



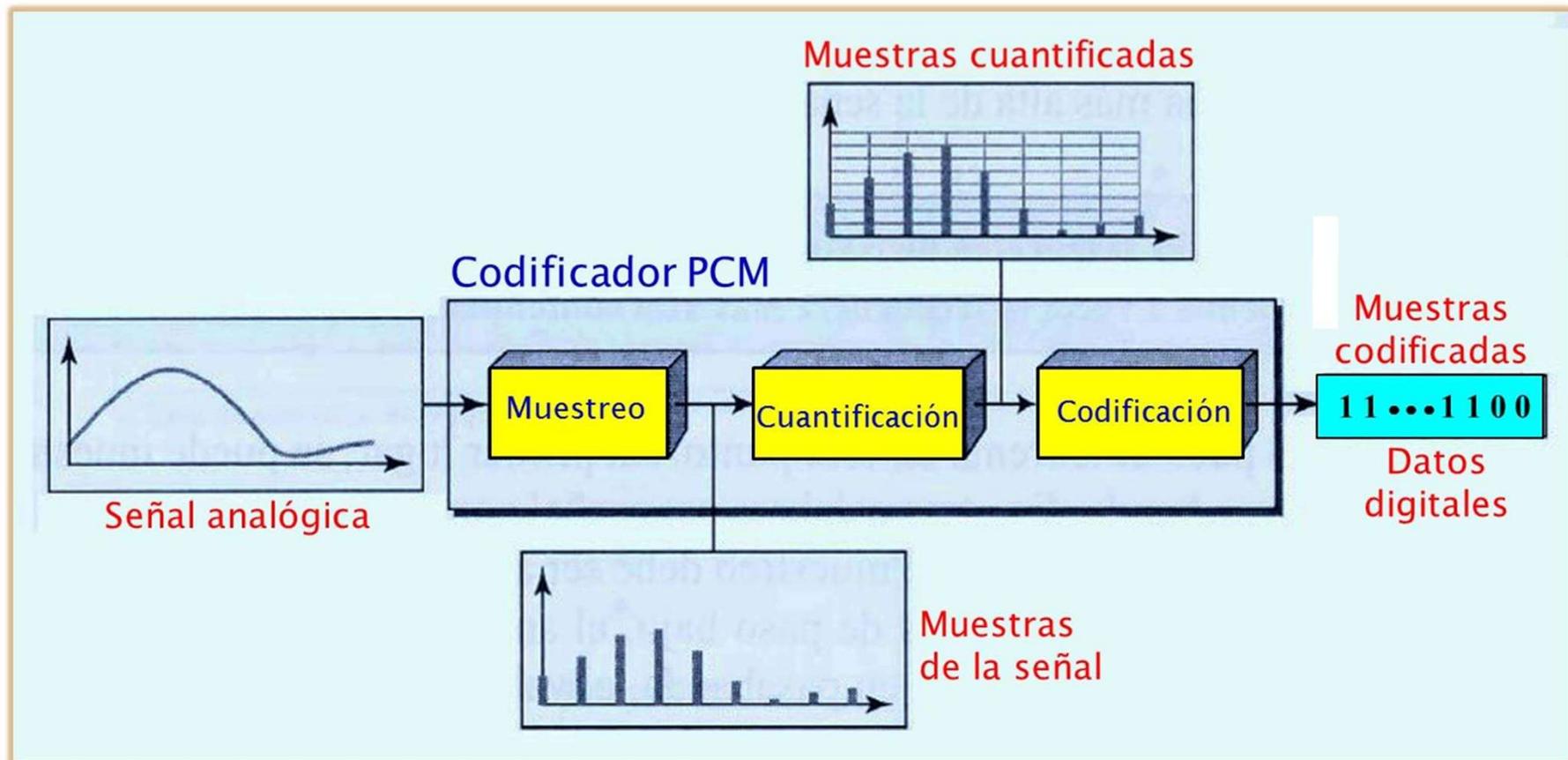
SISTEMAS DE COMUNICACIONES DIGITALES

CONVERSIÓN ANÁLOGO - DIGITAL

Conversión Analógica a Digital

- La señal analógica se convierte en señales de pulsos banda base.
- El proceso de conversión de Análogo a Digital involucra tres pasos separados
 - Muestreo
 - Cuantificación
 - Codificación

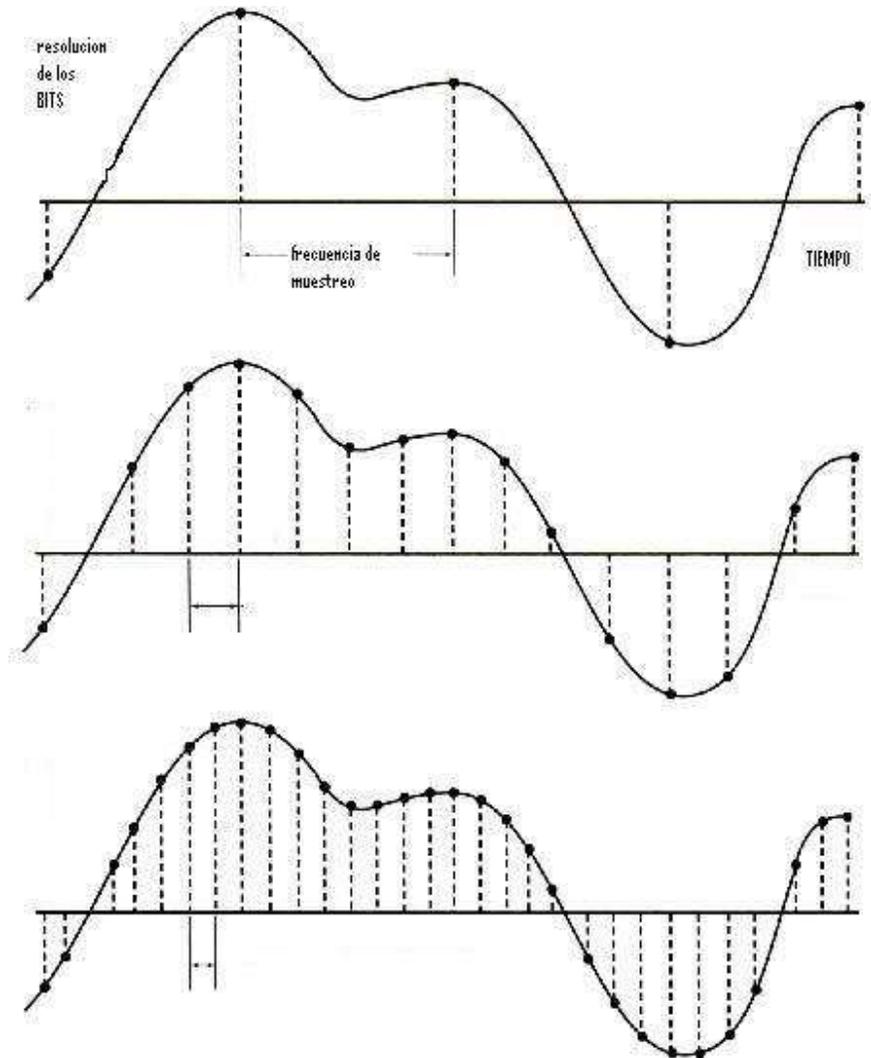
Conversión Analógica a Digital



Conversión Analógica a Digital

Muestreo (Sampling)

- El muestreo consiste en tomar muestras periódicas de la amplitud de onda de una señal analógica.
- El tiempo transcurrido entre una muestra y la siguiente se llama periodo de muestreo (T_s) y su inverso representa la frecuencia de muestreo (f_s)



Conversión Analógica a Digital

- El teorema de Muestreo o Teorema de Nyquist-Shannon establece que la frecuencia mínima de muestreo necesaria para evitar interferencias debe ser:

$$f_s > 2(BW)$$

- Donde:
- f_s = Frecuencia de muestreo
- BW = Ancho de banda de la señal a muestrear ($BW = f_{max} - f_{min}$)
- Para señales con $f_{min} = 0$, se puede expresar como:

$$F_s > 2(f_{max})$$

En la práctica, la tasa de muestreo es al menos 3 veces la máxima frecuencia.

Conversión Analógica a Digital

Cuantificación

- La cuantificación implica tomar las muestras del proceso de muestreo y aproximarlas a una serie de niveles permitidos.
- Ninguna muestra puede estar fuera de estos niveles.
- En el ejemplo se trabaja con $N=8$ niveles. El número de niveles disponibles depende del número de bits utilizados para expresar el valor de la muestra.

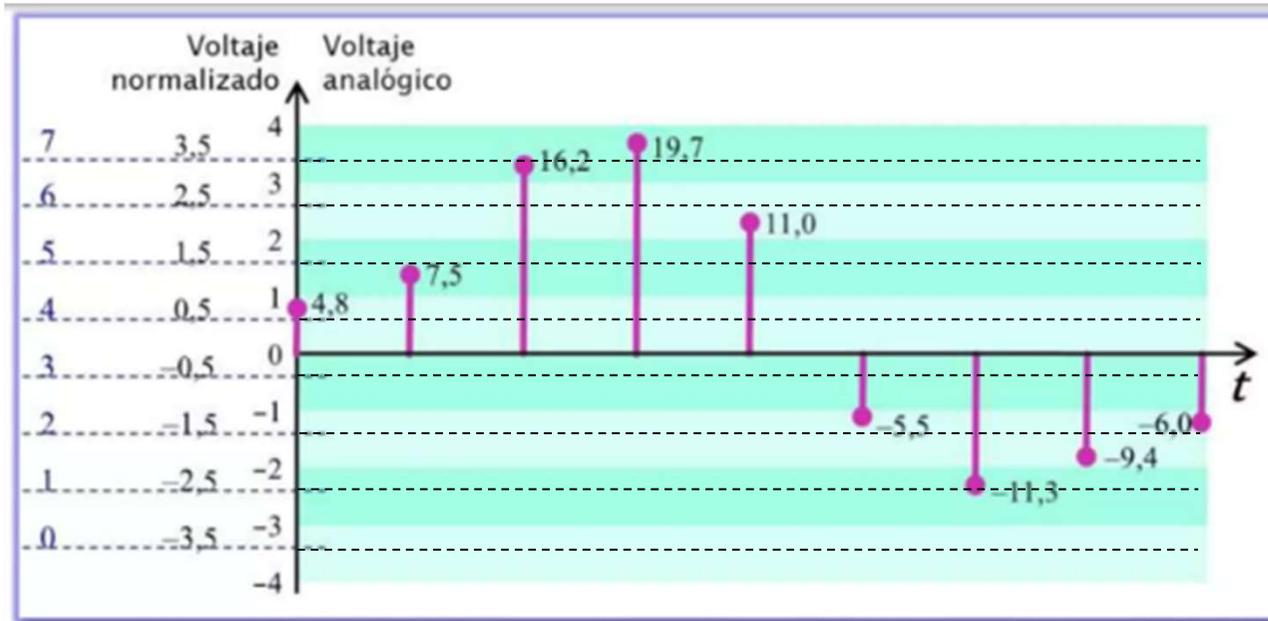
$$N = 2^n$$

N = número de niveles.

n = número de bits por muestra.

Conversión Analógica a Digital

- Suponga que queremos cuantificar una señal con amplitudes de -20 y +20 V. Se decide tener 8 niveles de cuantificación de 5 voltios cada uno. Calcule los valores normalizados y cuantificado, el error normalizado y la palabra codificada para cada muestra.



Valor normalizado a 4v	0.96	1.50	3.24	3.94	2.20	-1.10	-2.26	-1.88	-1.20
Valor cuantificado	0.50	1.50	3.50	3.50	2.5	-1.50	-2.50	-1.50	-1.50
Error normalizado	-0.46	0	+0.26	-0.44	+0.30	-0.40	-0.24	+0.38	-0.30
Codigo cuantificación	4	5	7	7	6	2	1	2	2
Palabra Codificada	100	101	111	111	110	010	001	010	010

Conversión Analógica a Digital

Error de Cuantificación

- La cuantificación es un proceso de aproximación. Los valores de entrada del cuantificador son reales, los de la salida son aproximados.
- Si el valor de entrada se encuentra en la mitad del intervalo no hay error de cuantificación, en otro caso sí.
- El error disminuye si se aumenta los intervalos de cuantificación y se elimina totalmente si el número de intervalos fuera infinito.
- El error de cuantificación deforma la señal reconstruida y causa una distorsión que se denomina ruido de cuantificación.

$$\frac{S}{N} (dB) = 1,76 + 6,02n$$

$$\frac{S}{N} = \text{relacion seña a ruido en dB.}$$

$$n = \text{numero de bits por muestra}$$

Conversión Analógica a Digital

Codificación

- La codificación implica asignar un valor binario (digital) a cada una de las muestras cuantificadas.
- El tamaño de la palabra binaria dependerá de la cantidad de niveles que tenga el Cuantificador. Para un $L=8$, es necesario usar palabras de 3 bits.
- La tasa de bit generada se calcula con base a la tasa de muestreo y la cantidad de bits por muestra.

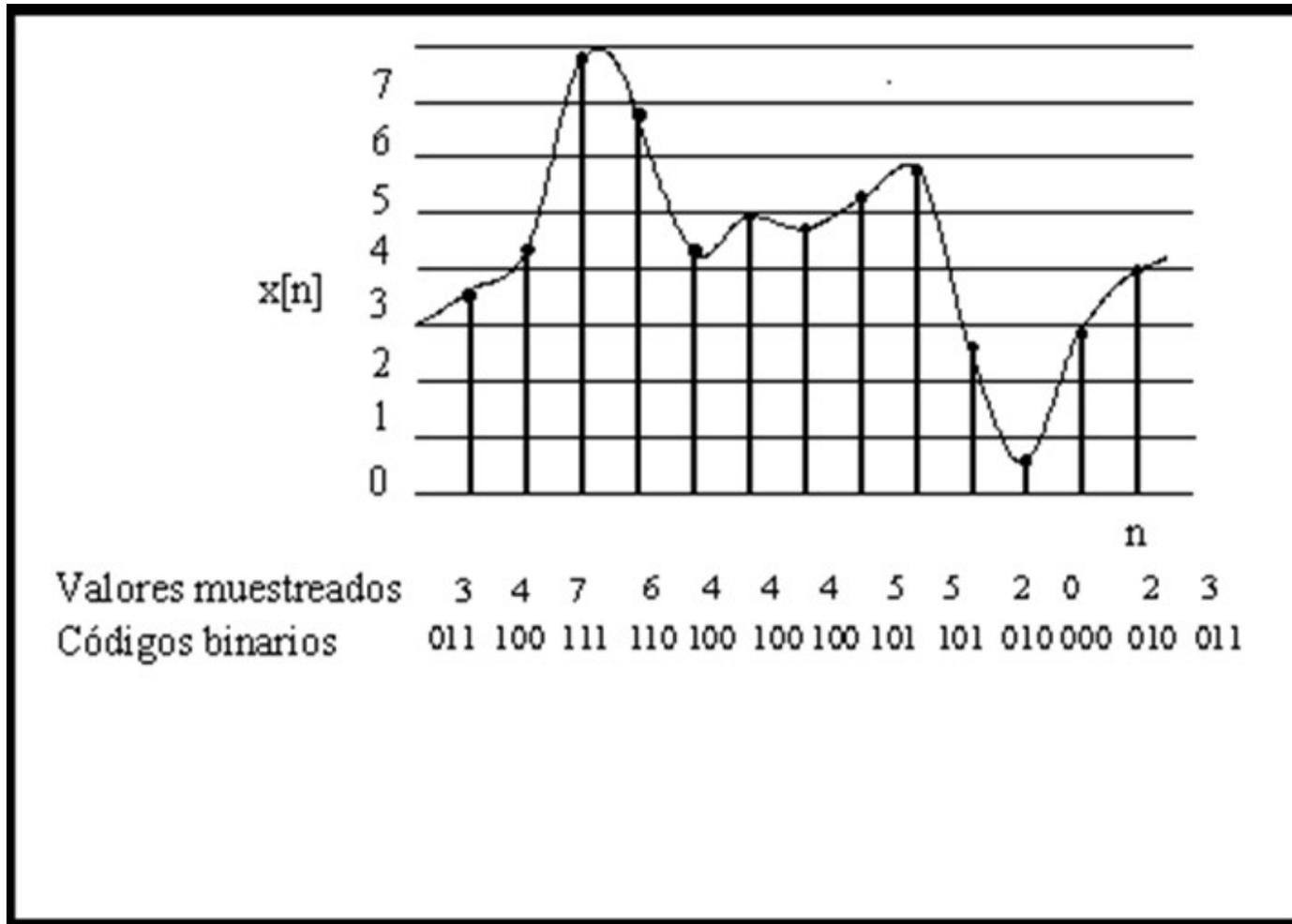
$$r_t(\text{bps}) = f_s(\text{Hz}) \times n$$

r_t = tasa de bit, en **bps**.

f_s = tasa de muestreo, en **Hz**.

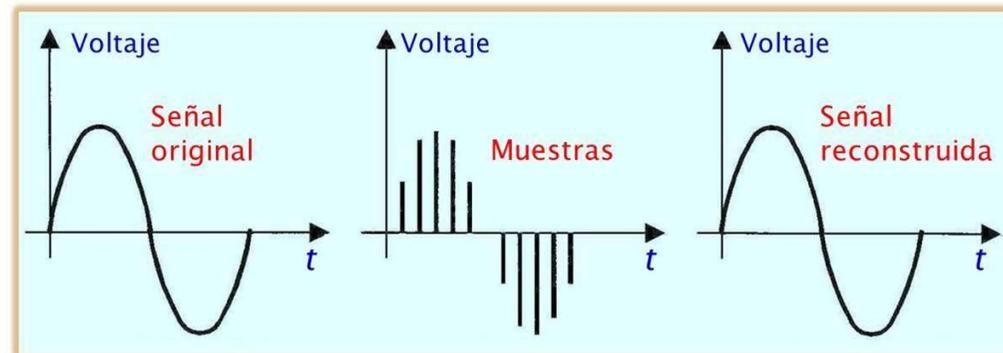
n = número de bits por muestra.

Conversión Analógica a Digital



Conversión Analógica a Digital

- Ejemplo 1: Para una señal seno



$$f_s = 2f_{max}$$

f_s = frecuencia de muestreo, en Hz.
 f_{max} = frecuencia más alta, en Hz.

Conversión Analógica a Digital

- Ejemplo 2:
- En telefonía, para una frecuencia de audio máxima de 3,4 kHz, Cual sería la tasa mínima de muestreo para la conversión A/D?

Conversión Analógica a Digital

- Ejemplo 2:
- En telefonía, para una frecuencia de audio máxima de 3,4 kHz, Cual sería la tasa mínima de muestreo para la conversión A/D?
- Para determinar la tasa mínima de muestreo necesaria para una señal analógica, se utiliza el Teorema de Muestreo de Nyquist, que establece que la frecuencia de muestreo (f_s) debe ser al menos el doble de la frecuencia máxima (f_{max}) de la señal a muestrear:
- Dado que la frecuencia máxima de audio en telefonía es: $f_{max}=3.4$ kHz.
- La tasa mínima de muestreo sería: $f_s = 2 \times 3.4$ kHz = 6.8 kHz.
- Por lo tanto, la tasa mínima de muestreo para la conversión A/D en telefonía sería 6.8 kHz.
- Sin embargo, si se emplea una tasa de 8.000 muestras/segundo (8 kHz).
¿Cuál sería el periodo de muestreo?

Conversión Analógica a Digital

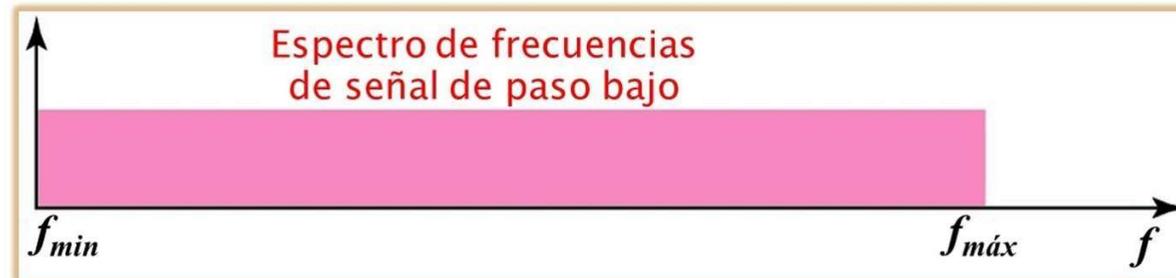
- Ejemplo 2:
- En telefonía, para una frecuencia de audio máxima de 3,4 kHz, Cual sería la tasa mínima de muestreo para la conversión A/D?
- Sin embargo, si se emplea una tasa de 8.000 muestras/segundo (8 kHz).
¿Cuál sería el periodo de muestreo?

Conversión Analógica a Digital

- Ejemplo 2:
- En telefonía, para una frecuencia de audio máxima de 3,4 kHz, Cual sería la tasa mínima de muestreo para la conversión A/D?
- Sin embargo, si se emplea una tasa de 8.000 muestras/segundo (8 kHz). ¿Cuál sería el periodo de muestreo?
- El periodo de muestreo (T_s) es el inverso de la tasa de muestreo (f_s) y se calcula como: $T_s = 1/f_s$
- Dado que la tasa de muestreo es: $f_s = 8,000$ muestras/segundo (8 kHz)
- El periodo de muestreo es: $T_s = 1/8,000$ segundos = 0.000125 segundos $\rightarrow T_s=0.125$ ms
- Por lo tanto, el periodo de muestreo es 0.125 milisegundos (o $125 \mu s$).

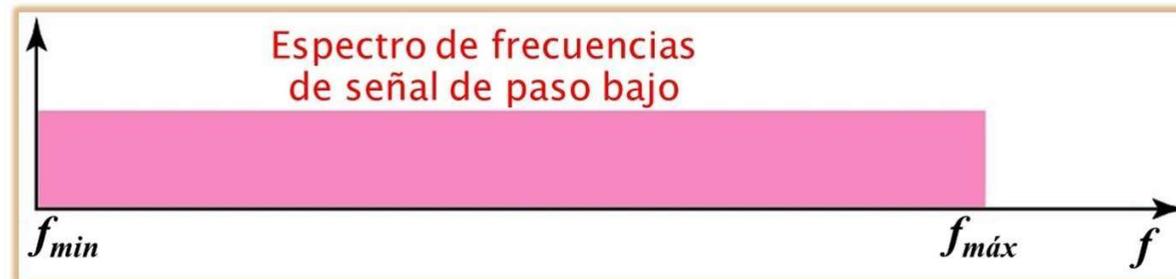
Conversión Analógica a Digital

- Ejemplo 3a:
- Calcule la tasa de muestreo de Nyquist para cada una de las siguientes señales complejas:
- a) Una paso bajo con un ancho de banda de 200 kHz.



Conversión Analógica a Digital

- Ejemplo 3a:
- Calcule la tasa de muestreo de Nyquist para cada una de las siguientes señales complejas:
- a) Una paso bajo con un ancho de banda de 200 kHz.



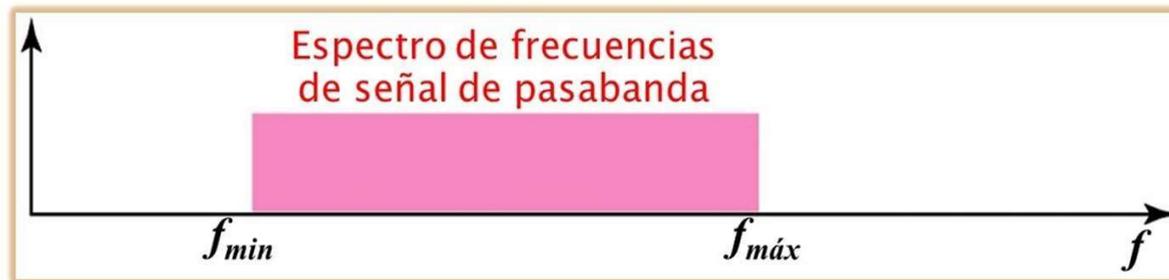
$$f_s = 2f_{max}$$

$$f_s = 2(200 \text{ kHz})$$

$$f_s = 400 \text{ kHz}$$

Conversión Analógica a Digital

- Ejemplo 3b:
- b) Una pasabanda con un ancho de banda de 200 kHz, si la frecuencia más baja es 100 kHz.



Conversión Analógica a Digital

- Ejemplo 3b:
- b) Una pasabanda con un ancho de banda de 200 kHz, si la frecuencia más baja es 100 kHz.



$$f_{max} = f_{baja} + f_{pasabanda}$$

$$f_{max} = 100 \text{ kHz} + 200 \text{ kHz}$$

$$f_{max} = 300 \text{ kHz}$$

$$f_s = 2f_{max}$$

$$f_s = 2f_{max}$$

$$f_s = 2(300 \text{ kHz})$$

$$f_s = 600 \text{ kHz}$$

Conversión Analógica a Digital

- Ejemplo 4
- En los sistemas de disco compacto, para una frecuencia de audio máxima de 20 kHz (para el oído humano), la frecuencia mínima de muestreo para la conversión A/D es 40 kHz; sin embargo, si se emplea una frecuencia de muestreo de 44,1 kHz. Cuál sería el periodo de muestro?

Conversión Analógica a Digital

- Ejemplo 4
- En los sistemas de disco compacto, para una frecuencia de audio máxima de 20 kHz (para el oído humano), la tasa mínima de muestreo para la conversión A/D es 40 kHz; sin embargo, si se emplea una tasa de 44,1 kHz. Cuál sería el periodo de muestro?

$$T_s = \frac{1}{f_s}$$

$$T_s = \frac{1}{44.1\text{kHz}}$$

$$T_s = 22.68\mu s$$

Conversión Analógica a Digital

- Ejemplo 5:
- Calcule el número de niveles si el número de bits por muestra es: a) 8 como en telefonía, b) 16 como en los sistemas de audio de CD

- Se está muestreando una señal, y cada muestra necesita al menos 12 niveles de precisión. ¿Cuántos bits se necesitan?

Conversión Analógica a Digital

- Ejemplo 5:
- Calcule el número de niveles si el número de bits por muestra es: a) 8 como en telefonía, b) 16 como en los sistemas de audio de CD

$$N = 2^n$$

$$N = 2^8$$

$$N = 256$$

$$N = 2^n$$

$$N = 2^{16}$$

$$N = 65536$$

- Se está muestreando una señal, y cada muestra necesita al menos 12 niveles de precisión. ¿Cuántos bits se necesitan?

$$N = 2^n$$

$$n = \log_2(N)$$

$$n = \log_2(12)$$

$$n = 3.58 \text{ bits} \approx 4 \text{ bits}$$

Conversión Analógica a Digital

- Ejemplo 6:
- Se quiere digitalizar la voz humana. Calcule la tasa de bit asumiendo 8 bits por muestra.
- Calcule la tasa mínima de transferencia de datos necesaria para transmitir audio con una frecuencia de muestreo de 40 kHz y 14 bits por muestra.

Conversión Analógica a Digital

- Ejemplo 6:
- Se quiere digitalizar la voz humana. Calcule la tasa de bit (velocidad) asumiendo 8 bits por muestra.

$$Vt(bps) = fs(Hz) \times n$$

$$Vt(bps) = 8000 \times 8$$

$$Vt(bps) = 64 \text{ kbps}$$

- Calcule la tasa mínima de transferencia de datos necesaria para transmitir audio con una frecuencia de muestreo de 40 kHz y 14 bits por muestra.

$$Vt(bps) = fs(Hz) \times n$$

$$Vt(bps) = 40000 \times 14$$

$$Vt(bps) = 560 \text{ kbps}$$