



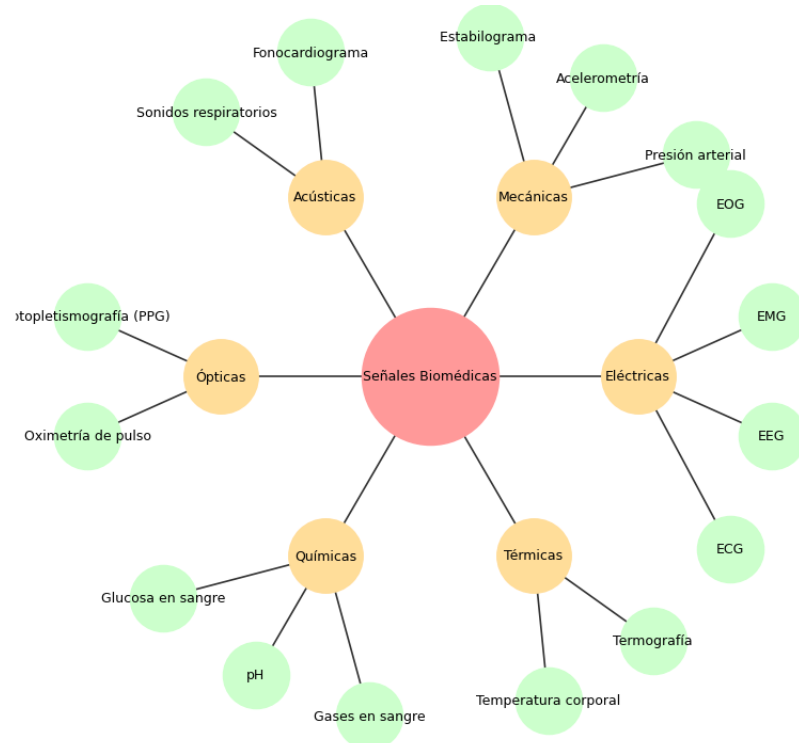
Introducción a la señales
biomédicas

Procesamiento en señales biomédica

por LBM. Enrique Hernandez Laredo

¿Qué es una señal biomédica?

Una señal biomédica es una representación cuantitativa en el tiempo o en espacio de un fenómeno biológico que puede medirse a través de sensores, y permite obtener información sobre el estado fisiológico o patológico de un organismo vivo.



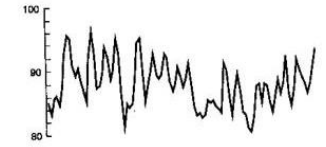
Flujo sanguíneo en la arteria media del cerebro



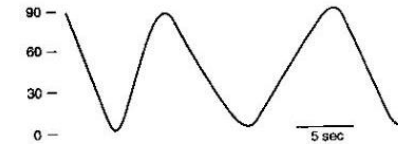
Electrocardiograma



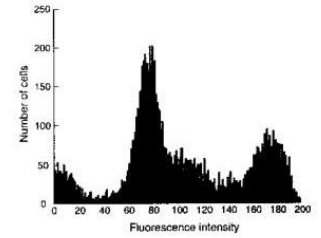
Electromiograma de la lengua



Frecuencia cardíaca instantánea



Ángulo de rotación de la rodilla



Intensidad de la fluorescencia de células excitadas con láser

Dr. Juan José Aranda Aboy
Profesor Titular



¿Qué es
una señal
biomédica?

Propiedades de las señales



Propiedades típicas de señales biomédicas:

Amplitud:

- La amplitud se entiende visualmente como la altura de la señal, su magnitud puede variar desde microvoltios (EEG) hasta voltios (señales de presión).

Frecuencia

- Es una magnitud física medida en Hertz (Hz) que indica cuántas veces se repite un fenómeno periódico en un segundo, en biomedica la frecuencia va de desde fracciones de Hz (ondas lentas) hasta cientos de Hz (actividad muscular).

Relación Señal/Ruido (SNR)

- La SNR es una medida que compara la potencia de la señal de interés con la potencia del ruido presente, normalmente expresada en decibelios (dB). En señales biomédicas, la SNR suele ser baja debido a interferencias eléctricas

Estacionariedad

- Una señal estacionaria mantiene sus propiedades estadísticas (media, varianza, espectro) constantes en el tiempo. Por el contrario, una señal no estacionaria presenta cambios significativos en dichas propiedades. Muchas señales biomédicas son no estacionarias, ya que sus características cambian dependiendo del estado fisiológico del paciente

Adquisición biomédica

Sistemas basados en PC o microcontroladores:

Estos sistemas incluyen uno o más sensores, hardware externo para el aislamiento eléctrico del paciente, amplificadores de señal, convertidores analógico-digitales (ADC) y software de adquisición y procesamiento.

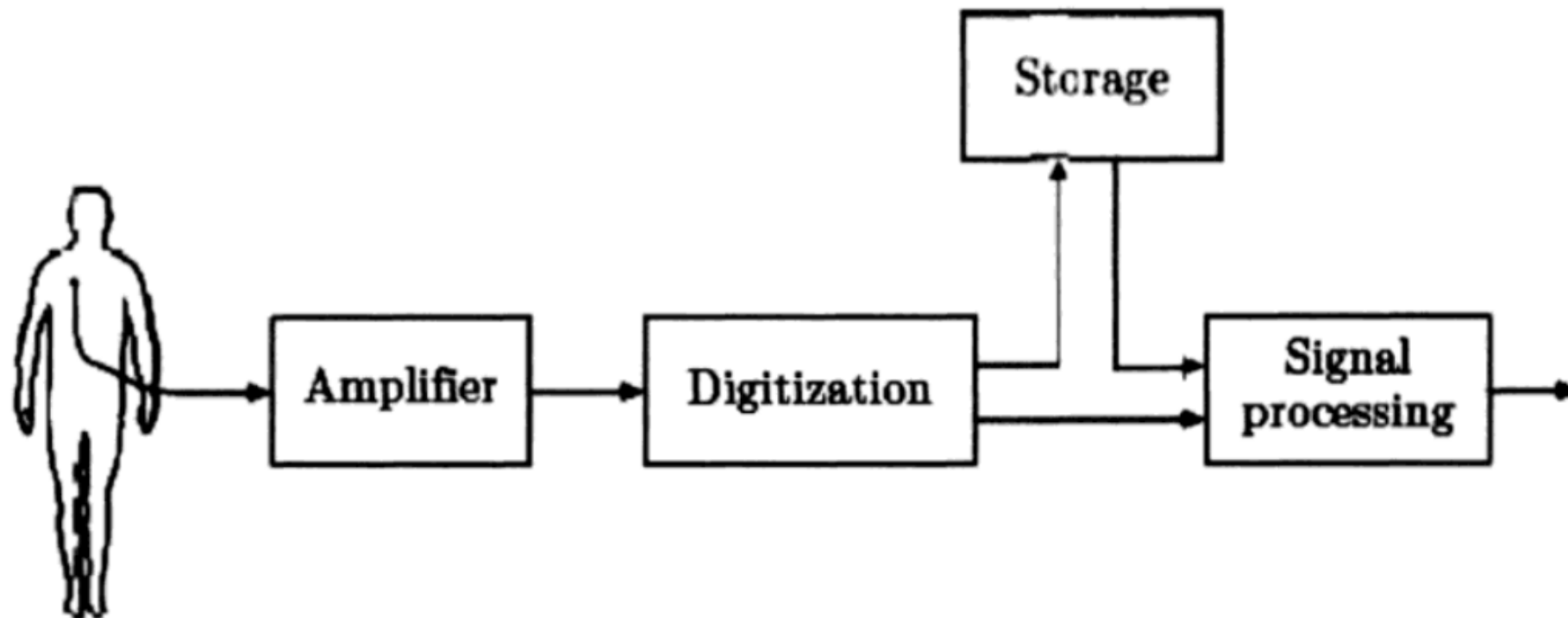
En la mayoría de las aplicaciones, una resolución de **12 a 14 bits** es suficiente para la cuantificación de la amplitud de la señal, la cual puede variar desde **0.1 μV** hasta algunos **milivoltios**. Las frecuencias de muestreo típicas suelen ser menores a **1 kHz**, dependiendo del tipo de señal biomédica a registrar.



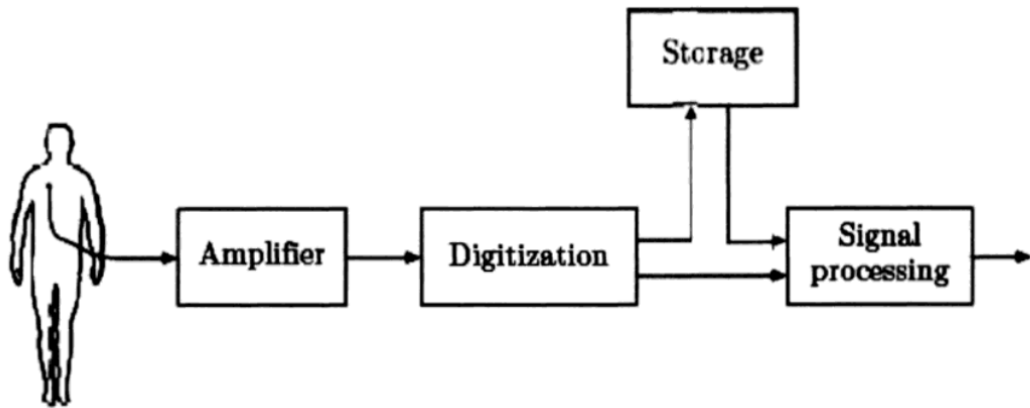
ACQKNOWLEDGE SOFTWARE



Adquisición biomédica



Adquisición biomédica



Adquisición:

Una vez que se obtuvo la señal el sensor convierte la señal física en una señal eléctrica.

Amplificación (analógica o digital):

Una vez detectada la señal es amplificada, y filtrada. La amplificación permite poder tener un mejor manejo de la salud. Mientras que el filtrado ayuda a eliminar ruido generado en el proceso de adquisición, y de la naturaleza de la señal

Conversión analógico digital:

La señal amplificada ingresa a un CAD que cambia la señal analógica continua a una señal discreta

Procesamiento biomédico



El procesamiento de señales implica una serie de etapas que pueden incluir:

Preprocesamiento

- Eliminación de ruido y artefactos.
- Filtrado para conservar solo la banda de interés.
- Ejemplo: eliminar interferencia de 60 Hz en un EEG.

Transformación y análisis

- Cambio de dominio (tiempo \rightarrow frecuencia, tiempo-frecuencia).
- Extracción de características (picos, energía, frecuencias dominantes). Ejemplo: detectar el intervalo R-R en un ECG para calcular frecuencia cardíaca.

Interpretación y toma de decisiones

- Aplicar algoritmos para diagnóstico, control o monitoreo. Ejemplo: detectar arritmias o apnea del sueño.

Procesamiento biomédico



El procesamiento de señales implica una serie de etapas que pueden incluir:

Preprocesamiento

- Eliminación de ruido y artefactos.
- Filtrado para conservar solo la banda de interés.
- Ejemplo: eliminar interferencia de 60 Hz en un EEG.

Transformación y análisis

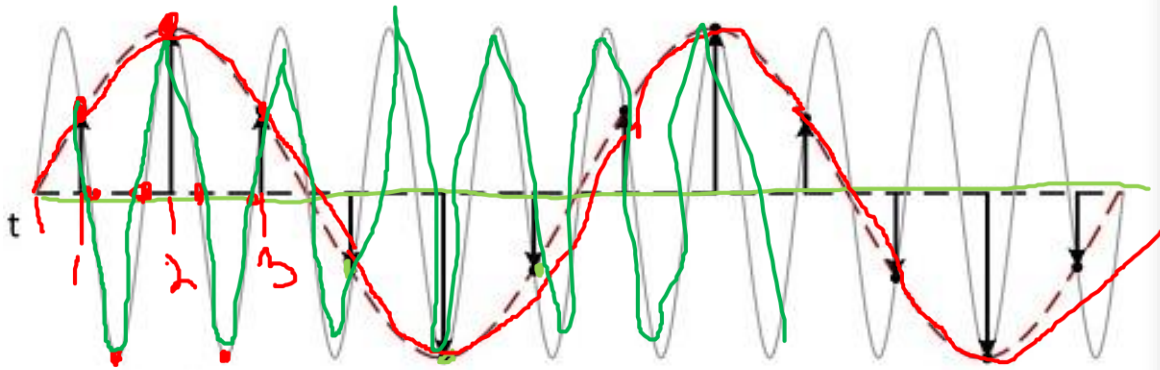
- Cambio de dominio (tiempo \rightarrow frecuencia, tiempo-frecuencia).
- Extracción de características (picos, energía, frecuencias dominantes). Ejemplo: detectar el intervalo R-R en un ECG para calcular frecuencia cardíaca.

Interpretación y toma de decisiones

- Aplicar algoritmos para diagnóstico, control o monitoreo. Ejemplo: detectar arritmias o apnea del sueño.

$$f_s = 1 \text{ n/s}$$

Teorema de muestreo



Biomedical Signals

Biomedical Signals	Frequency Range
Electroencephalogram (EEG)	1–150 Hz
Electromyogram (EMG)	25–1 kHz
Electrocardiogram (ECG)	0.5–250 Hz
Local Field Potential (LFP)	0.5–200 Hz
Action Potential (AP)	100–7 kHz

$$f_s = 5 \text{ m/s}$$

$$0.6 \text{ Hz}$$

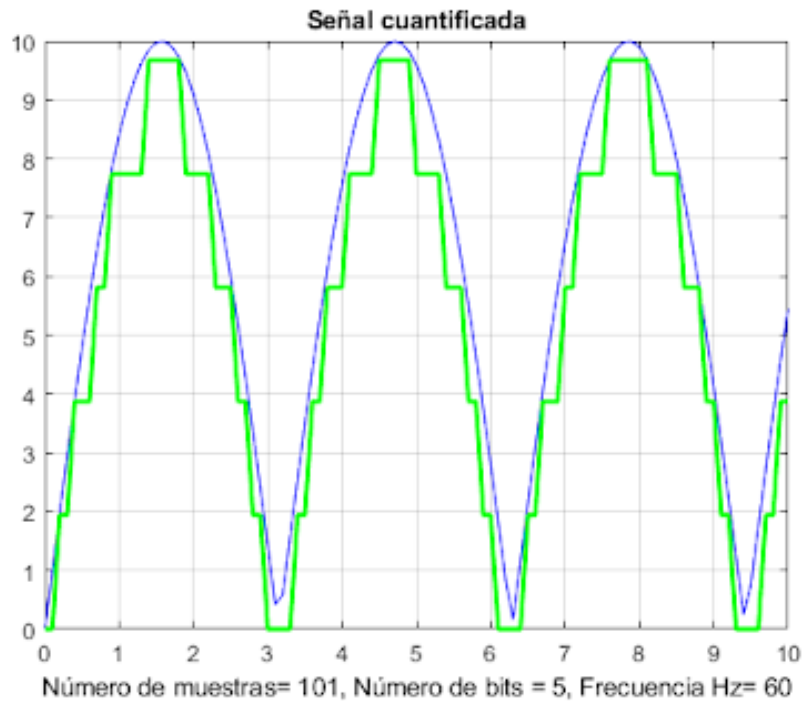
$$0.3 \text{ Hz}$$

El teorema de muestreo de Nyquist-Shannon establece que una señal analógica de banda limitada a una frecuencia máxima f_{max} puede reconstruirse perfectamente a partir de sus muestras si la frecuencia de muestreo f_s es al menos el doble de la máxima frecuencia presente:

$$f_{\text{max}} \geq f_s$$

Si no se cumple \rightarrow ocurre aliasing, fenómeno en el cual las componentes de alta frecuencia se “pliegan” y aparecen como frecuencias falsas en el espectro.

Efectos de la cuantización



Codificación
Análogo Digital

0	=	00000
0	=	00000
1	=	00001
1	=	00001
2	=	00010
2	=	00010
2	=	00010
3	=	00011
3	=	00011
4	=	00100

■	■
■	■
■	■

La cuantización es el proceso mediante el cual una señal continua en amplitud se aproxima a un conjunto finito de valores discretos (niveles), definidos por el número de bits del convertidor ADC.

- Número de niveles = 2^B
- A mayor número de bits \rightarrow menor error de cuantización y mayor precisión. Un número de bits insuficiente puede distorsionar señales de baja amplitud (ej.: EEG).

Representación de las señales biomédicas en tiempo-frecuencia

Las señales biomédicas suelen ser no estacionarias, es decir, sus características cambian con el tiempo. Además, debido a que suelen adquirirse con altas frecuencias de muestreo y abarcan periodos de varios segundos o minutos, resulta complejo que tanto los humanos como las computadoras las analicen directamente en su forma cruda.

Por esta razón, el **procesamiento de señales** recurre a técnicas en dos dominios principales:

- **Dominio del tiempo** → analiza cómo evoluciona la señal a lo largo del tiempo. Permite medir amplitudes, intervalos y detectar eventos, usualmente están basadas en medidas estadísticas (ej.: picos R en el ECG).
- **Dominio de la frecuencia** → estudia cómo se distribuye la energía de la señal en diferentes frecuencias. Permite identificar componentes frecuenciales, filtrar y eliminación de ruido.

Representación de las señales biomédicas en tiempo-frecuencia

Algunas señales podrían ser tan complejas que no basta con analizarlas únicamente en el dominio del tiempo o de la frecuencia. Por esa razón, se necesita una **representación conjunta tiempo-frecuencia**.

Método	Descripción breve	Resultado	Limitación
STFT (Transformada de Fourier de Tiempo Corto)	Divide la señal en ventanas y calcula el espectro en cada una.	Representación tiempo-frecuencia del contenido espectral en intervalos definidos.	Compromiso entre resolución en tiempo y en frecuencia (depende del tamaño de ventana).
DWT (Transformada Wavelet Discreta)	Analiza la señal en distintas escalas y resoluciones usando ondículas discretas.	mapa tiempo-frecuencia discreto, de un conjunto de coeficientes que representa las series de tiempo por niveles	Menor resolución continua; depende de la elección de la familia de ondículas.
CWT (Transformada Continua de Ondículas)	Usa un espectro continuo de escalas y desplazamientos para analizar la señal.	Mapa tiempo-frecuencia de alta resolución.	Alto costo computacional; requiere mayor procesamiento.