



Universidad de la República
Uruguay



núcleo de ingeniería biomédica

ELECTRICIDAD, ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN BIOMÉDICA CON SEGURIDAD

Clase 9 – Señales biológicas: contenido frecuencial y descomposición

20 de mayo de 2025

Prof. Franco Simini, MSc. Natalia Garay Badenian , Br. Alejandra Rial

Núcleo de Ingeniería Biomédica de las Facultades de Medicina e Ingeniería
Hospital de Clínicas piso 15 sala 2

Señales biológicas

Señales biológicas: varían con el tiempo, algunas se repiten.

Transmite información

Ej: actividad eléctrica del corazón, pasos al caminar, respiración, actividad eléctrica cerebral, etc.



Señales biológicas: amplitud y frecuencias

Espectro de frecuencias

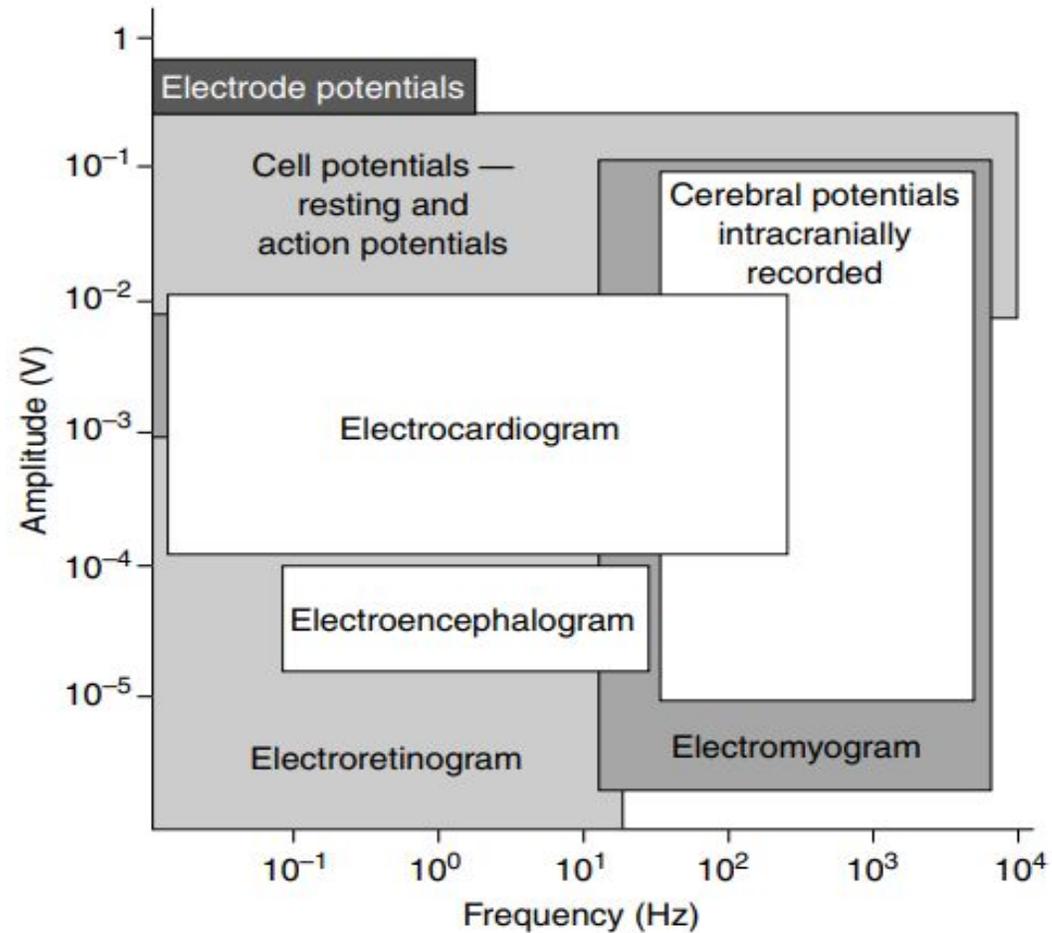


FIGURE 52.3 Amplitudes and spectral ranges of some important biosignals. The various biopotentials completely cover the area from 10^{-5} V to almost 1 V and from dc to 10 kHz.

Figura tomada de "The Biomedical Engineering Handbook" - Bronzino, Joseph D. Cap 52.

Clasificación de señales biológicas por las características de **amplitud** y **frecuencia** de la señal

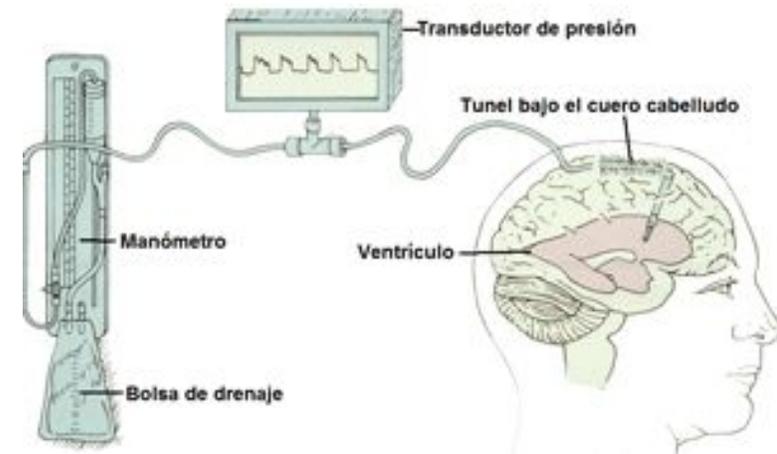
Parámetro para la técnica de medición	Medida principal Rango de medición	Frecuencia de la señal Rango Hz	Método
Flujo de sangre	1 – 300ml/s	0 - 20	Electromagnético o ultrasónico
Presión sanguínea arterial directa	0 – 400mmHg	0 - 50	Manómetro de galgas extensiométricas
Electrocardiografía (ECG)	0.5-4mV	0.01 - 250	Electrodos de piel
Electroencefalografía (EEG)	5 – 300uV	0.5 – 150	Electrodos de cuero cabelludo
Electromiografía (EMG)	0.1 – 5mV	0 - 10000	Electrodo de aguja
Electroretinografía (ERG)	0 – 900uV	0 - 50	Electrodos de contacto
pH	3 - 13pH	0 - 1	Electrodo de pH
P _{CO2}	40 - 100mmHg	0 - 2	Electrodo de CO2
P _{O2}	30 - 100mmHg	0 - 2	Electrodo de O2
Neumotacografía	0 - 600L/min	0 - 40	Neumatógrafo
Frecuencia respiratoria	2 - 50 respiraciones/min	0.1 – 10	Galga extensiométrica en pecho. Impedancia. Termistor nasal
pH Gástrico	3 - 13 unidades de pH	0 - 1	Electrodo de pH
Temperatura del cuerpo	32 - 40°C	0 - 0.1	Termistor o termocupla

Equipo biomédico según el contexto hospitalario

Contexto	Medidas de uso común	Ocasionales	Equipo biomédico
Sala de internación	<ul style="list-style-type: none">- Presión arterial- Frecuencia cardíaca- Temperatura- Saturación de O₂-Glucemia rápida	<ul style="list-style-type: none">-EEG-ECG-RX-otros	Tensiómetro, termómetro, oxímetro de pulso, los adicionales



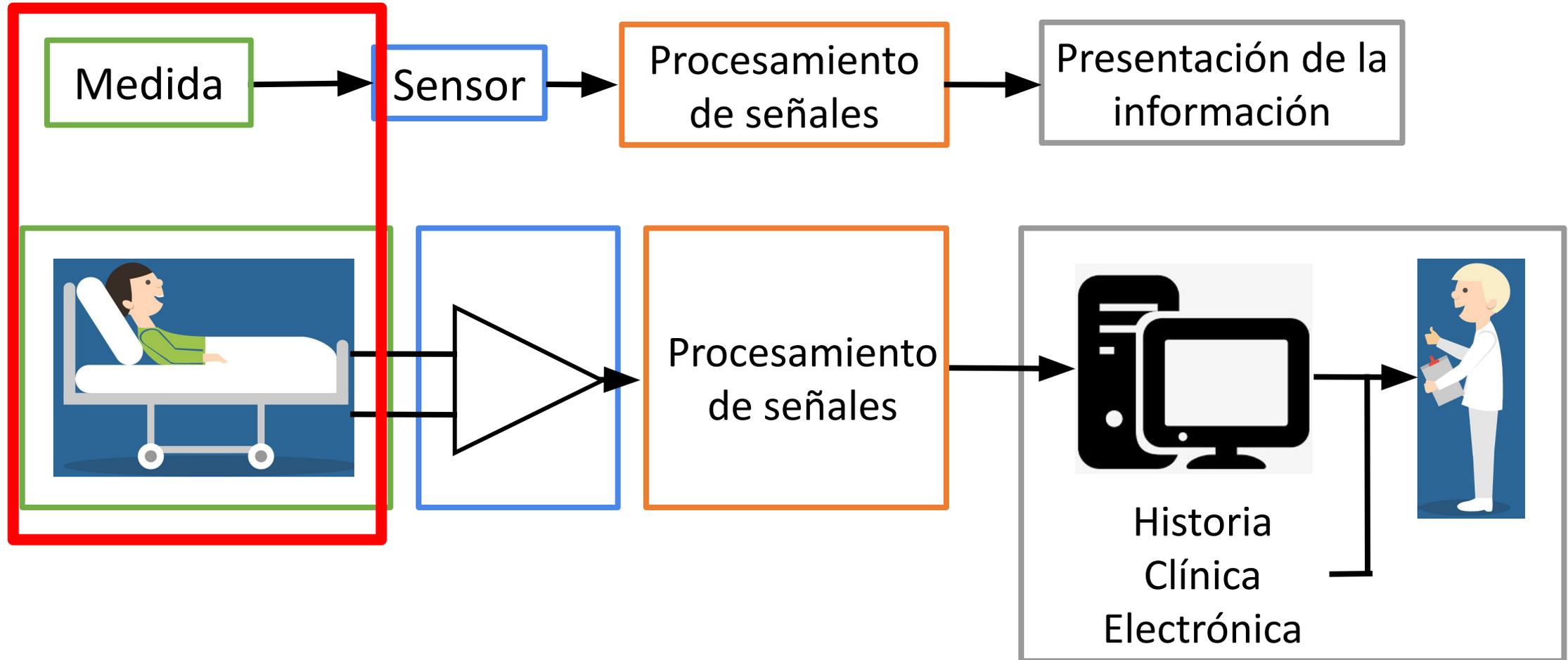
Contexto	Medidas de uso común	Ocasionales	Equipo biomédico
CTI	<ul style="list-style-type: none"> - ECG continuo - Saturación O2 oxímetro de pulso - Presión arterial invasiva y no invasiva - Frecuencia respiratoria / presión pico - Temperatura - Ventilación invasiva 	<ul style="list-style-type: none"> - Presión intracraneal (casos neuro) - EEG - RX - otros 	Monitor multiparamétrico, respirador, adicionales



Contexto	Medidas de uso común	Equipo biomédico
Emergencia	<ul style="list-style-type: none"> - Signos vitales rápidos - ECG no continuo - Saturación O₂ - Glucemia rápida 	Desfibrilador, tensiómetro automático, glucometría



Esquema general de un equipo biomédico



Medida ¿Qué queremos observar del cuerpo?

Es la propiedad del cuerpo que nos interesa conocer: la presión de la sangre, la temperatura, la actividad eléctrica del corazón, del cerebro, etc.

- Accesibilidad de la medida

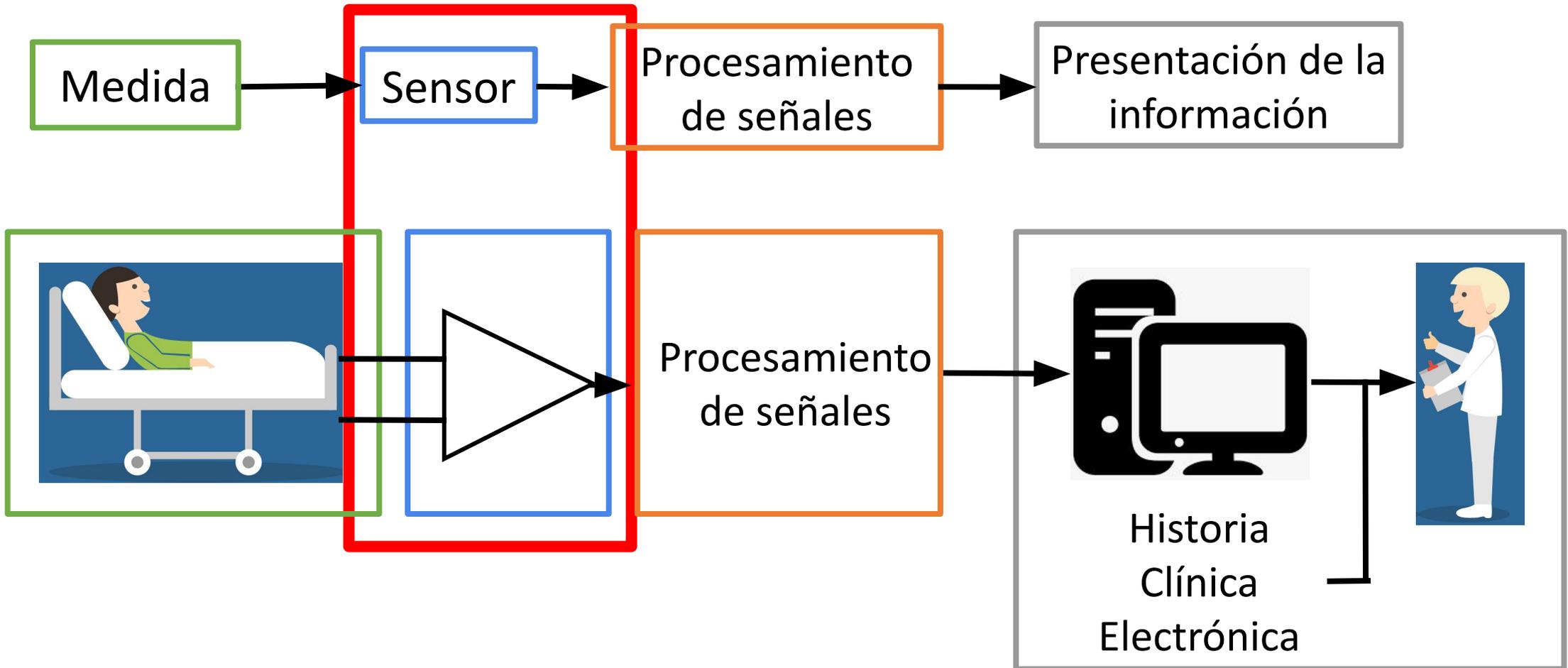
- Interna (invasiva) - **Presión art en sangre**
- Superficiales (no invasiva) - **ECG, EEG**
- Emanada del cuerpo - **calor con infrarrojo**
- Derivada de una muestra – **análisis de sangre / biopsia**

Medida

Algunas medidas de uso médico:

- Biopotenciales (act eléctrica  ,  , )
- Presión (arterial, intracraneal)
- Flujos (sangre, aire)
- Dimensiones o imagen
- Impedancia eléctrica
- Movimiento
- Temperatura
- Concentraciones químicas

Esquema general de un equipo biomédico



Sensor o transductor

Es el dispositivo que convierte esa **propiedad física** (como la temperatura o la presión) en una señal eléctrica que el equipo puede procesar.

- Debe ser preciso: medir solo lo que interesa.
- Debe ser seguro y poco invasivo: no dañar ni interferir con el cuerpo.
- Debe ser eficiente: no extraer más energía de la necesaria.

Ejemplo: un **electrodo** convierte la actividad bioeléctrica del corazón o los potenciales eléctricos de la corteza cerebral **en señales eléctricas**, un **oxímetro** tiene sensores ópticos que detectan la cantidad de luz absorbida por la sangre

En este curso usaremos sensor y transductor como sinónimos, en ingeniería biomédica específica se diferencia su uso

Clasificación según ámbito médico



1. Sensores bioeléctricos: detecta potenciales eléctricos

Electrodos de ECG: para registrar la actividad eléctrica del corazón.

Electrodos de EEG: para registrar la actividad eléctrica cerebral.

Electrodos de EMG: para registrar la actividad muscular.



Por lo general usan materiales conductores como plata/cloruro de plata (Ag/AgCl) y funcionan como transductores eléctricos.

2. Sensores de temperatura: miden la temperatura corporal o de tejidos.

Termistores: varían su resistencia con la temperatura.

Sensores infrarrojos: usados en termómetros sin contacto.



3. Sensores de presión:

Sensores de presión invasivos: usados en monitoreo de presión intracraneana o arterial.



4. Sensores de flujo y volumen: se usan en equipos respiratorios.

Pneumotacógrafos: miden flujo de aire en ventiladores.

Turbinas o sensores ultrasónicos: miden volumen de aire inspirado/espirdo.



5. Sensores ópticos: utilizan luz para medir propiedades fisiológicas.

Oxímetros de pulso: usan luz roja e infrarroja para medir saturación de oxígeno.

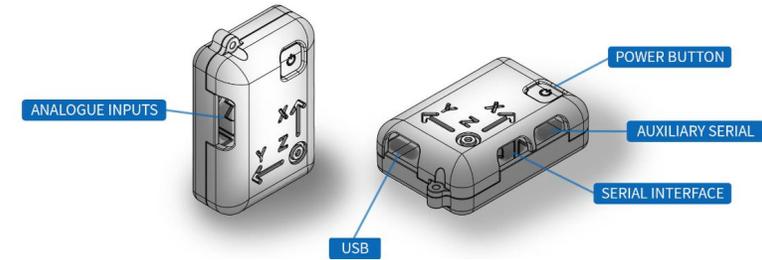
Espectroscopía cercana al infrarrojo NIRS: analiza oxigenación cerebral.



6. Sensores de movimiento y posición: captan el movimiento del cuerpo o partes del cuerpo.

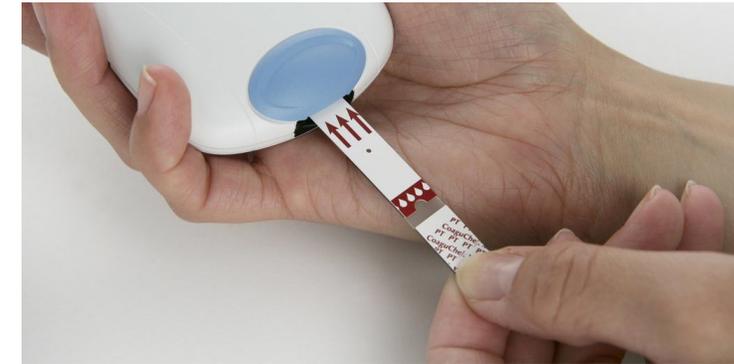
Acelerómetros, giroscopios

Sensores inerciales (IMU): combinan acelerómetro + giroscopio + magnetómetro.



7. Sensores químicos y biosensores: detectan sustancias en sangre, orina u otros fluidos.

Biosensores en tiras reactivas: usados en pruebas rápidas (glucosa, embarazo, etc.).



Clasificación según invasividad

No invasivos sin contacto

Ej: Detector de temperatura por radiación infrarroja.



No invasivos de contacto (superficiales).

Ej: Electrodo para EEG, ECG, PE, etc.

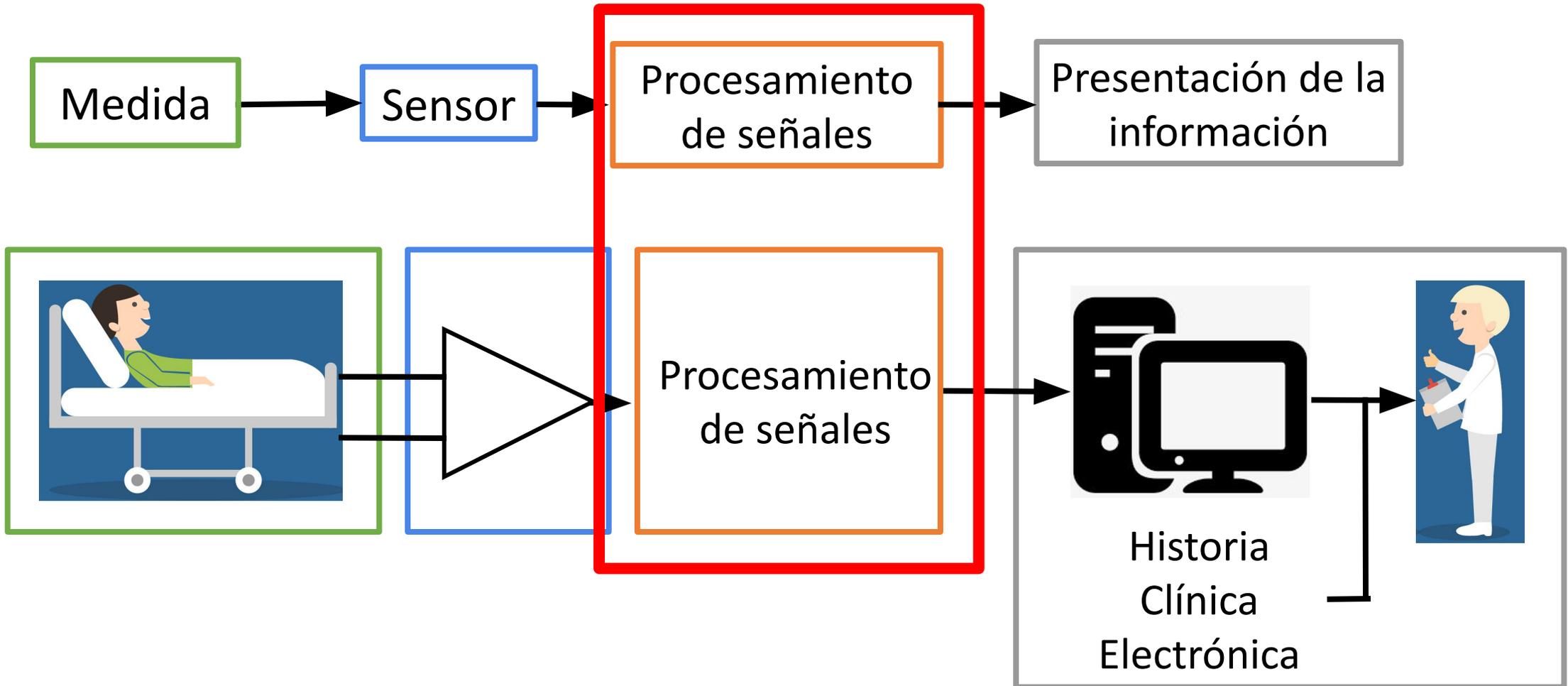


Invasivos

- Electrodo de aguja para electromiograma (EMG)
- Sensor de glucosa subcutáneo
- Corkscrew para monitoreo neurofisiológico en cirugías
- Electrodo de presión intracraneana
- Catéter arterial



Esquema general de un equipo biomédico



Procesamiento de señales

Sensor: capta la señal analógica (biopotencial, presión, etc.).

Amplificación: la señal suele tener muy bajo voltaje (microvoltios o milivoltios)

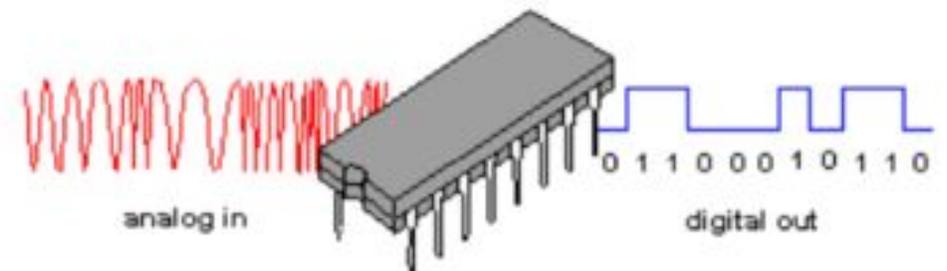
Filtrado: se eliminan ruidos e interferencias no deseadas

Adaptación de impedancia: para evitar distorsiones por desajuste entre el sensor y la electrónica.

Cuantificación y codificación: se muestrea la señal y se traduce la señal muestreada a números binarios.

Procesamiento digital y visualización.

From Computer Desktop Encyclopedia
© 1998 The Computer Language Co. Inc.



Conversión Analógico-Digital (CAD)

1. Muestreo

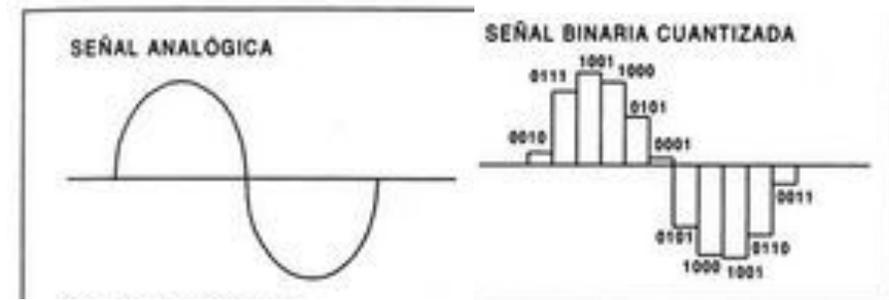
Se toma una muestra cada cierto tiempo (frecuencia de muestreo): cuántas muestras se toman por segundo (ej. muestreo a 500 Hz para ECG)

2. Cuantificación y codificación

Se asigna un número a cada valor medido. Se traduce ese número a lenguaje binario (bits) (0 y 1)

3. Datos digitales

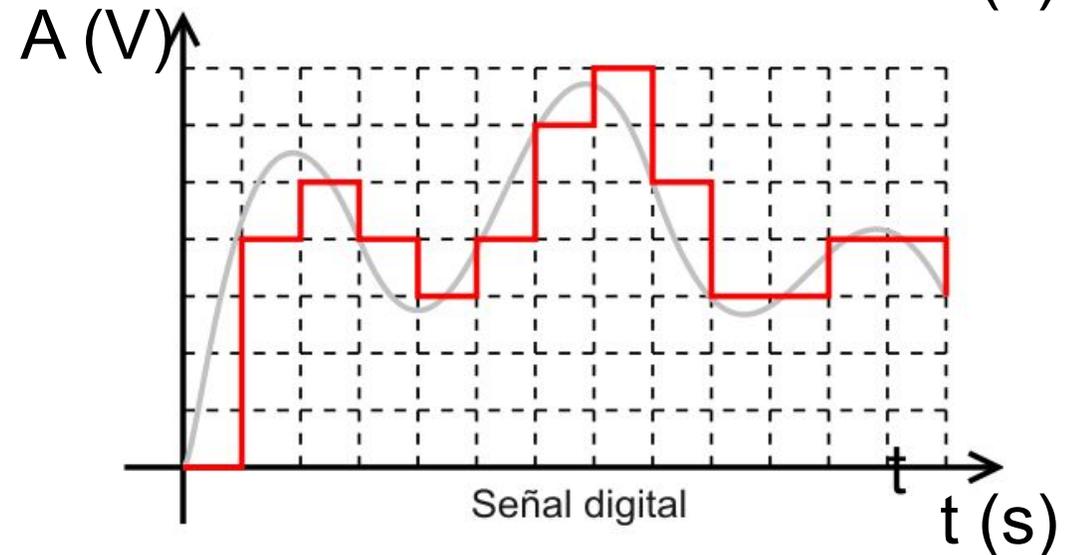
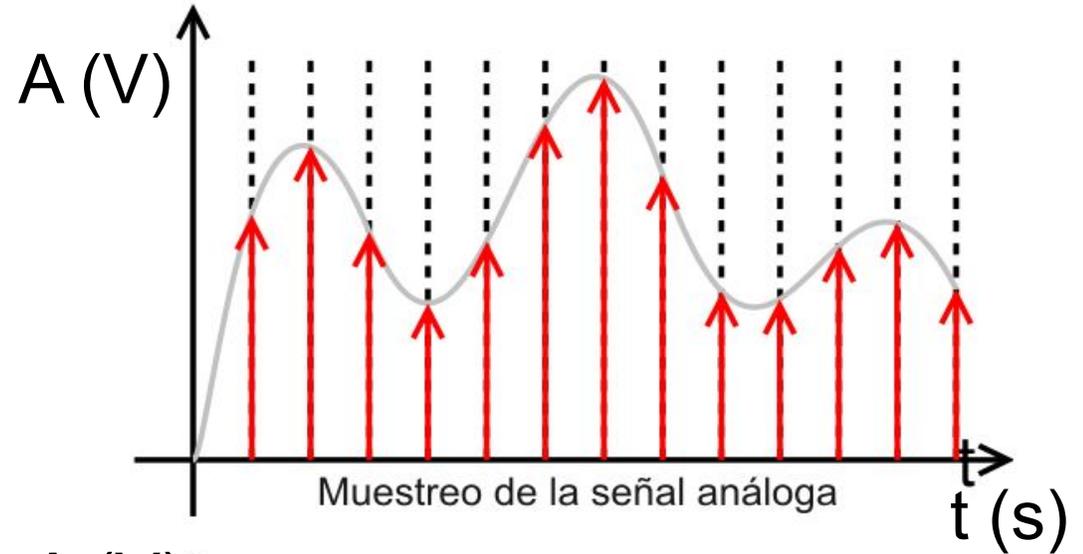
El resultado es una serie de datos digitales que puede procesar el equipo.



1. Muestreo

Para convertir una señal analógica en digital:

- Se toman muestras en el tiempo
- Se le asigna un valor a un instante en el tiempo

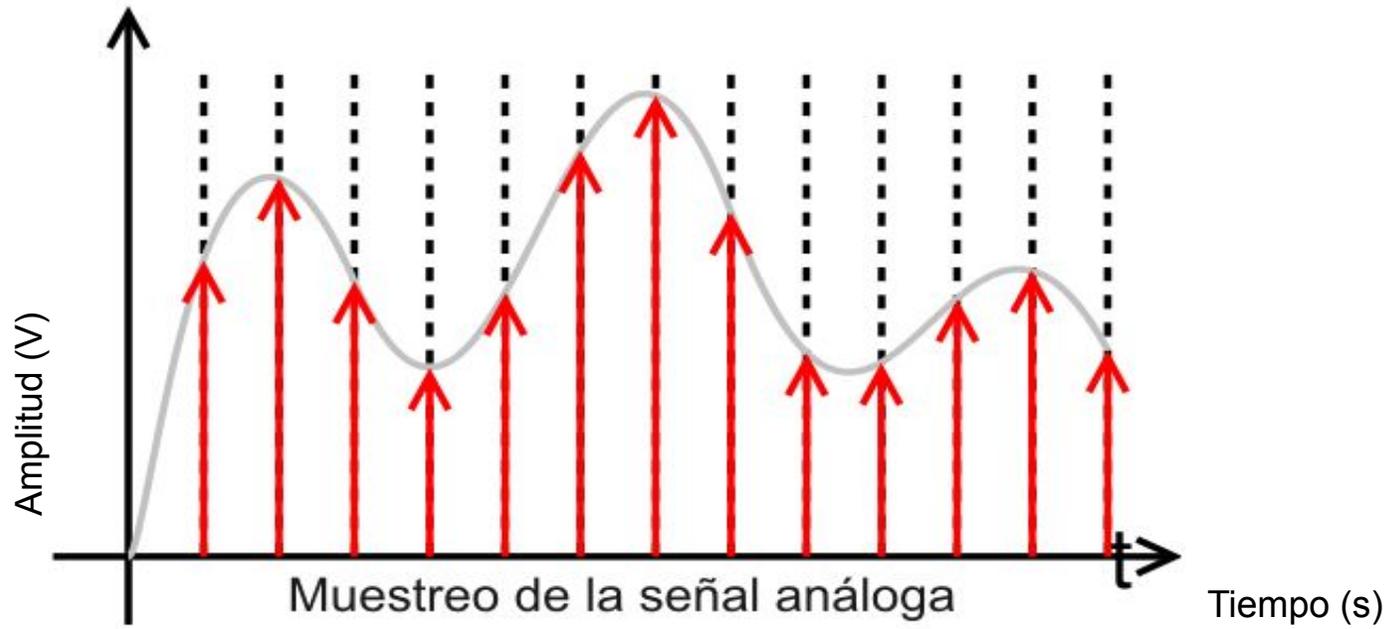


1. Muestreo

Cuanto más muestras tomo de una señal, más detalles obtendré, pero también ocupará más espacio de almacenamiento

Si la frecuencia de muestreo es muy baja, la señal reconstruida NO será correcta

1. Muestreo



Señal digital:

Conjunto de valores **finitos** que se pueden procesar en la computadora

1. Muestreo

Conceptos importantes

Frecuencia de la señal (f): número de ciclos completos que una señal realiza por segundo. Se mide en Hertz (Hz).

Por ejemplo, una señal de 3 Hz completa 3 oscilaciones (o ciclos) en un segundo.

Período (T): tiempo que tarda una señal en completar un ciclo completo. Se mide en segundos y es el inverso de la frecuencia:

$$T = 1/f$$

Frecuencia de muestreo (fs): cantidad de muestras que se toman de una señal analógica por segundo para digitalizarla. También se mide en Hertz (Hz).

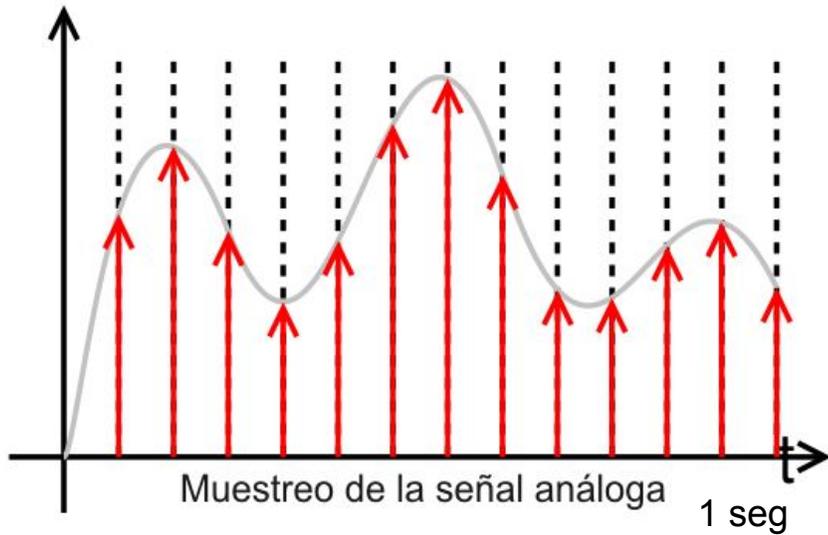
Período de muestreo (Ts): Período de tiempo que pasa entre las muestras que se toman. Es el inverso de la frecuencia de muestreo:

$$T_s = 1/f_s$$

la primera muestra se toma en el instante 0 y luego se toma 1 muestra cada 1 período

1. Muestreo

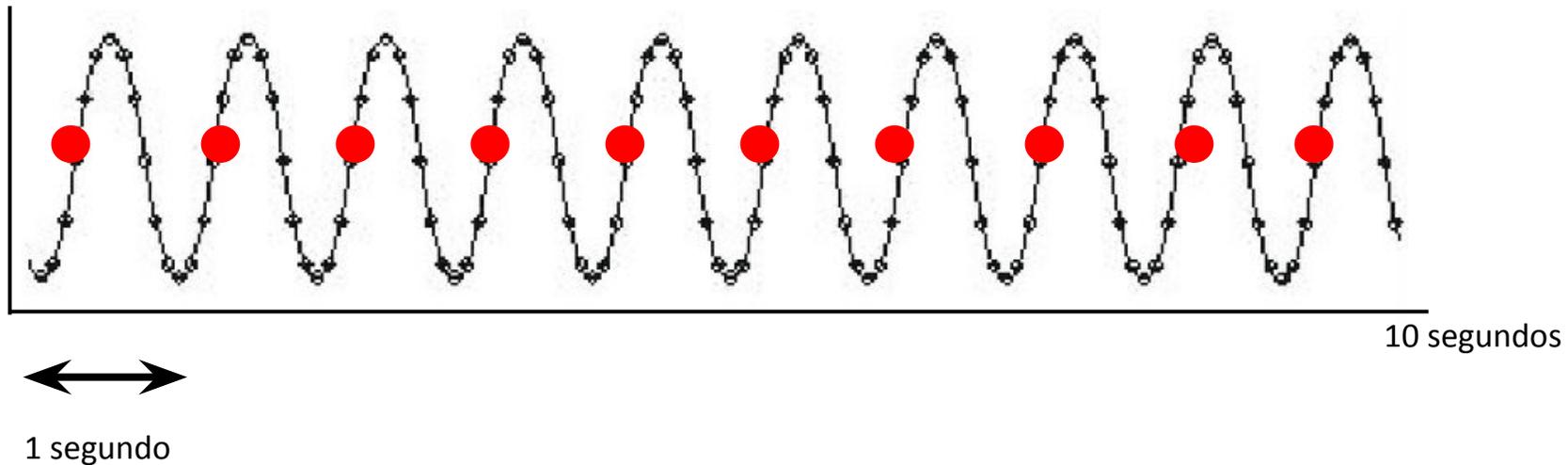
¿Cuántas muestras se tomaron por segundo en esta imagen?



¿Cuál es la frecuencia de muestreo?

1. Muestreo

Una muestra por segundo



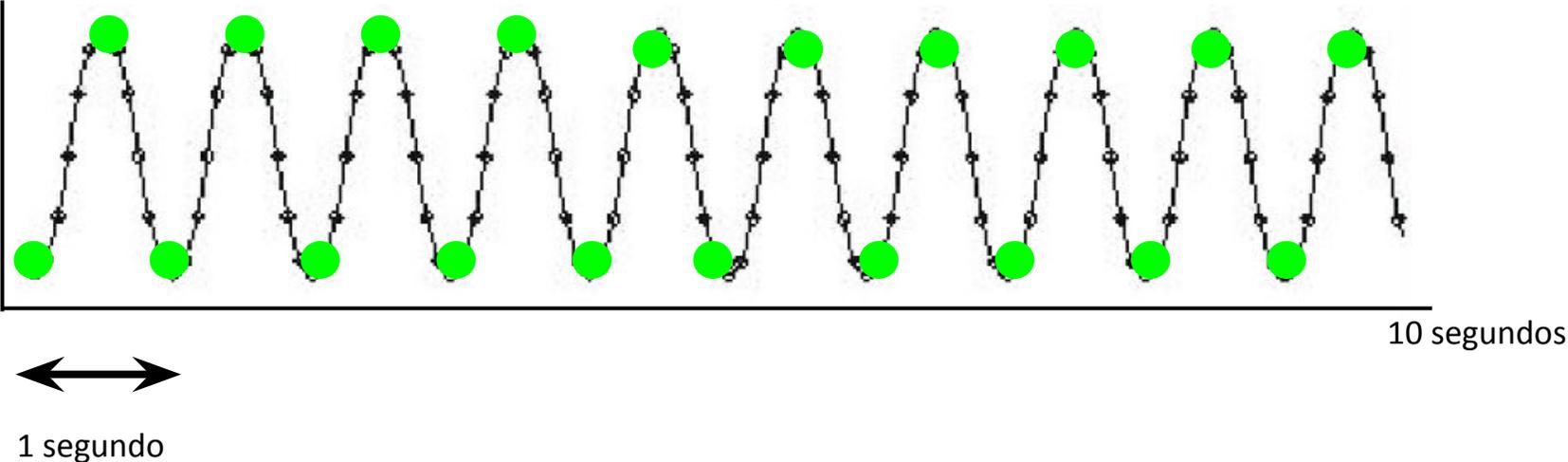
¿Qué frecuencia tiene esta señal?
¿Qué frecuencia de muestreo tiene?

1. Muestreo



1. Muestreo

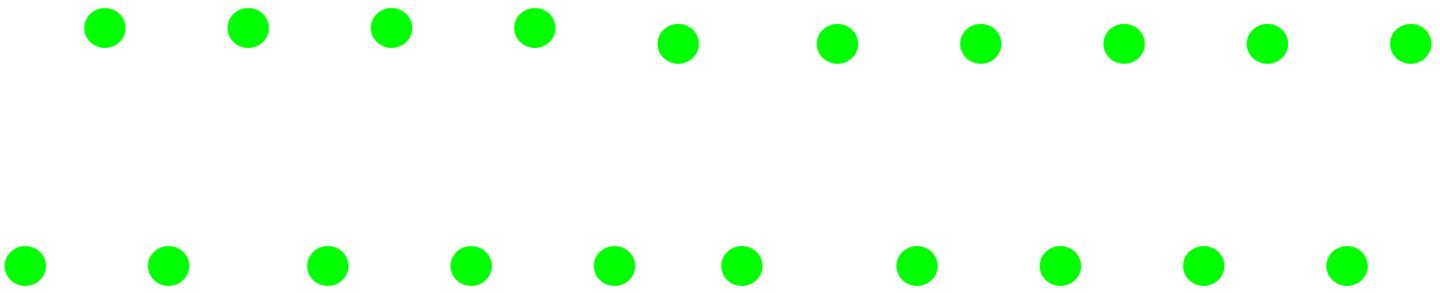
Dos muestras por segundo



¿Qué frecuencia de muestreo tiene?

1. Muestreo

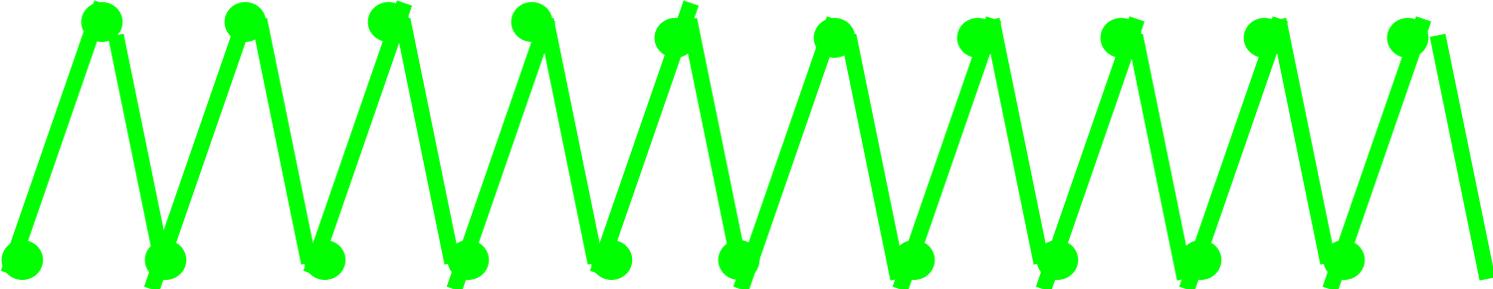
Dos muestras por segundo



1 segundo

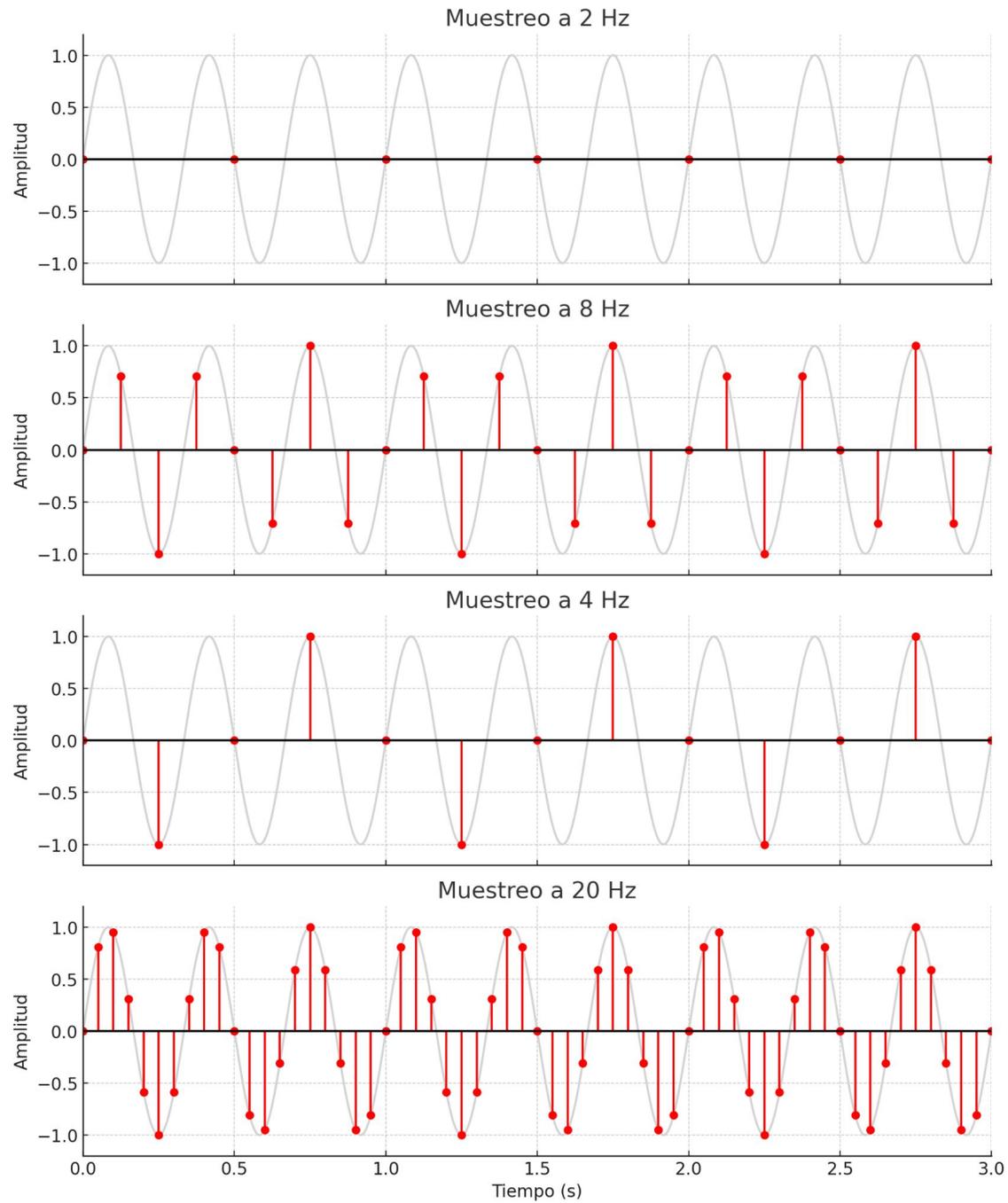
1. Muestreo

Dos muestras por segundo



1 segundo

Trabajo en clase



1. Muestreo

Es necesario tomar muestras a una frecuencia **adecuada** de muestreo.

¿Cuántas muestras tengo que tomar para estar seguro de que las muestras representan a la señal?

1. Muestreo

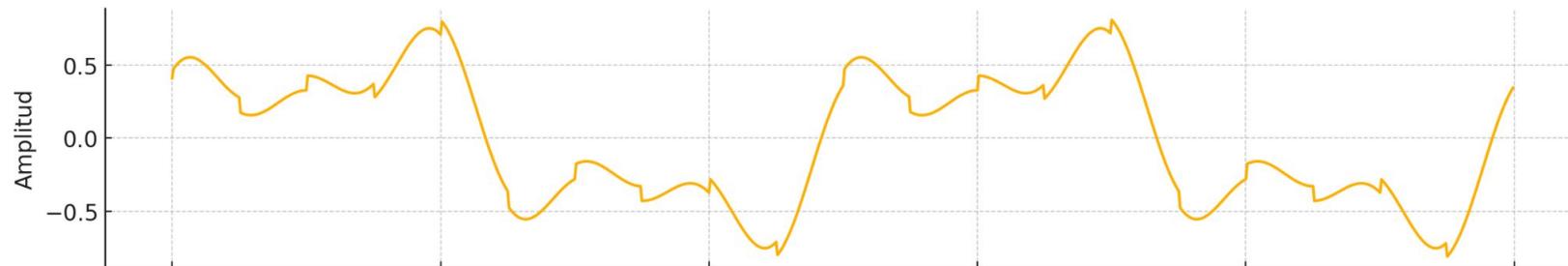
Teorema del muestreo (Nyquist)

Es posible la reconstrucción de la señal muestreada, siempre y cuando **la frecuencia de muestreo sea al menos 2 veces la máxima frecuencia contenida en la señal.**

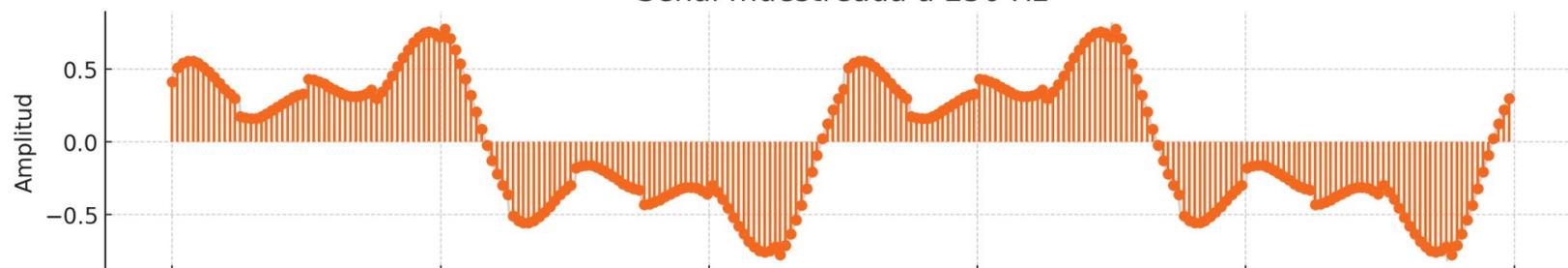
¿QUE ES UNA FRECUENCIA “CONTENIDA” EN UNA SEÑAL?

- Como el ingrediente de una torta
- Hay varias (o una sola) frecuencias contenidas en una señal biológica
- El conjunto de estas frecuencias o componentes es el **espectro de frecuencias**

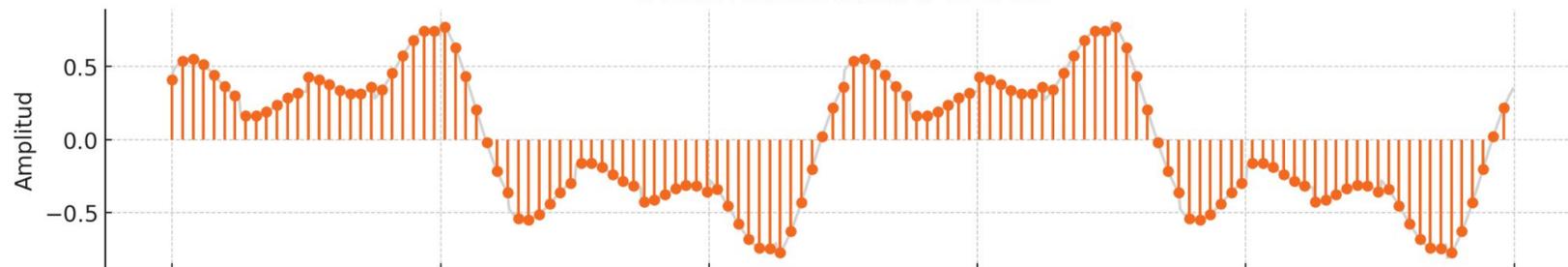
1. Muestreo



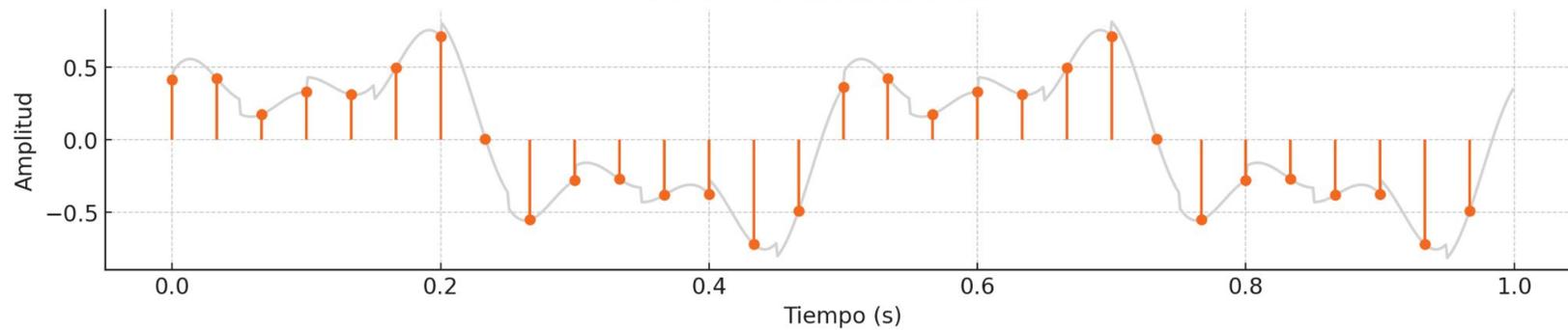
Señal muestreada a 256 Hz



Señal muestreada a 128 Hz



Señal muestreada a 30 Hz



Pregunta 5

¿Cuál es la frecuencia mínima necesaria para realizar un muestreo correcto?

- a) El valor de la frecuencia máxima de la señal
- b) 20 veces la frecuencia máxima de la señal
- c) El doble de la frecuencia máxima de la señal
- d) El triple de la frecuencia máxima de la señal

2. Cuantificación y codificación:

Convertir cada valor muestreado a un **número binario** con una cantidad determinada de **bits**.

Bit: es la unidad básica de información digital y puede representar dos estados: 0 o 1.

Byte: es el conjunto de 8 bits. Dado que un byte tiene 8 bits, puede representar $2^8 = 256$ combinaciones. Se usa como bloque básico.

Resolución: La cantidad de bits determina cuántos valores diferentes puede representar el Conversor Análogo Digital.

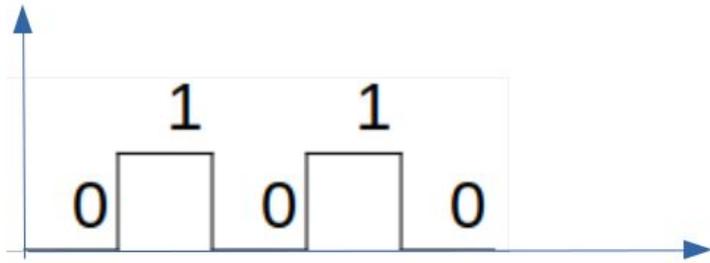
2. Cuantificación y codificación:

Resolución: cantidad de **niveles** en los que puede dividir el rango de amplitud de una señal.

Con **n bits**, se pueden representar 2^n niveles distintos.

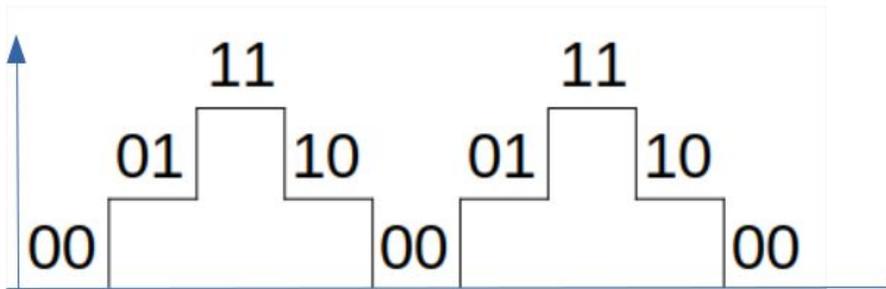
Bits	Byte	Niveles posibles	Ejemplo
1 (2^1)		2 niveles	0 o 1
2 (2^2)		4 niveles	00, 01, 10, 11
3 (2^3)		8 niveles	de 000 a 111
8 (2^8)	1	256 niveles	imagen digital simple
16 (2^{16})	2	65.536 niveles	audio de alta calidad

2. Cuantificación y codificación:



$$2^1=2$$

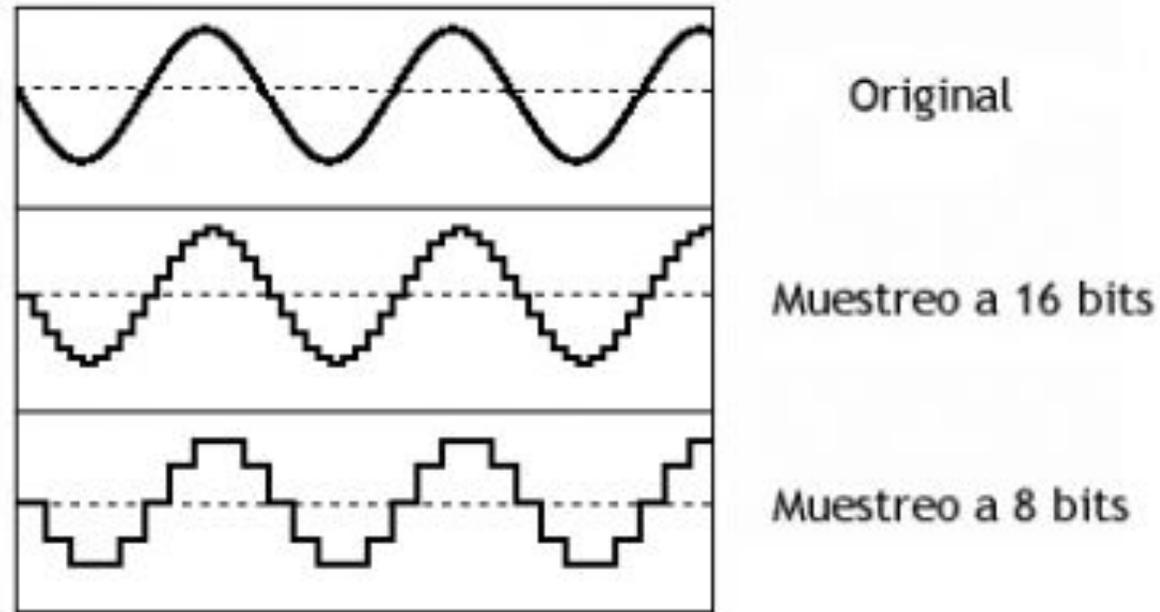
Señal con resolución de 2 bits
La señal puede tomar 2 valores
de amplitud: 0 y 1



$$2^2=4$$

Señal con resolución de 4 bits
La señal puede tomar 4 valores
de amplitud: 0, 01, 10, 11

2. Cuantificación y codificación:

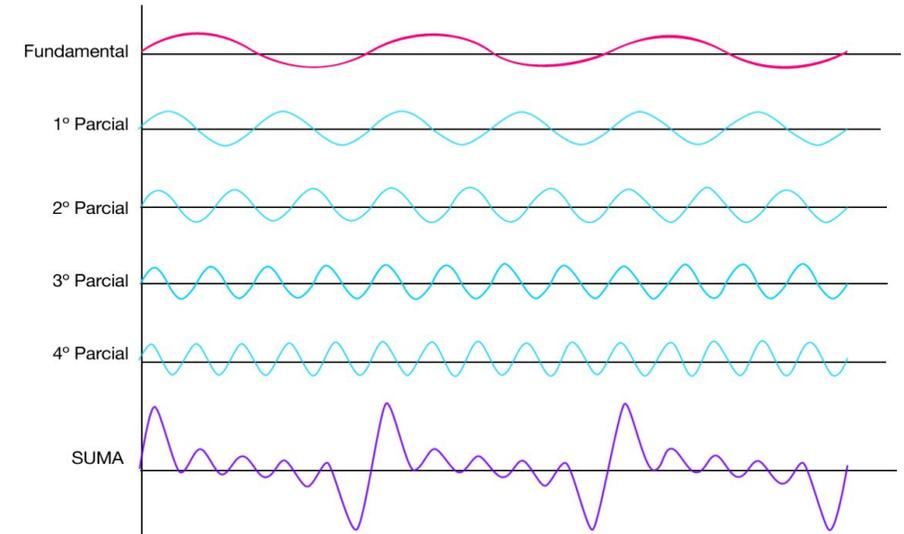


Si registramos la actividad eléctrica cerebral con un CAD de 16 bits, cada muestra de la señal puede tomar uno de 65.536 posibles valores (2^{16})

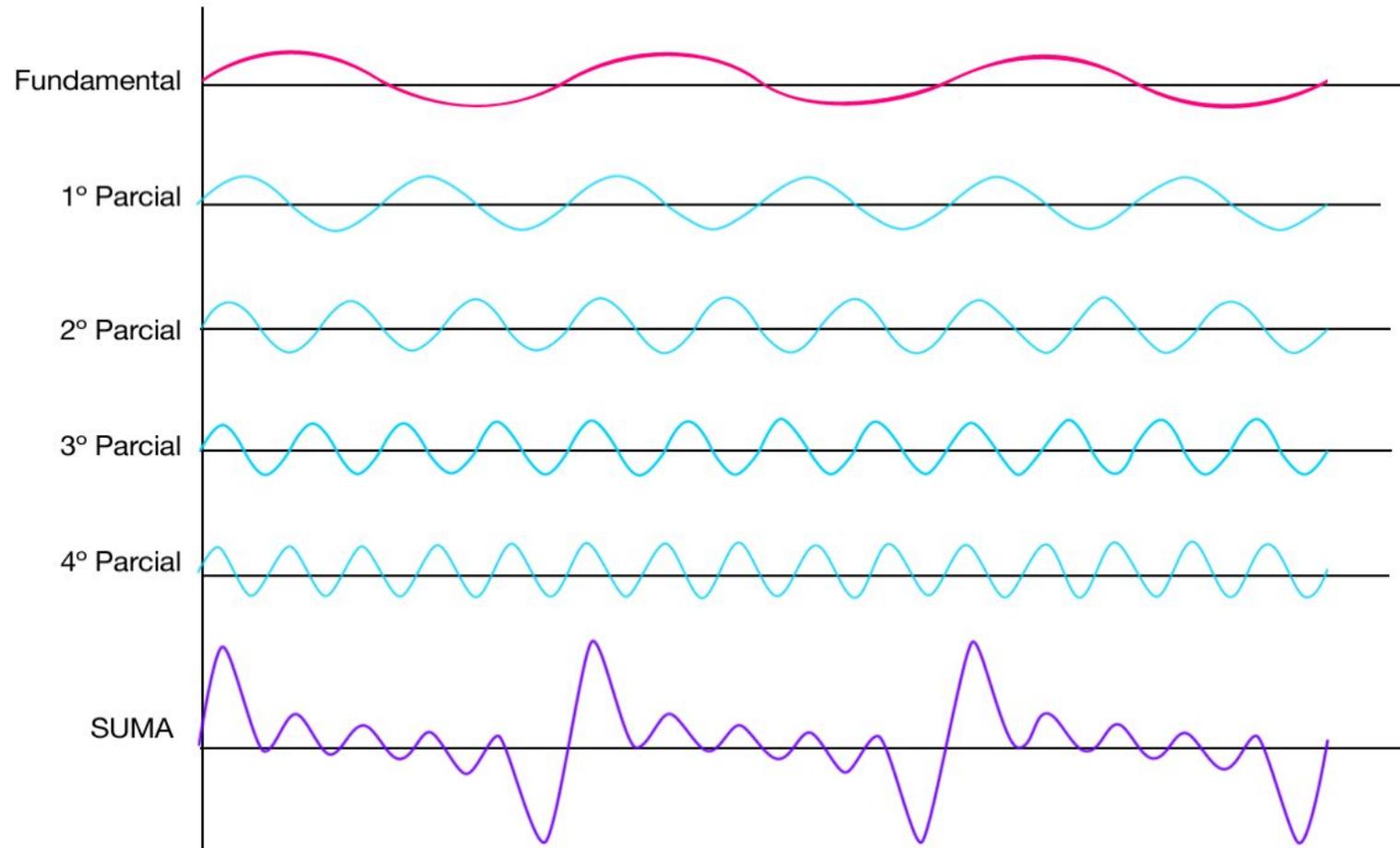
3. Datos digitales

Fourier y espectro de una señal

Toda señal periódica puede describirse como la suma de muchas señales, cada una de una única **frecuencia** y **amplitud** (**Fourier**)



Suma de sinusoides

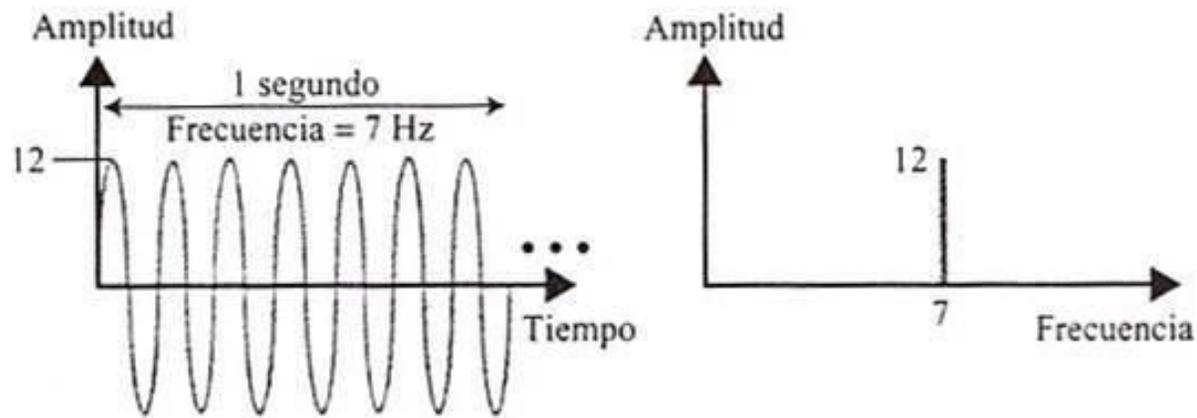


Señal en análisis = Suma de la fundamental + 2do armónico + 3er arm....

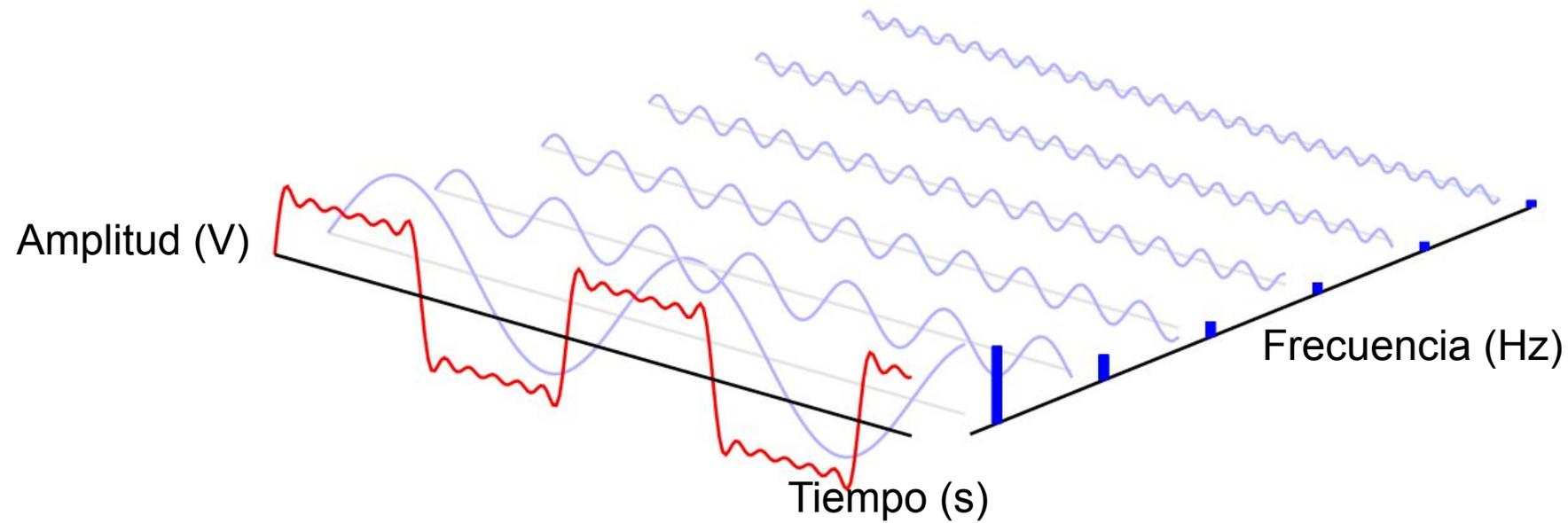
Espectro de una señal

Es el **conjunto de amplitudes** de las frecuencias en las cuales se descompuso una señal

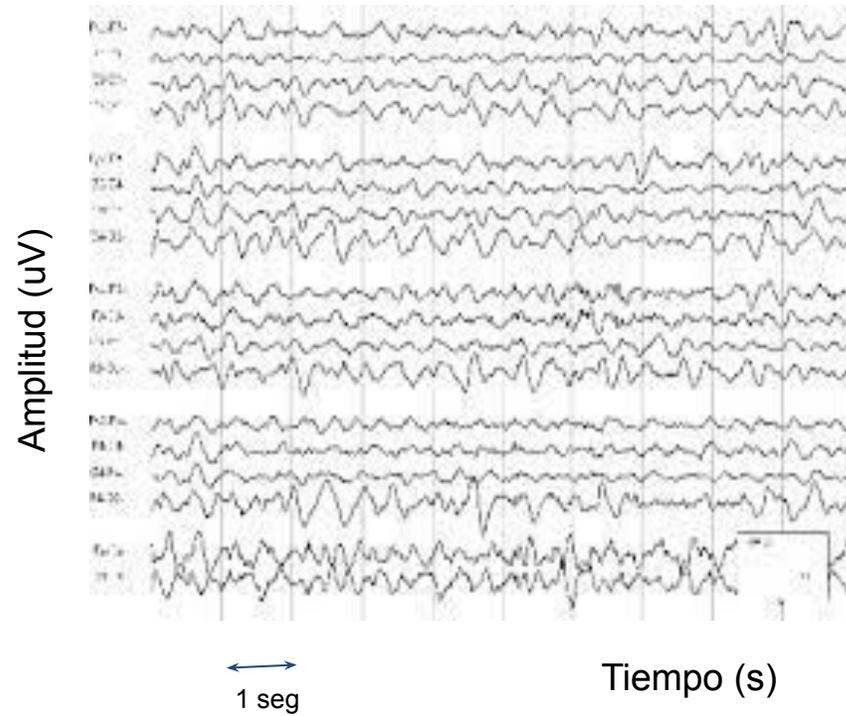
Una señal sinusoidal pura tiene un espectro de 1 solo valor, 1 sola frecuencia



Espectro de una señal



Espectros de señales de EEG



Las señales fisiológicas son complejas, se pueden descomponer en sinusoides simples, c/u de una frecuencia dada.

El Espectro es un resumen de su contenido.

Se “muestran” a una frecuencia por lo menos el doble de la más alta contenida

Cuantos más bits, mejor resolución



Universidad de la República
Uruguay

nib

núcleo de ingeniería biomédica

Gracias

www.nib.fmed.edu.uy