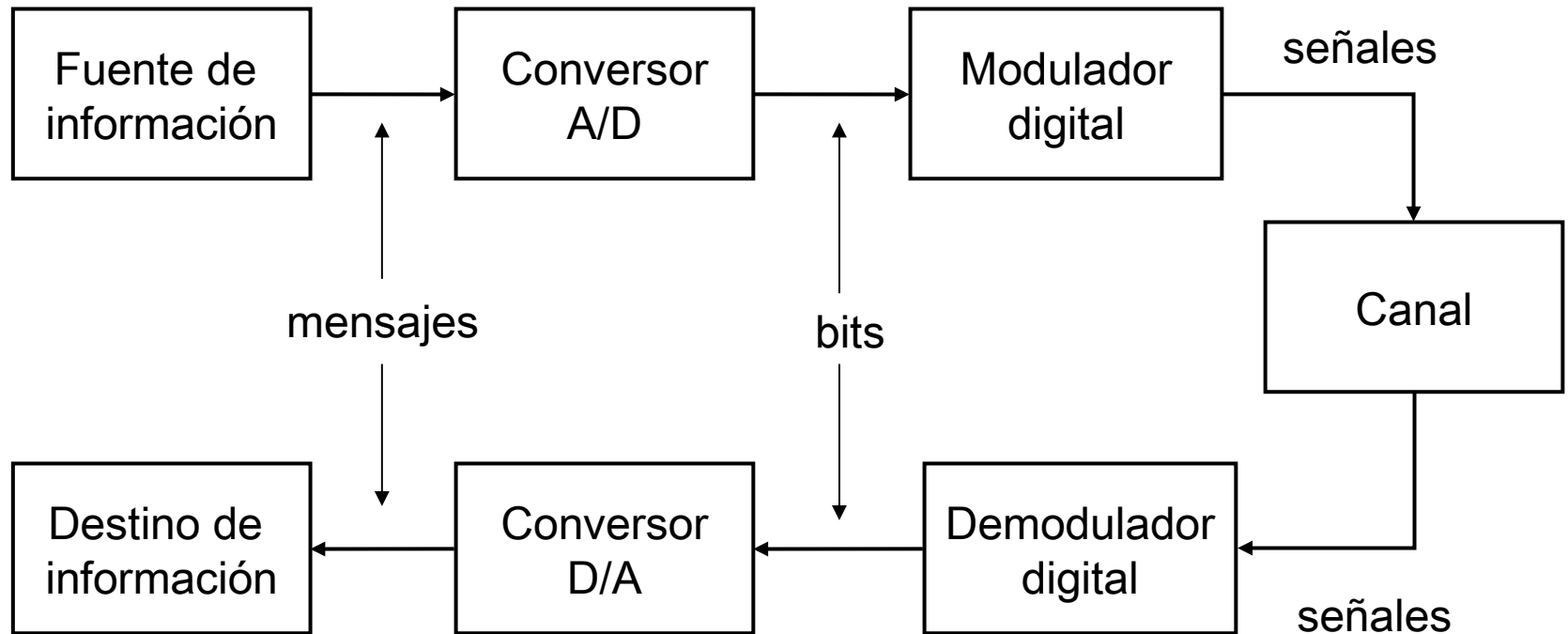


Sistemas de comunicaciones

Escenario de comunicaciones



Sistema de comunicación digital





Modulador digital

Modulador digital

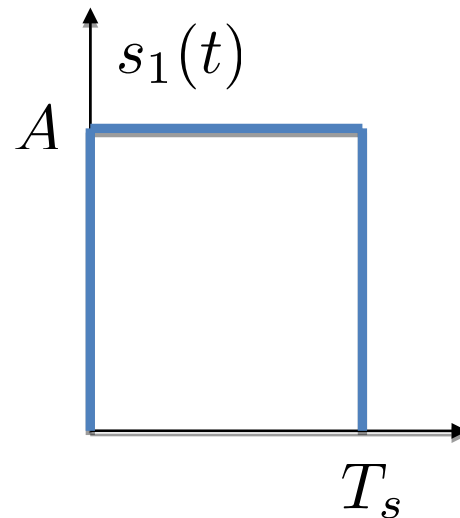
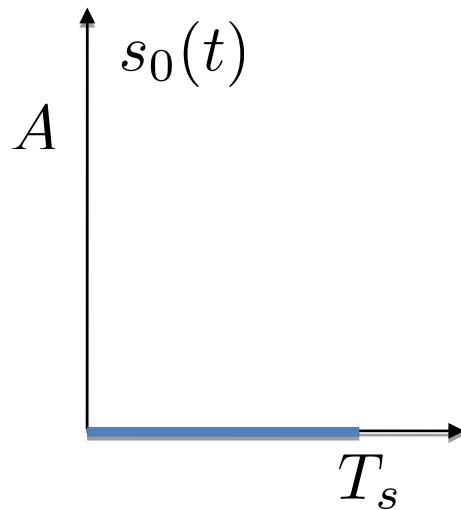
- Un modulador digital es un dispositivo que transforma secuencias de dígitos binarios de una fuente en señales eléctricas susceptibles de enviarse a través de un medio de transmisión.
- El caso más sencillo de modulador digital es un modulador binario que transmite la señal $s_0(t)$ cuando recibe un 0 y transmite $s_1(t)$ cuando recibe un 1.

$$0 \longrightarrow s_0(t)$$

$$1 \longrightarrow s_1(t)$$

Modulador digital: ejemplos

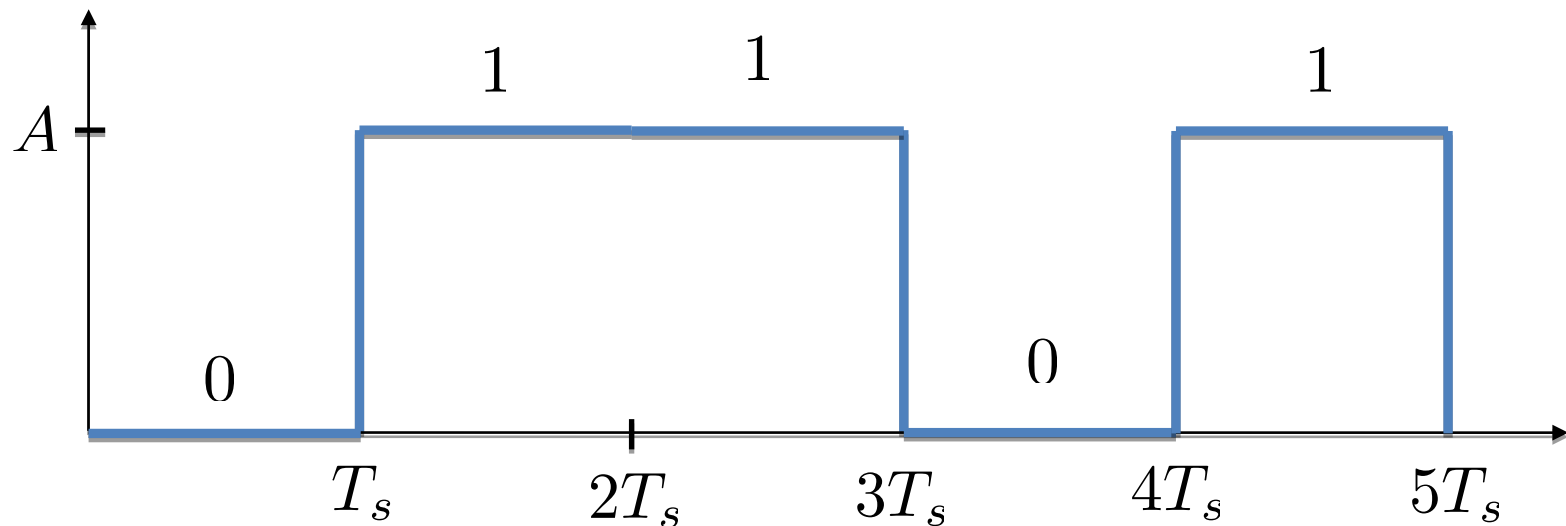
- Un ejemplo de modulador digital binario es el sistema binario unipolar



- T_s es la duración para cada una de las dos señales (símbolos) empleadas para representar los bits

Modulador digital: ejemplos

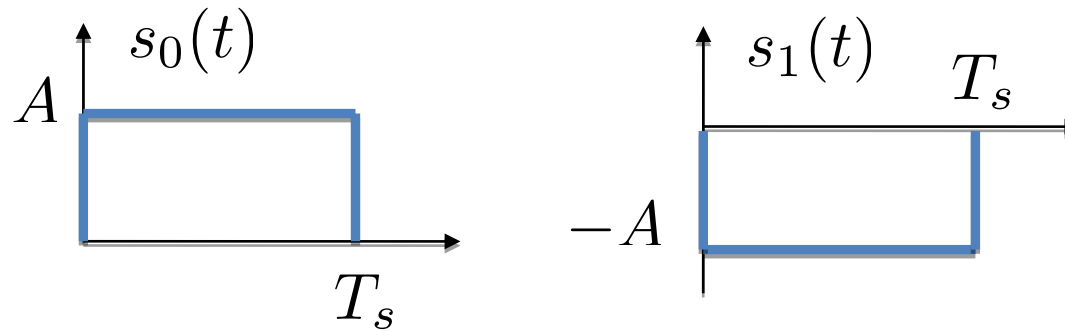
- Los símbolos se concatenan uno a continuación del otro al enviar una secuencia de bits (ej. 01101)



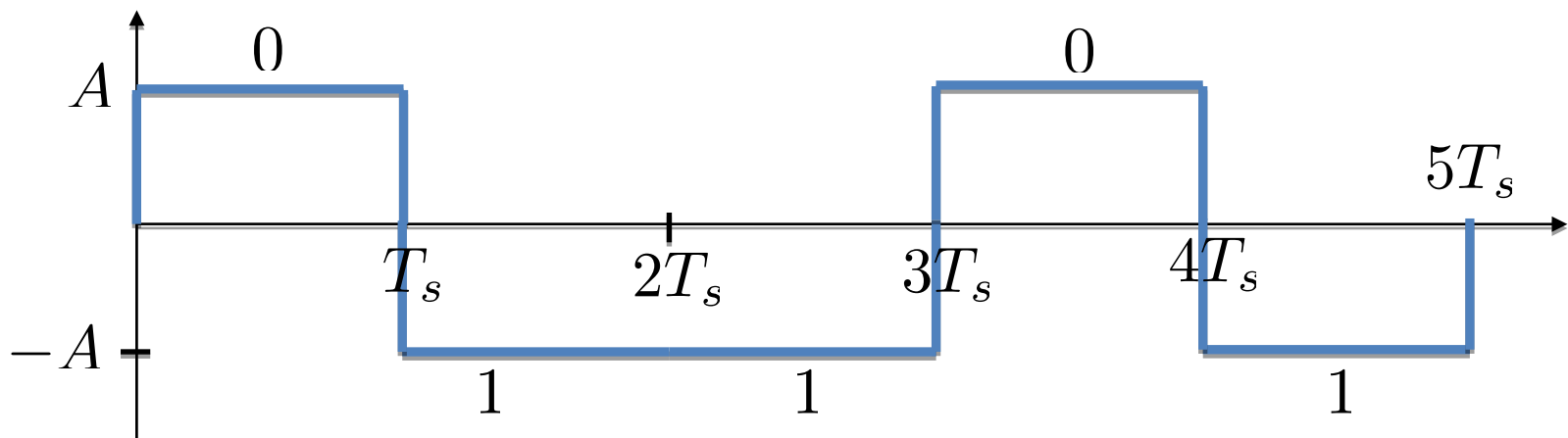
- T_s también es el periodo de símbolo (segundos)
- $v_s = \frac{1}{T_s}$ es la velocidad de símbolo (símbolos/segundo)

Modulador digital: ejemplos

- Otro ejemplo de modulador digital binario es el sistema binario bipolar

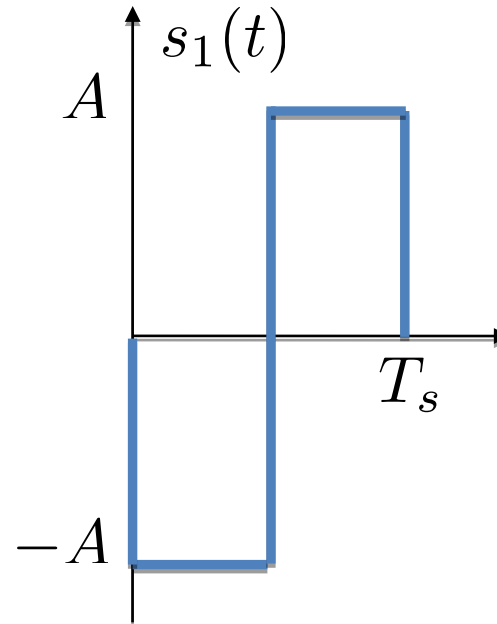
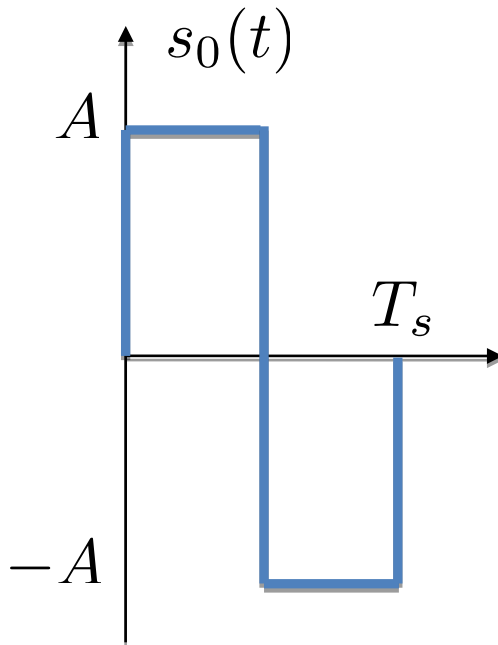


- Señal modulada correspondiente al mensaje 01101



Modulador digital: ejemplos

- Otro ejemplo de modulación digital binaria es el sistema bifase que se utiliza en las primeras versiones del estándar de red de área local Ethernet.



Modulador digital

- Un modulador puede transmitir un bloque de b bits en cada símbolo. Para ello es necesario que el modulador disponga de $M = 2^b$ señales.

Por ejemplo, un sistema cuaternario ($M = 2^2 = 4$) puede enviar $b=2$ bits en cada símbolo transmitido

$$00 \longrightarrow s_0(t)$$

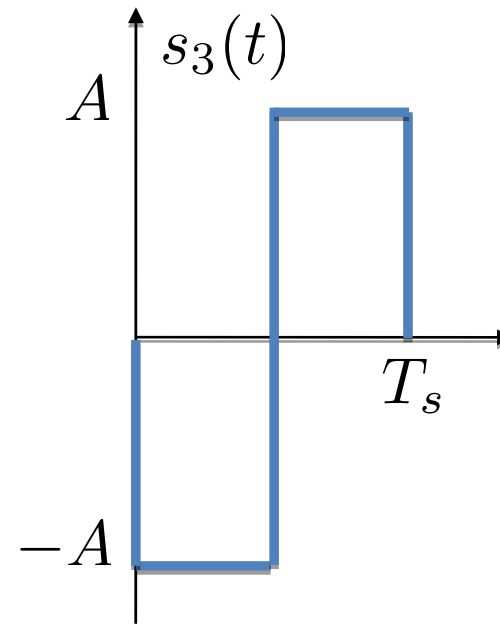
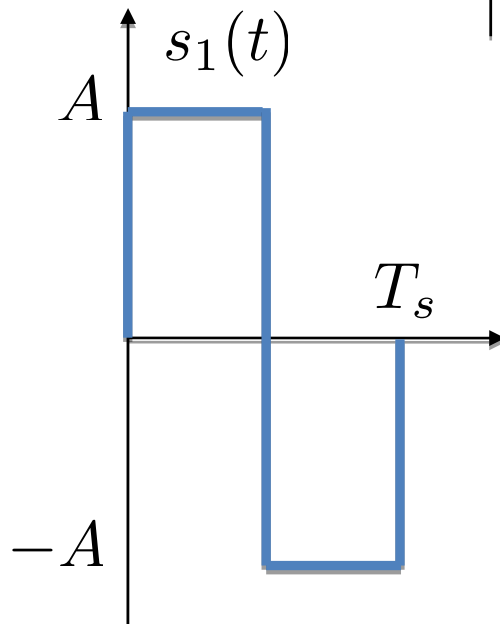
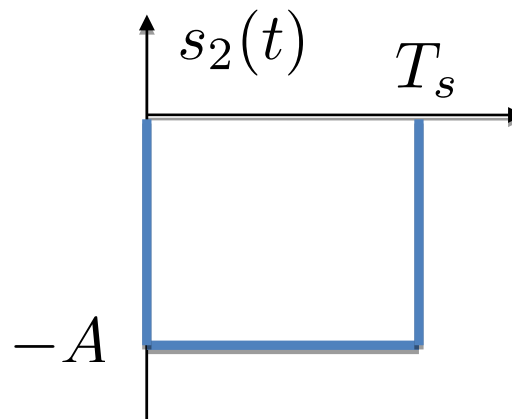
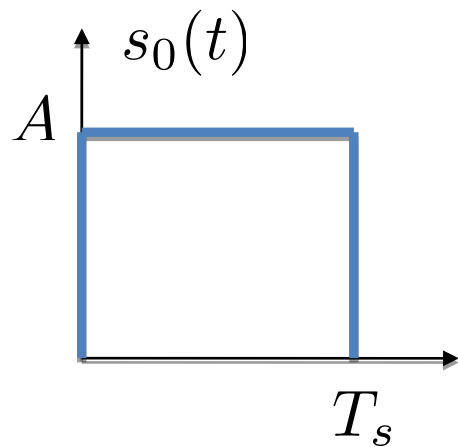
$$01 \longrightarrow s_1(t)$$

$$10 \longrightarrow s_2(t)$$

$$11 \longrightarrow s_3(t)$$

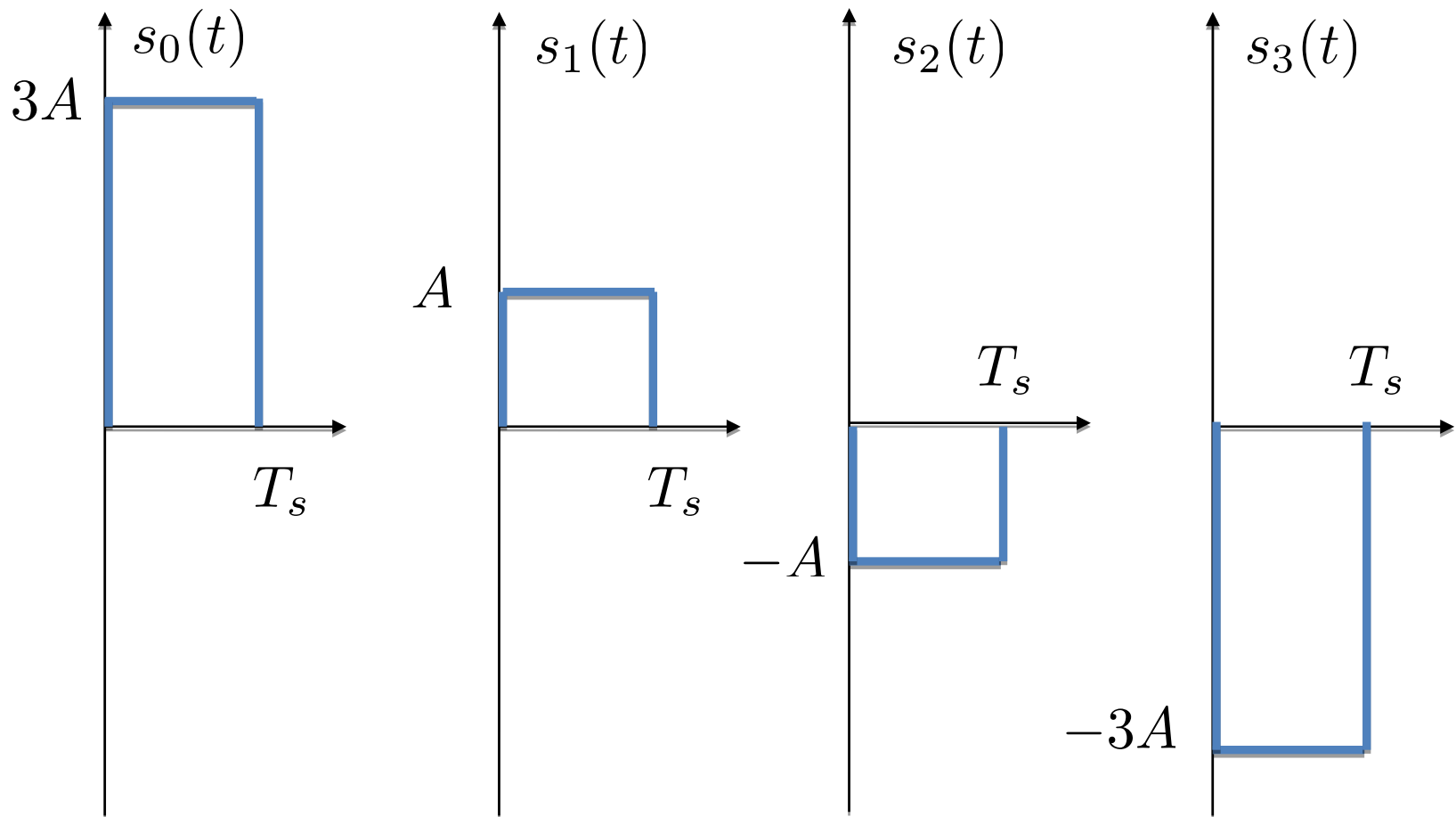
Modulador digital: ejemplos

- Un ejemplo de modulador cuaternario es el siguiente:



Modulador digital: ejemplos

- Otro ejemplo de modulador cuaternario:



Modulador digital: ejemplos

Un modulador digital que disponga de $M = 8 = 2^3$ señales podría enviar $b=3$ bits en cada símbolo transmitido

$$000 \longrightarrow s_0(t)$$

$$100 \longrightarrow s_4(t)$$

$$001 \longrightarrow s_1(t)$$

$$101 \longrightarrow s_5(t)$$

$$010 \longrightarrow s_2(t)$$

$$110 \longrightarrow s_6(t)$$

$$011 \longrightarrow s_3(t)$$

$$111 \longrightarrow s_7(t)$$

Parámetros de un modulador digital

- T_s : periodo de símbolo. Separación temporal entre dos símbolos consecutivos. Se mide en segundos.
- $v_s = 1/T_s$: velocidad de símbolo. Número de símbolos que se transmiten por unidad de tiempo. Se mide en símbolos/segundo o baudios.
- $M = 2^b$: número de niveles (señales) para enviar b bits por símbolo.
- $b = \log_2 M$: número de bits que transporta cada símbolo transmitido.
- v_b : velocidad de bit (velocidad de transmisión). Número de bits que se transmiten por unidad de tiempo. Se mide en bits/segundo.

Velocidad de transmisión

- La velocidad de transmisión es el parámetro más importante de un modulador digital.

$$v_b = b \times v_s = \log_2 M \times v_s = \frac{\log_2 M}{T_s}$$

- Para aumentar la velocidad de transmisión se pueden seguir dos estrategias:
 1. Aumentar v_s . Esto implica disminuir T_s y, en consecuencia, aumentar el ancho de banda de las señales transmitidas.
 2. Aumentar b . Esto implica construir moduladores más complejos de $M = 2^b$ señales.

Discusión

- En situaciones donde se dispone de mucho ancho de banda (i.e. fibra óptica) se utilizan modulaciones de pocos niveles (i.e. binarias). La velocidad de transmisión es alta porque la velocidad de símbolo lo es.
- En situaciones donde el ancho de banda es escaso (i.e. canal telefónico o canales radio) la velocidad de símbolo es pequeña. La velocidad de transmisión sólo puede aumentarse recurriendo a complejas modulaciones que transportan muchos bits por símbolo.

Velocidad de transmisión

- La velocidad de transmisión del modulador, v_b , debe ser mayor o igual que la tasa binaria de la fuente, R_b , para permitir su envío en tiempo real

Fuente

- Frecuencia de muestreo: f_s
- Nº de bits por muestra: b

$$R_b = b \times f_s$$

Modulador

- Velocidad de símbolo: v_s
- Nº de niveles:
 $M = 2^b$

$$v_b = \log_2 M \times v_s$$

Velocidad de transmisión

- Si $R_b < v_b$, el modulador tiene una velocidad suficiente para transmitir los bits a la tasa a la que los produce la fuente. En este caso es posible transmitir la fuente en tiempo real. También es posible descargar y visualizar la información de la fuente simultáneamente. Esto se conoce con el nombre de *streaming* y se utiliza habitualmente en la difusión de audio y vídeo.
- Si $v_b < R_b$, no es posible transmitir la fuente en tiempo real pero sí es posible transmitirla en tiempo diferido si los bits de la fuente se almacenan previamente en un fichero.



Modulador PAM

Modulación PAM

- Pulse Amplitude Modulation (PAM) es una modulación digital en la que las $M = 2^b$ señales del modulador se obtienen cambiando la amplitud de una forma de onda $p(t)$ que llamamos pulso, i.e.

$$s_i(t) = A_i p(t) \quad i = 0, \dots, M - 1$$

- Las amplitudes A_i se determinan en base a la siguiente expresión:

$$A_i = M - 2i - 1 \quad i = 0, \dots, M - 1$$

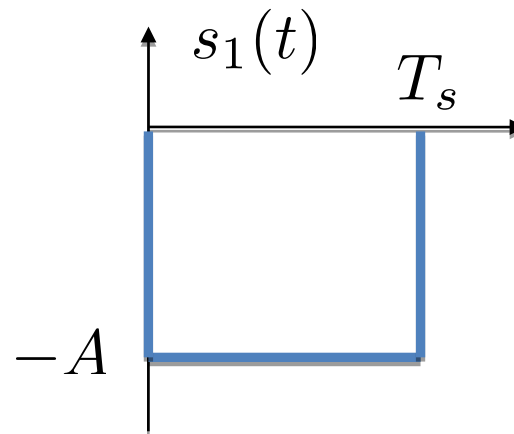
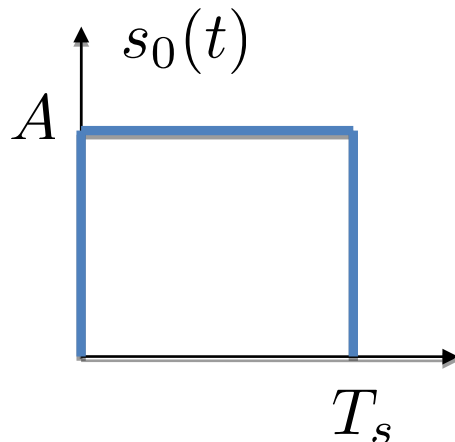
Modulación PAM

- PAM binario: $M = 2$

$$i = 0 \longrightarrow A_0 = 2 - 0 - 1 = 1 \longrightarrow s_0(t) = p(t)$$

$$i = 1 \longrightarrow A_1 = 2 - 2 \times 1 - 1 = -1 \longrightarrow s_1(t) = -p(t)$$

- Ejemplo donde $p(t)$ es un pulso rectangular de amplitud A y duración T_s .



Modulación PAM

- PAM cuaternario: $M = 4$

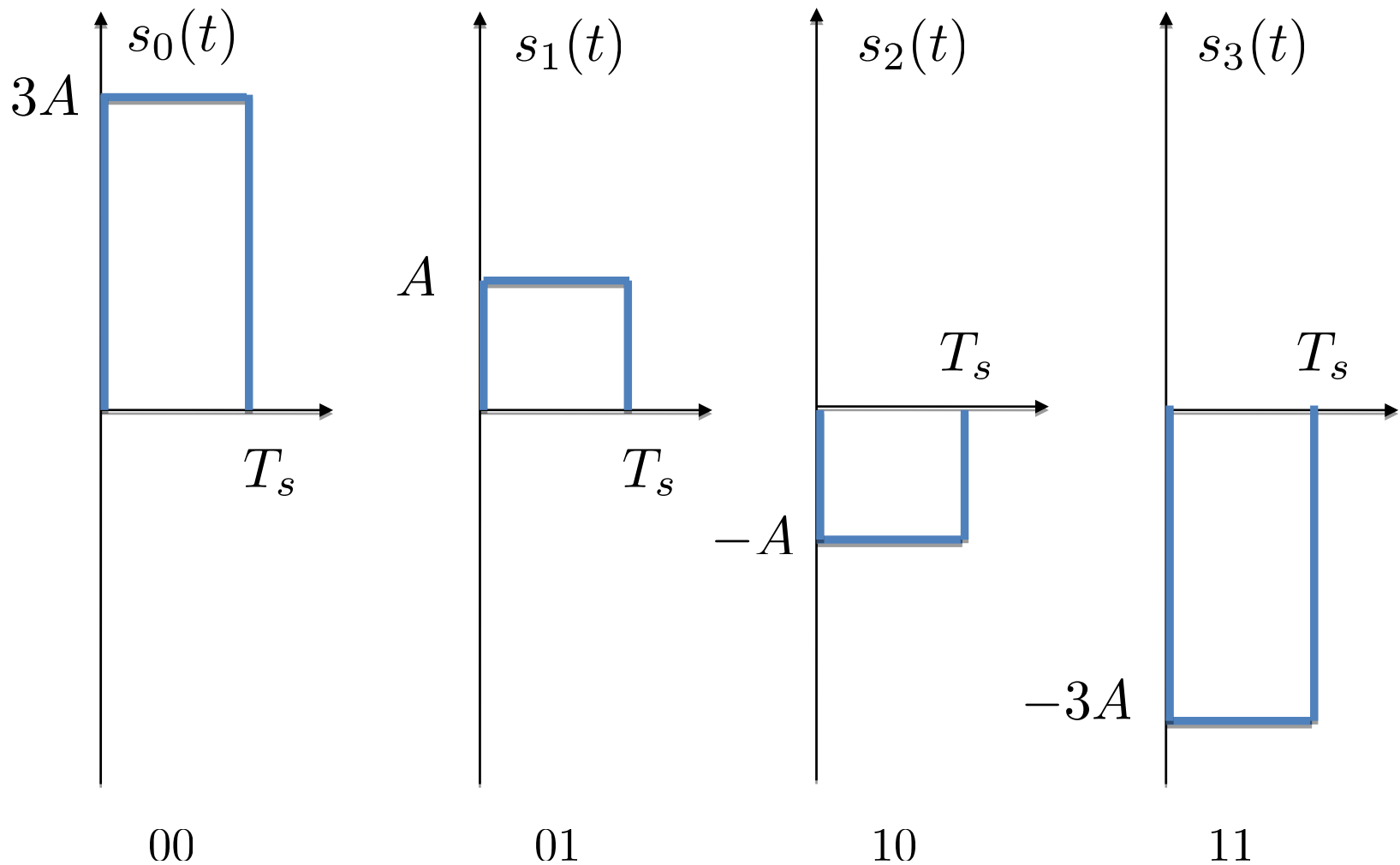
$$i = 0 \longrightarrow A_0 = 4 - 0 - 1 = 3 \longrightarrow s_0(t) = 3p(t)$$

$$i = 1 \longrightarrow A_1 = 4 - 2 - 1 = 1 \longrightarrow s_1(t) = p(t)$$

$$i = 2 \longrightarrow A_2 = 4 - 4 - 1 = -1 \longrightarrow s_2(t) = -p(t)$$

$$i = 3 \longrightarrow A_3 = 4 - 6 - 1 = -3 \longrightarrow s_3(t) = -3p(t)$$

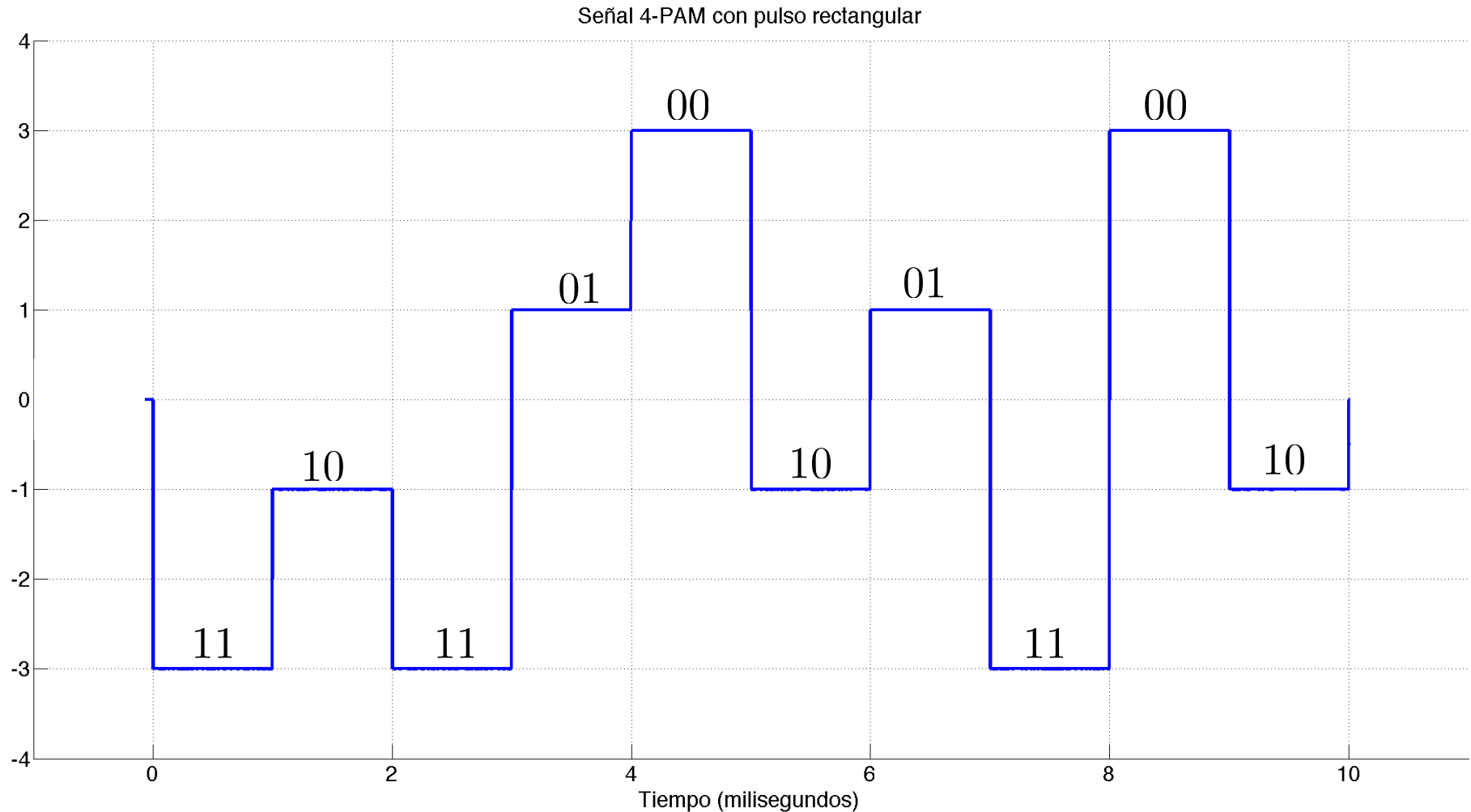
4-PAM con pulsos rectangulares



Modulador

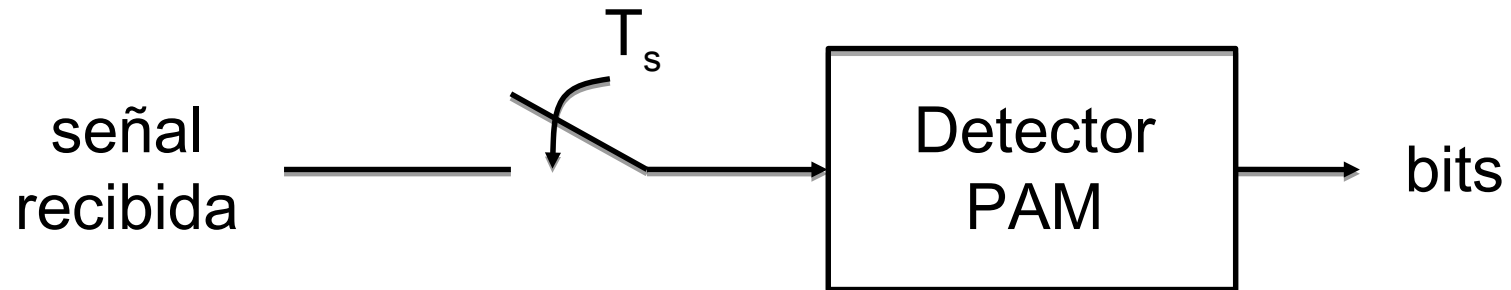
Señal 4-PAM correspondiente al mensaje {11101101001001110010}

11 10 11 01 00 10 01 11 00 10



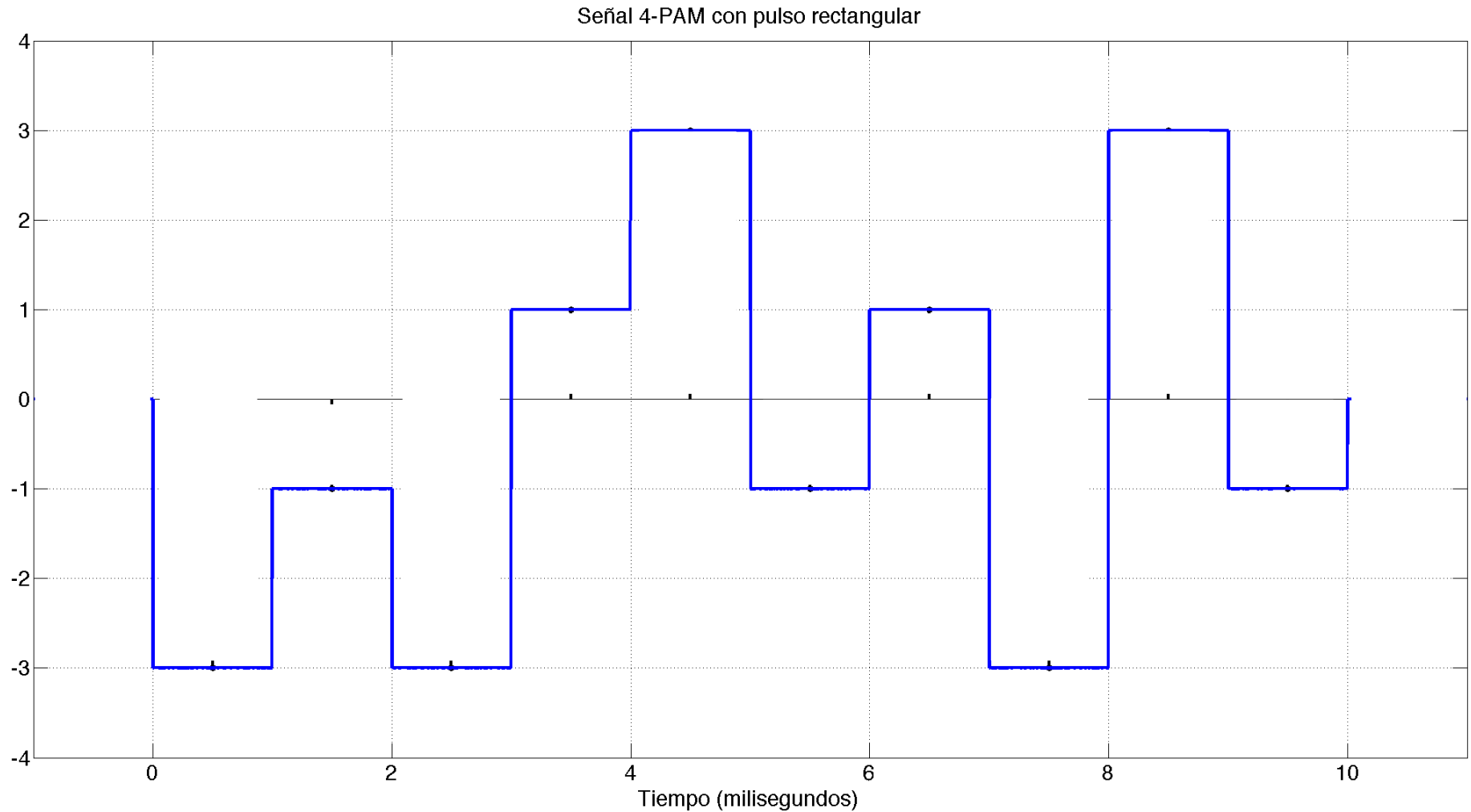
Demodulación PAM

- La demodulación de señales PAM se hace tomando una muestra por cada símbolo recibido y detectando los bits transmitidos según la amplitud observada



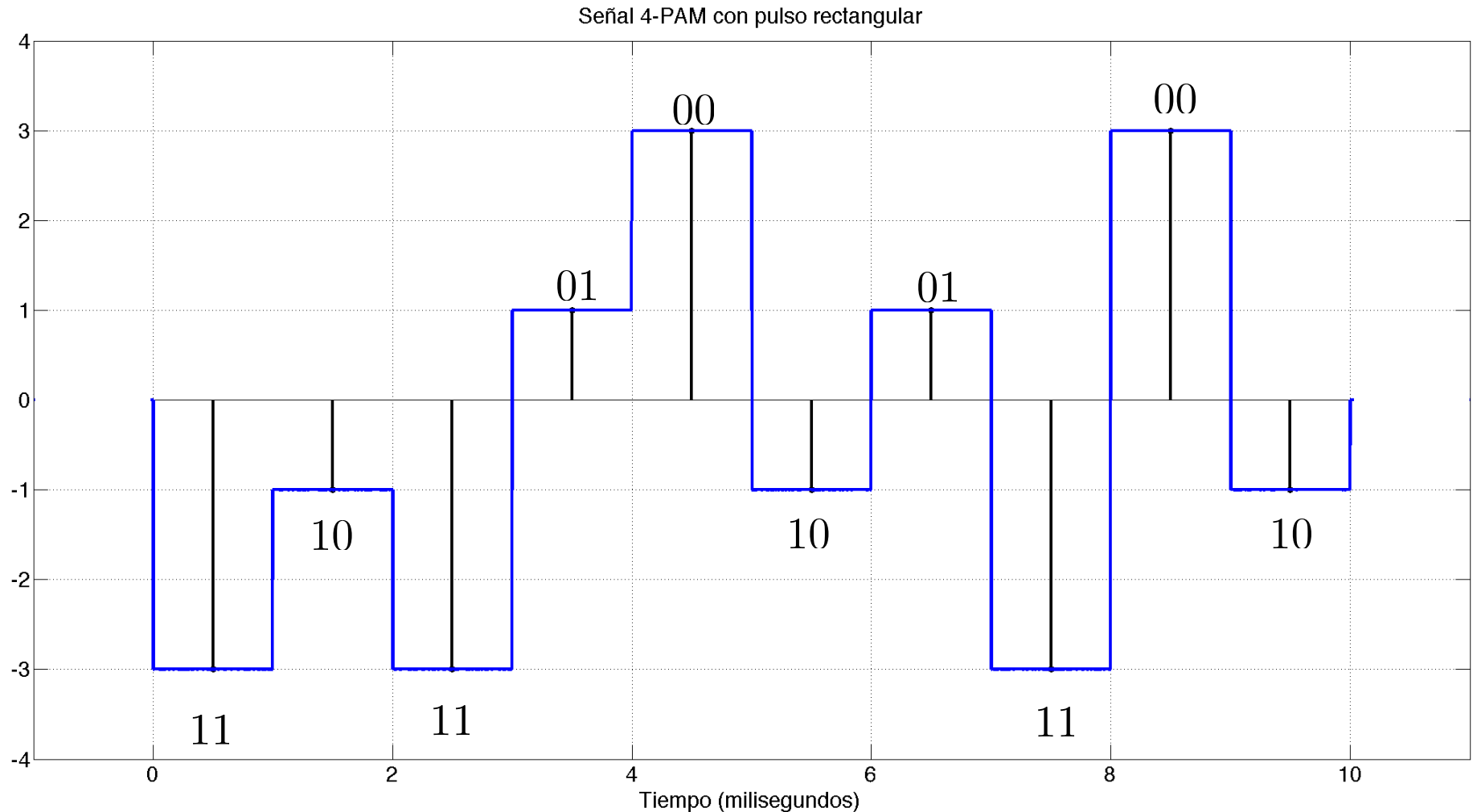
- En la transparencia siguiente mostramos un ejemplo de señal 4-PAM con pulsos rectangulares y las muestras que se toman para su demodulación.

La señal recibida por el Demodulador PAM sería esta:



A continuación se muestrea y cada muestra se hace pasar por el detector PAM

La amplitud se toma en un instante del primer símbolo y cada T_s para los siguientes símbolos



Muestras cada T_s : [-3, -1, -3, +1, +3, -1, +1, -3, +3, -1]

Detector PAM: [11, 10, 11, 01, 00, 10, 01, 11, 00, 10]