

# Taller de biopotenciales Adquisición y procesamiento de bioseñales eléctricas

Seminario para futuros ingenieros

E.T.S. Ingen. Informática y de Telecomunicación

23 de Mayo de 2025

Isaac M. Álvarez, Angel de la Torre (TSTC – UGR)



# Biopotenciales

- Señales eléctricas asociadas a actividad biológica
- Espontáneos / evocados
- Actividad muscular / neurológica
- Amplitud: mV, uV
- Electrodo: superficie, aguja subcutáneos, nervio, intracelulares...

# Dificultades

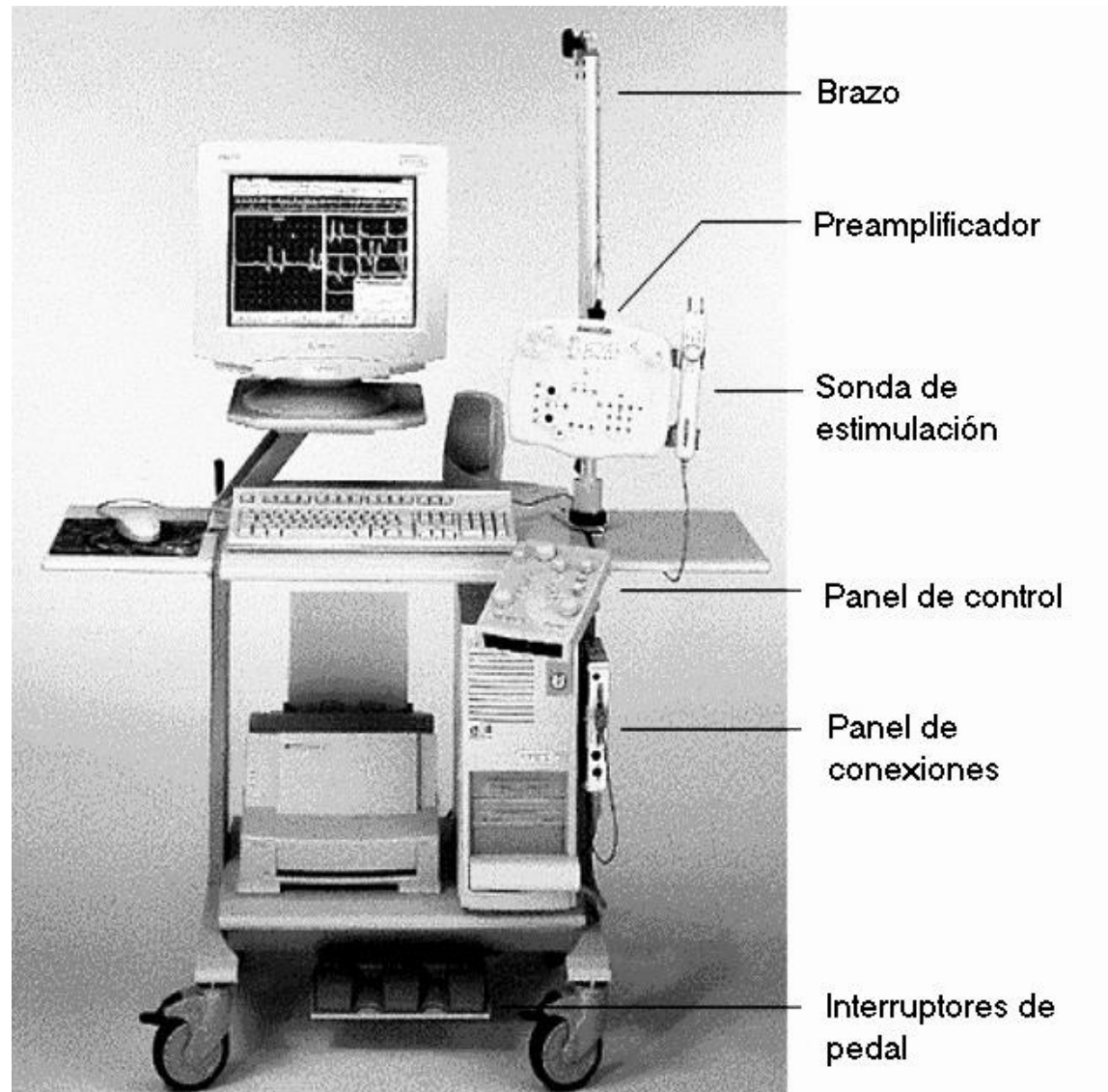
- Amplitud señal
- Amplitud ruido
- SNR
- Variabilidad de señal
- Tipos de ruido
  - Otros biopotenciales
  - Interferencias externas (PLI)
  - Ruido electrónico

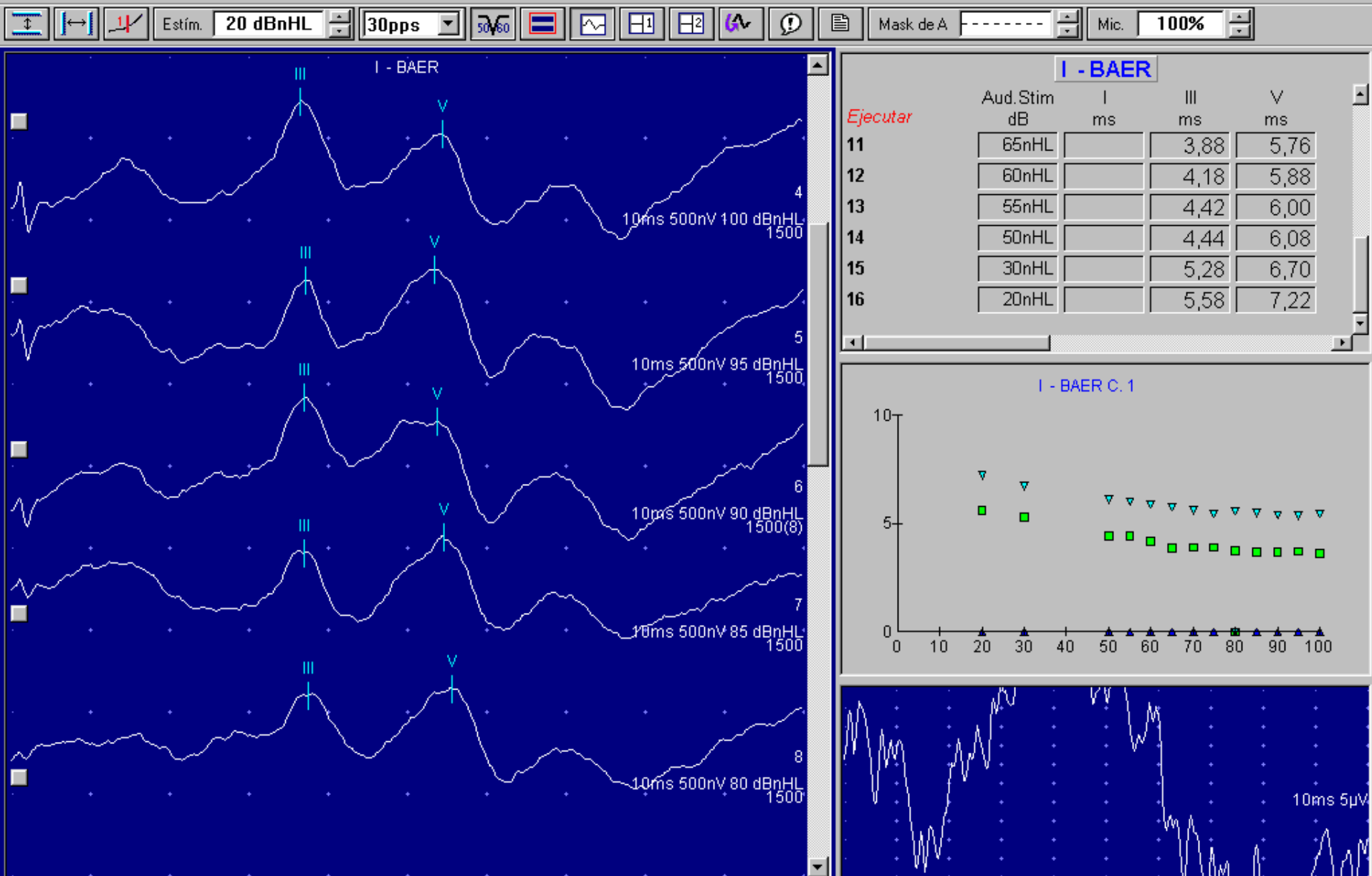
# Nuestra experiencia

- Potenciales evocados auditivos en serv. ORL
  - Año 1999, programa de implantes cocleares
  - Registro de AEPs eABR con implante coclear
  - Equipo convencional clínico, adaptado
  - Equipo cerrado
- Desarrollo de sistema de registro (flexible):
  - Preamplificador + tarjeta AD/DA (audio)
  - 2004: INA 114 (Texas Instruments)
  - 2011: INA 128 (Texas Instruments)

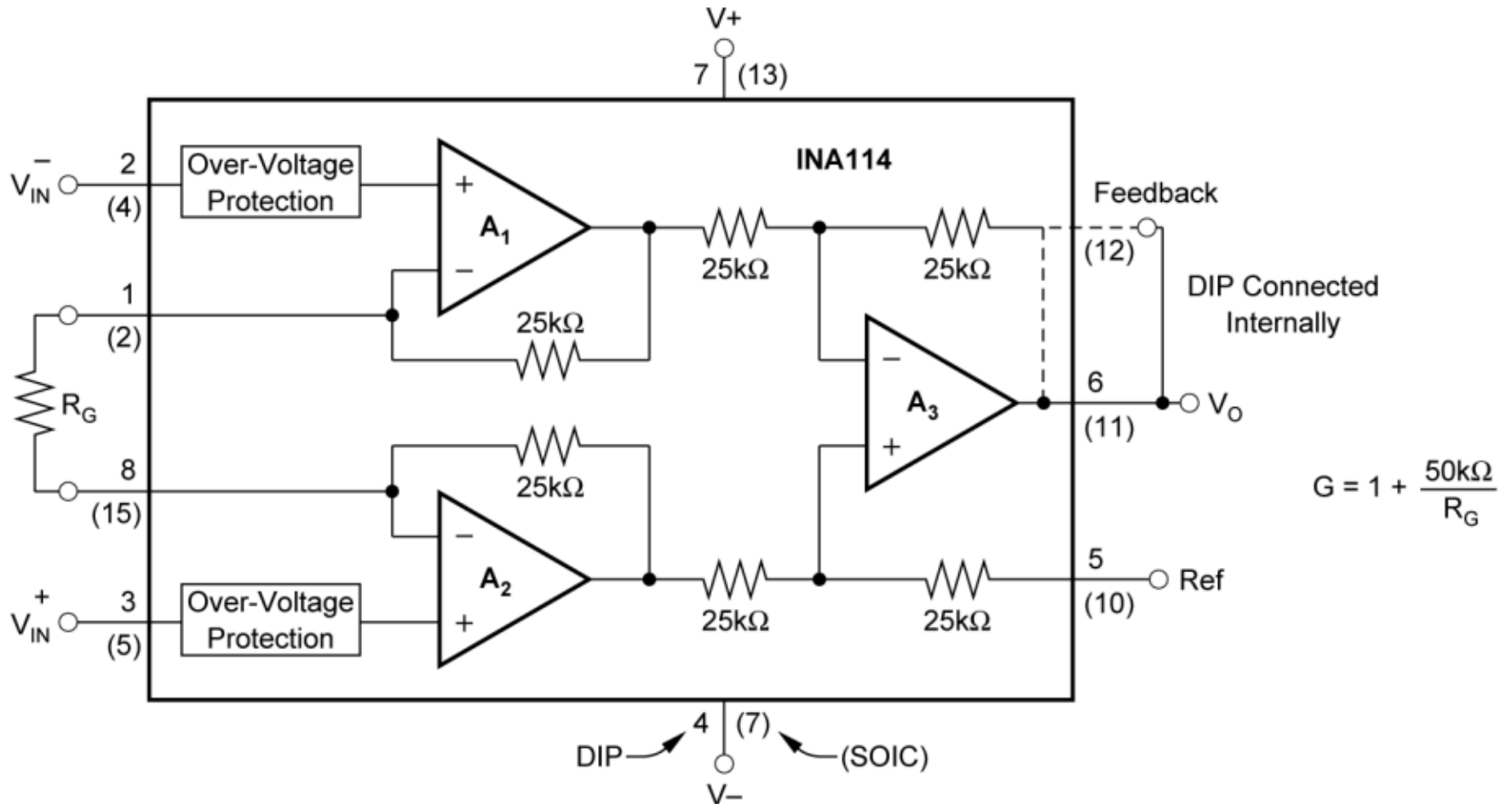


# Equipo Medelec - Synergy

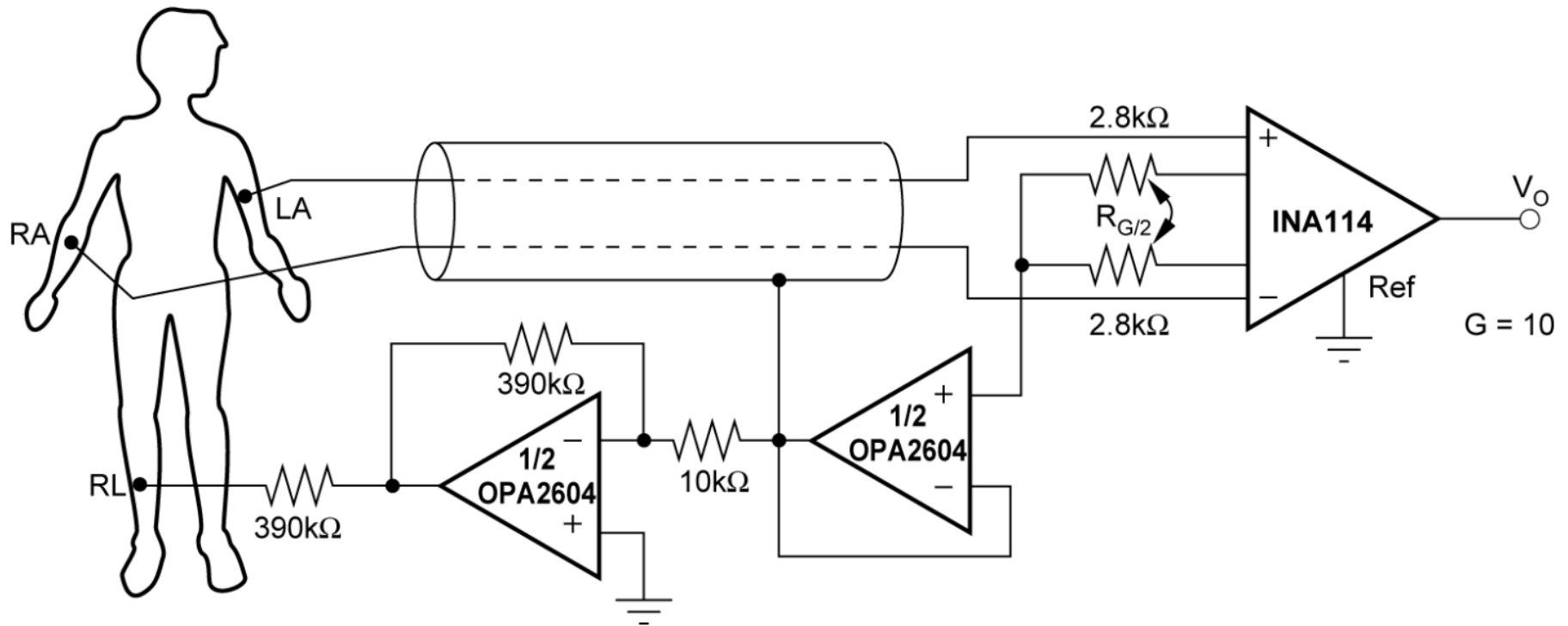




# INA 114 (esquema del IC)

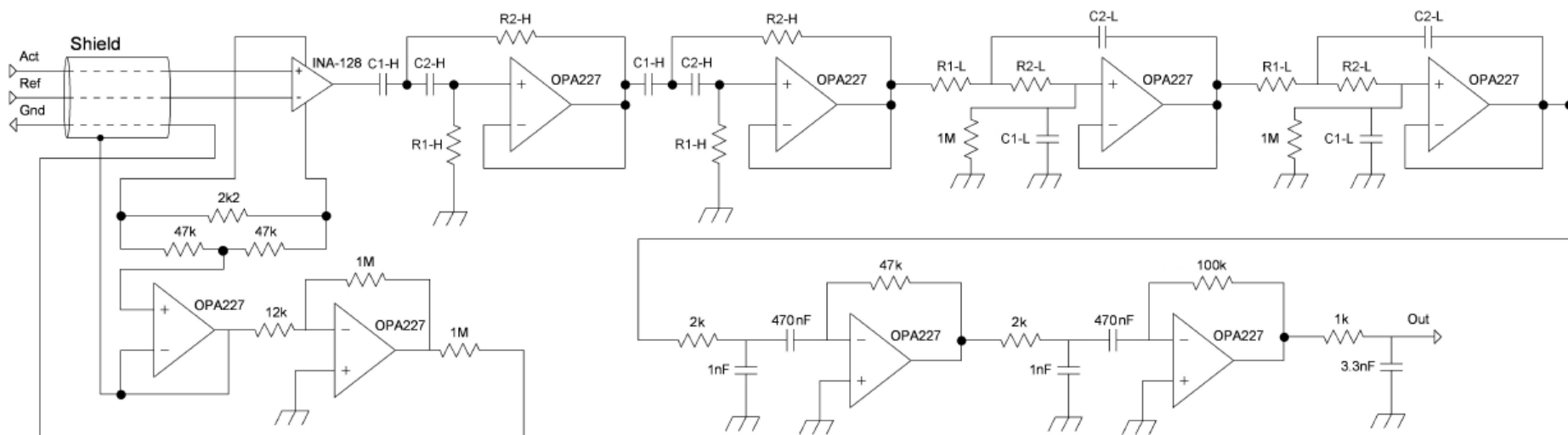


# INA 114 (DRL circuit, CM)

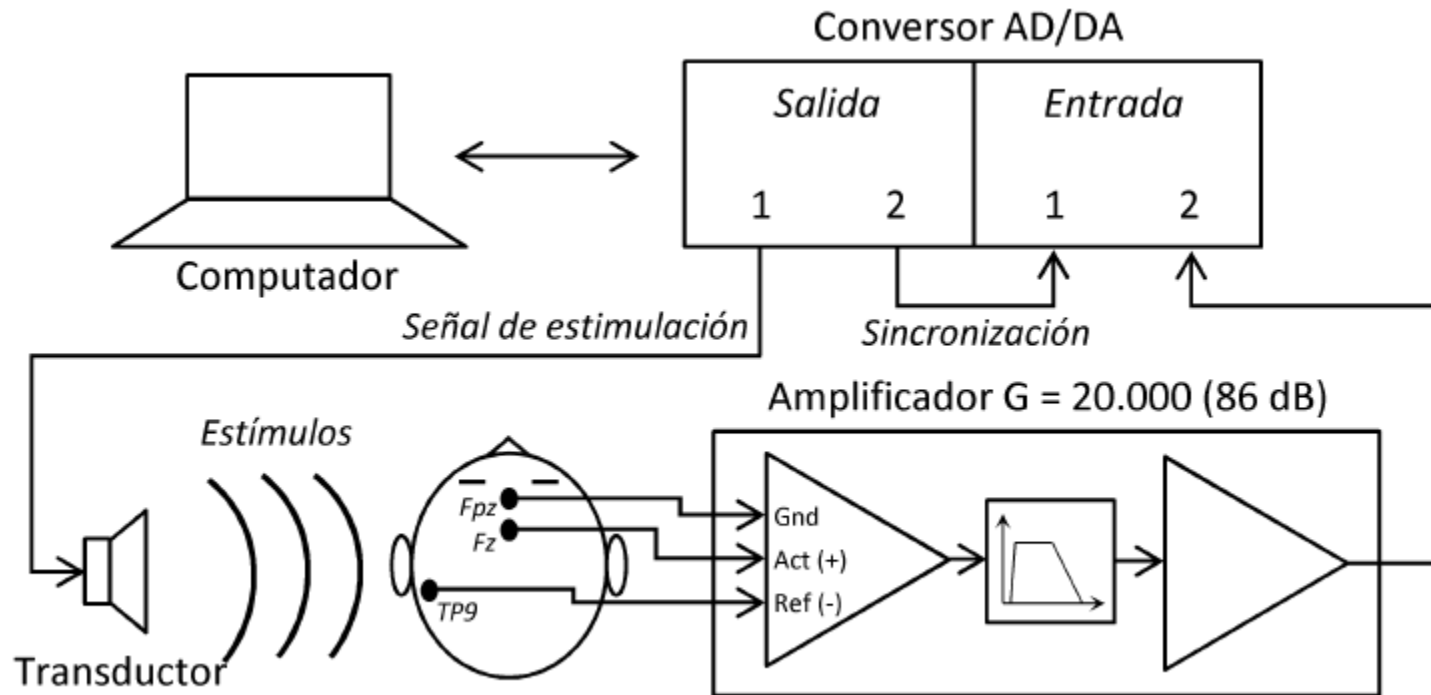


**Figure 7-4. ECG Amplifier with Right-Leg Drive**

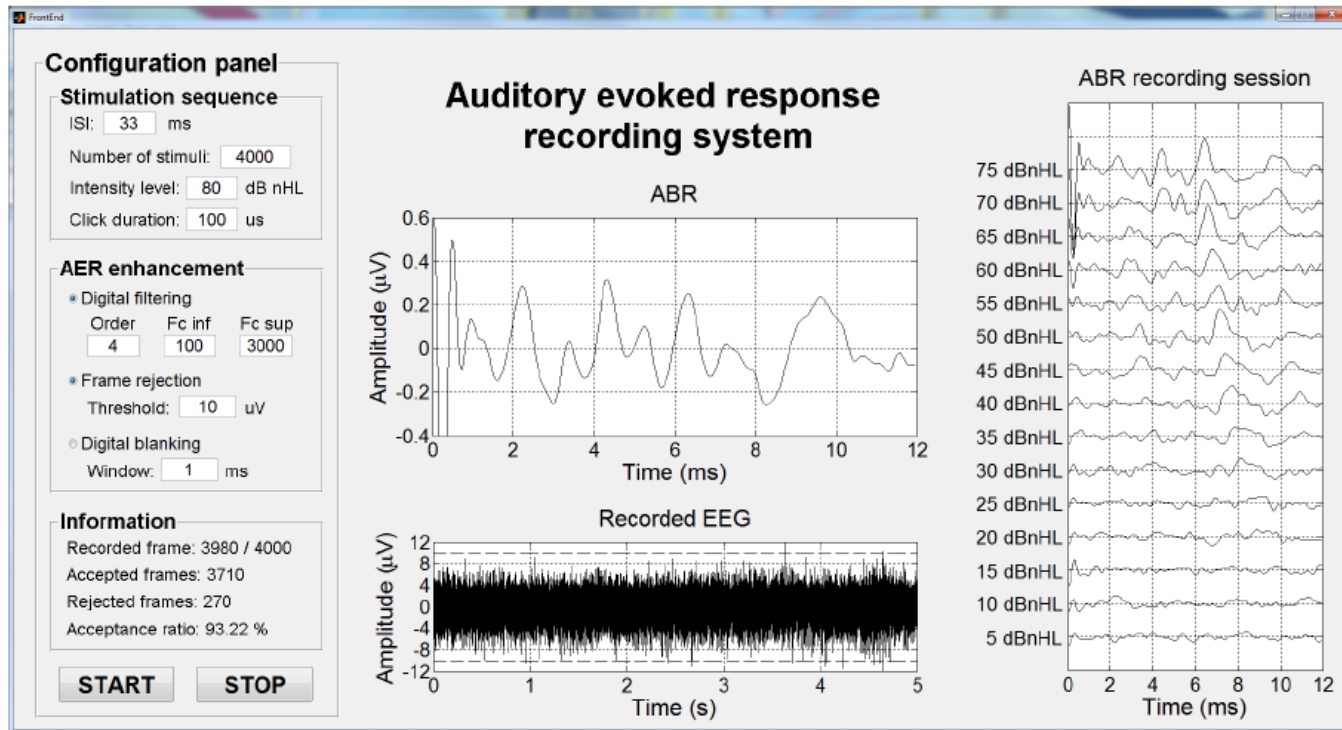
# Preamplificador (INA 128)



# Sistema de registro desarrollado



# Sistema de registro desarrollado



# Dificultades

- Ruido PLI (modo común)
  - Red eléctrica 50 Hz (60 Hz)
  - Origen:
    - Bucles de tierra
    - Acoplamiento inductivo / capacitivo
  - Solución:
    - Diseño de tierra
    - Cables (par trenzado, apantallado)
    - Circuitos DRL
    - Sala apantallada
    - Reducir consumo de otros equipos



# Equipos abiertos para investigación

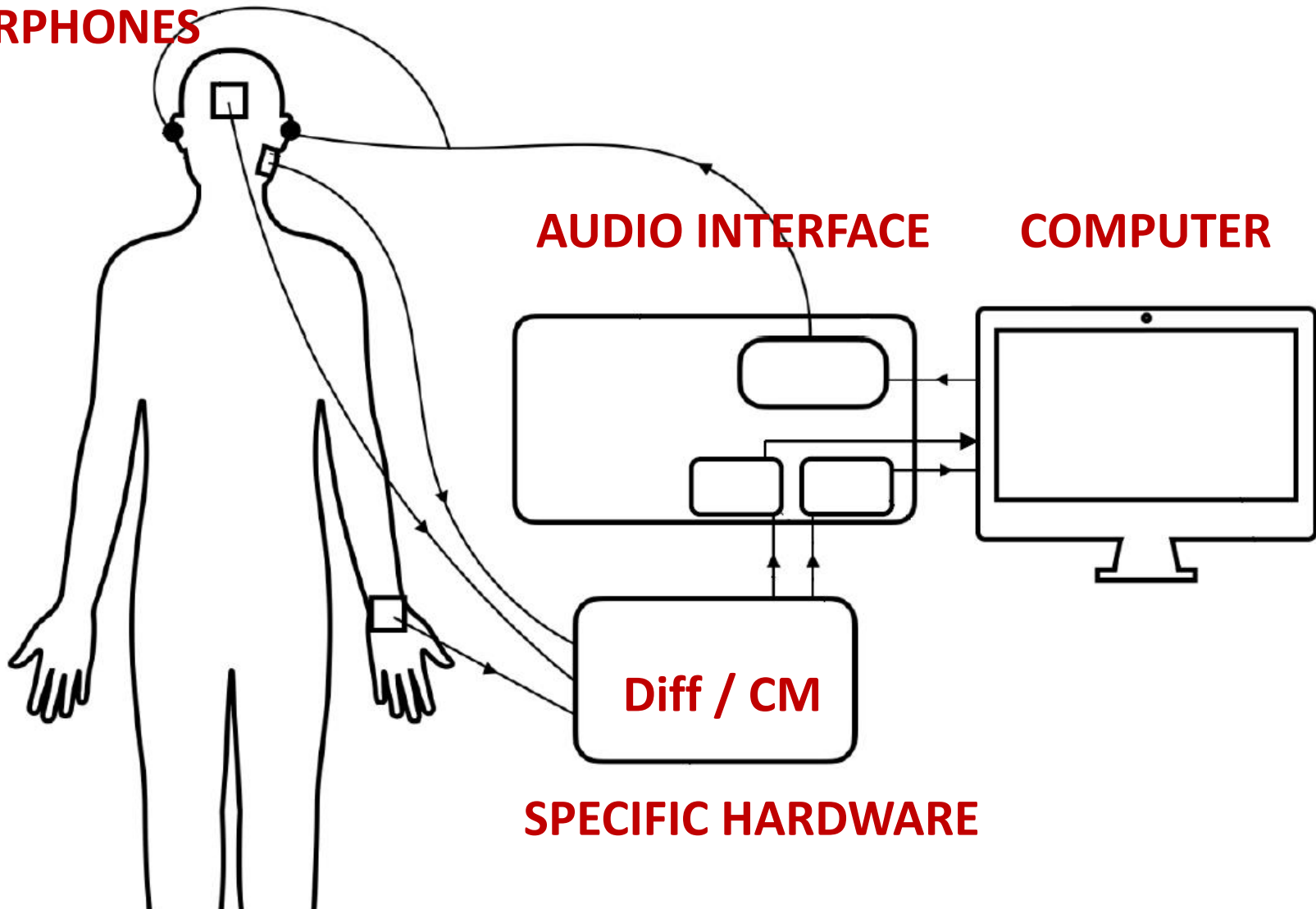
- Biosemi: 2018
  - Electrodo autoamplificado
  - Solo investigación
- Equipos comerciales (uso clínico / investig.):
  - Intelligent Hearing Systems (Duet): 2023
  - Interacoustics
  - GSI audera...

# Cambio de paradigma

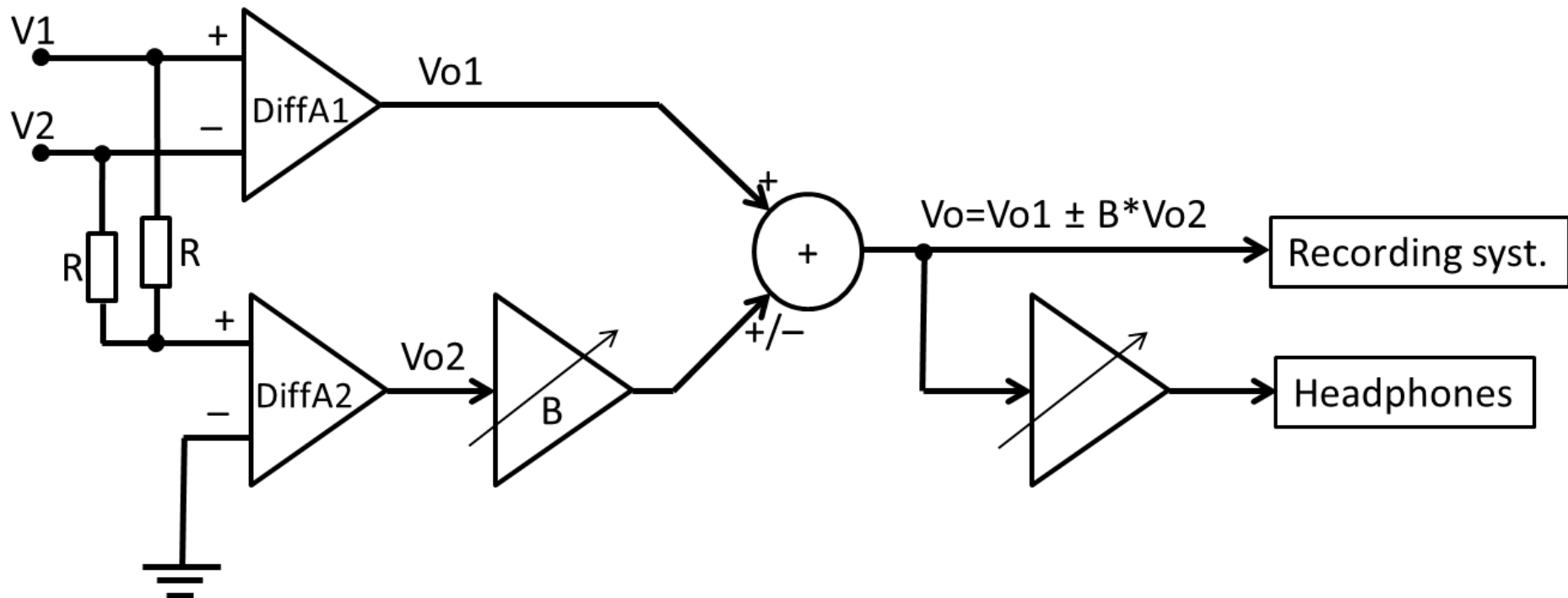
- Dic-2022: Estudio de componentes de electrónica de consumo (audio)
- Preamplificadores para micrófono
  - Ancho de banda, distorsión, margen dinámico
  - Ruido equivalente a entrada
- Interfaces de audio
  - Sincronización, preamplificadores,
  - Conversión AD/DA, entrada/salida

# The AEP recording system

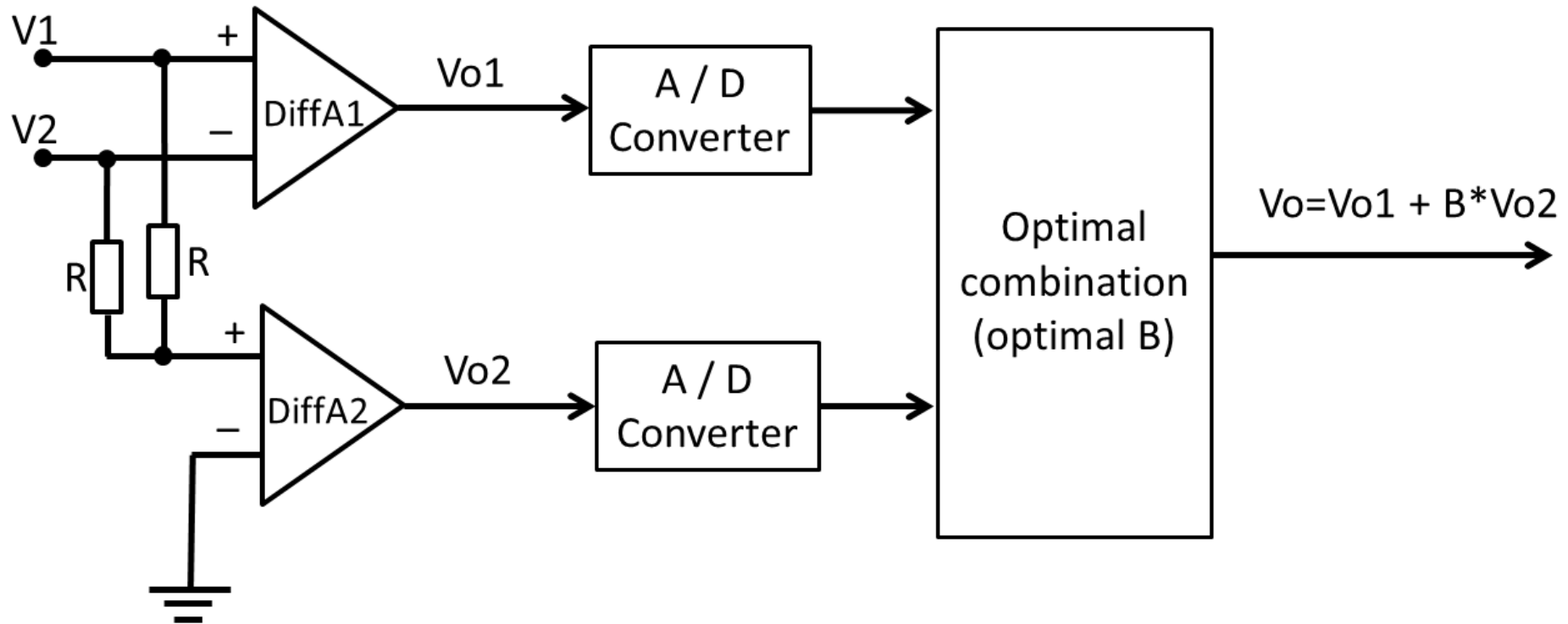
**ELECTRODES  
AND  
EARPHONES**



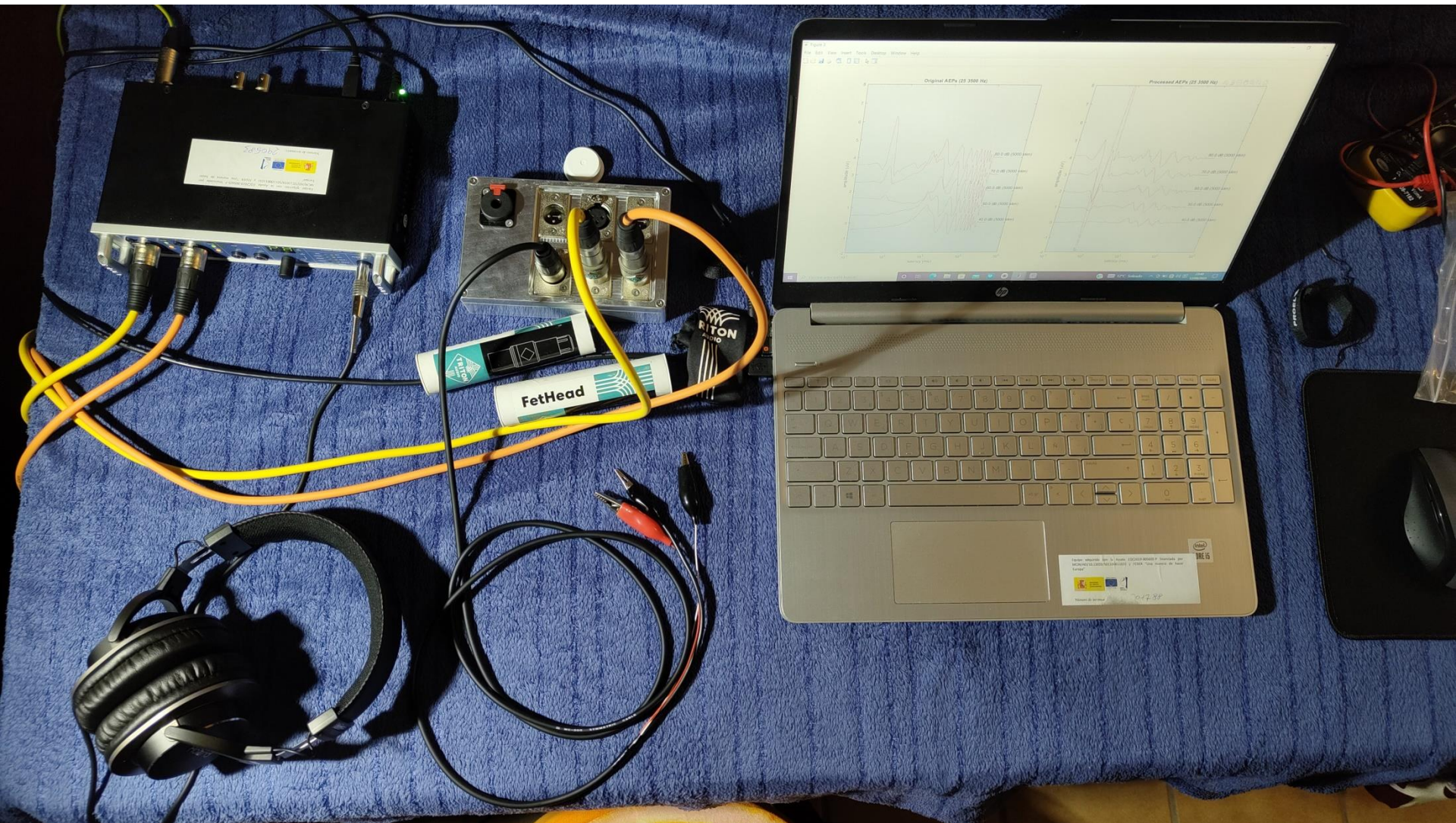
# Reduction of CM component (manual)



# Reduction of CM component (numerical procedure based on statistics)



# The AEP recording system





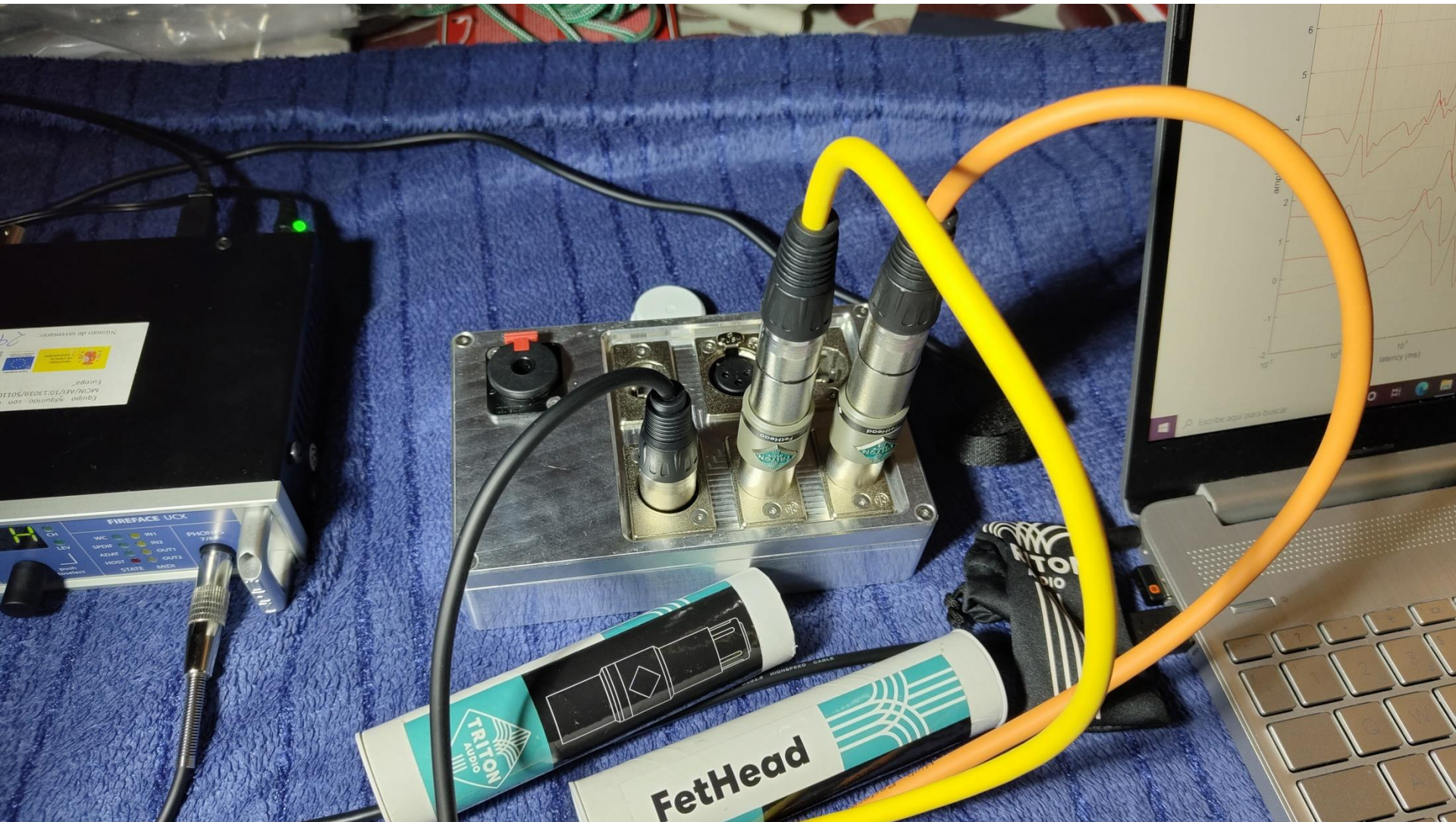
# The AEP recording system (headphones and electrodes)





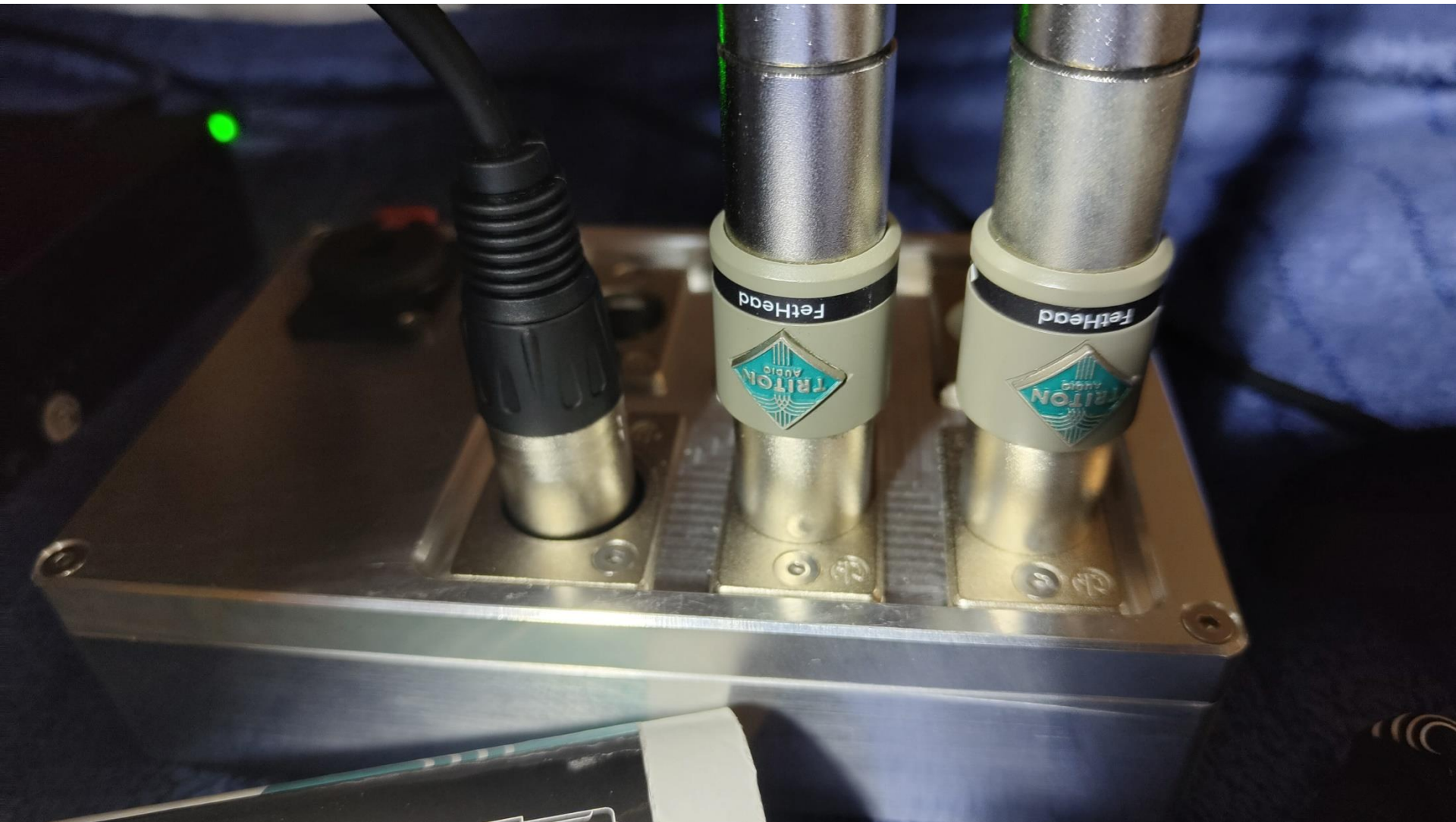
# The AEP recording system

## (interface and preamplifiers)





# The AEP recording system (interface and preamplifiers)

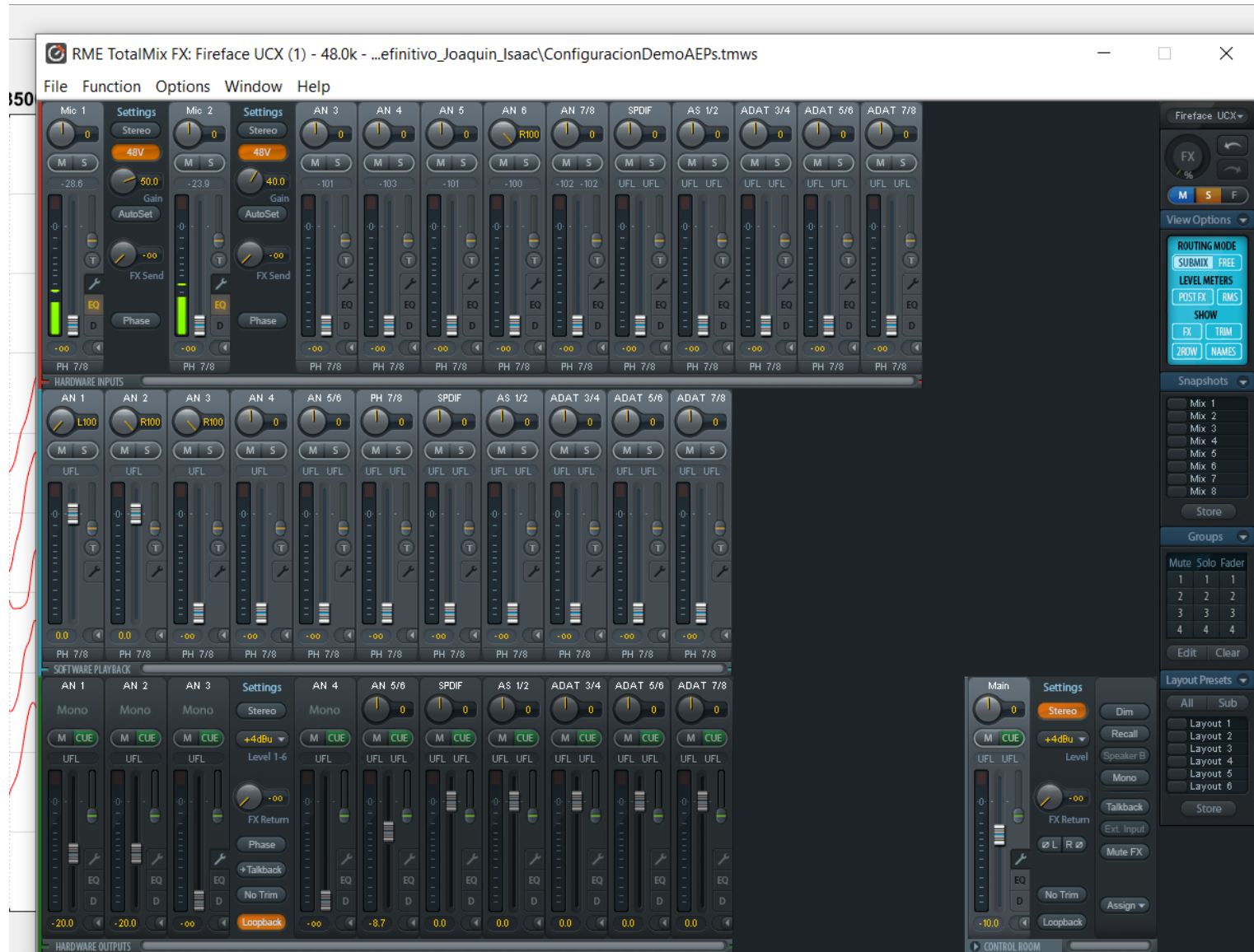




# The AEP recording system (audio interface)



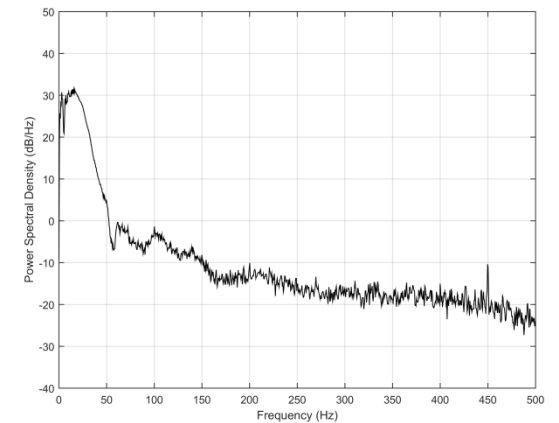
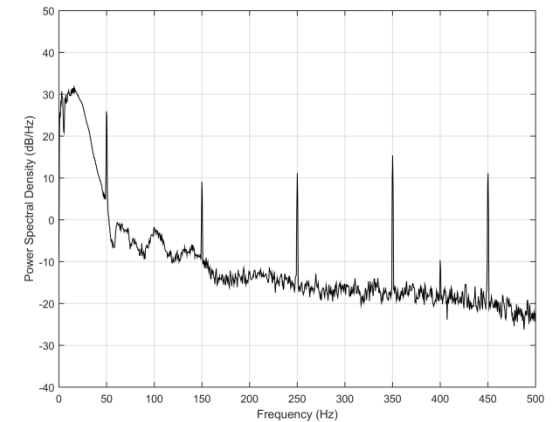
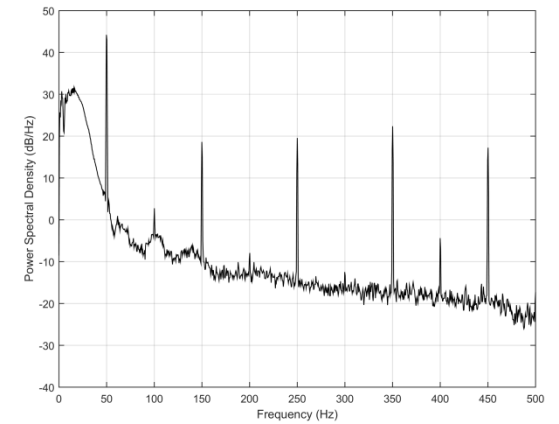
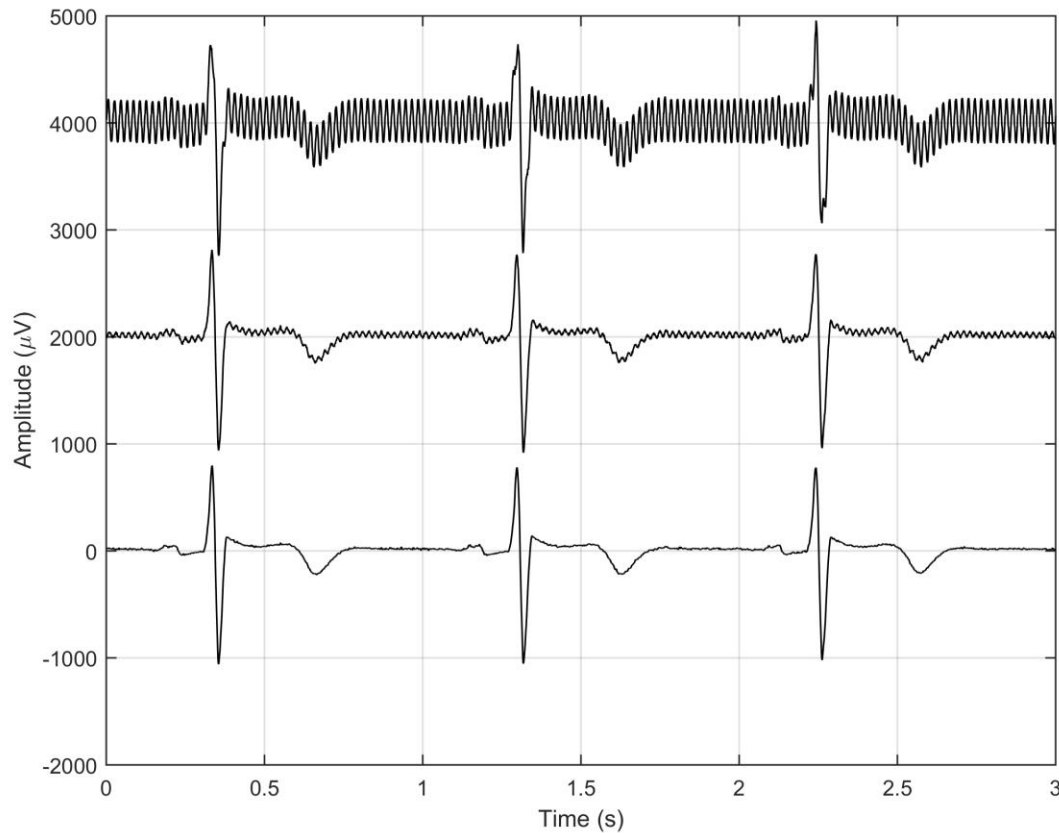
# The AEP recording system (configuration of the audio interface)



latency (ms)



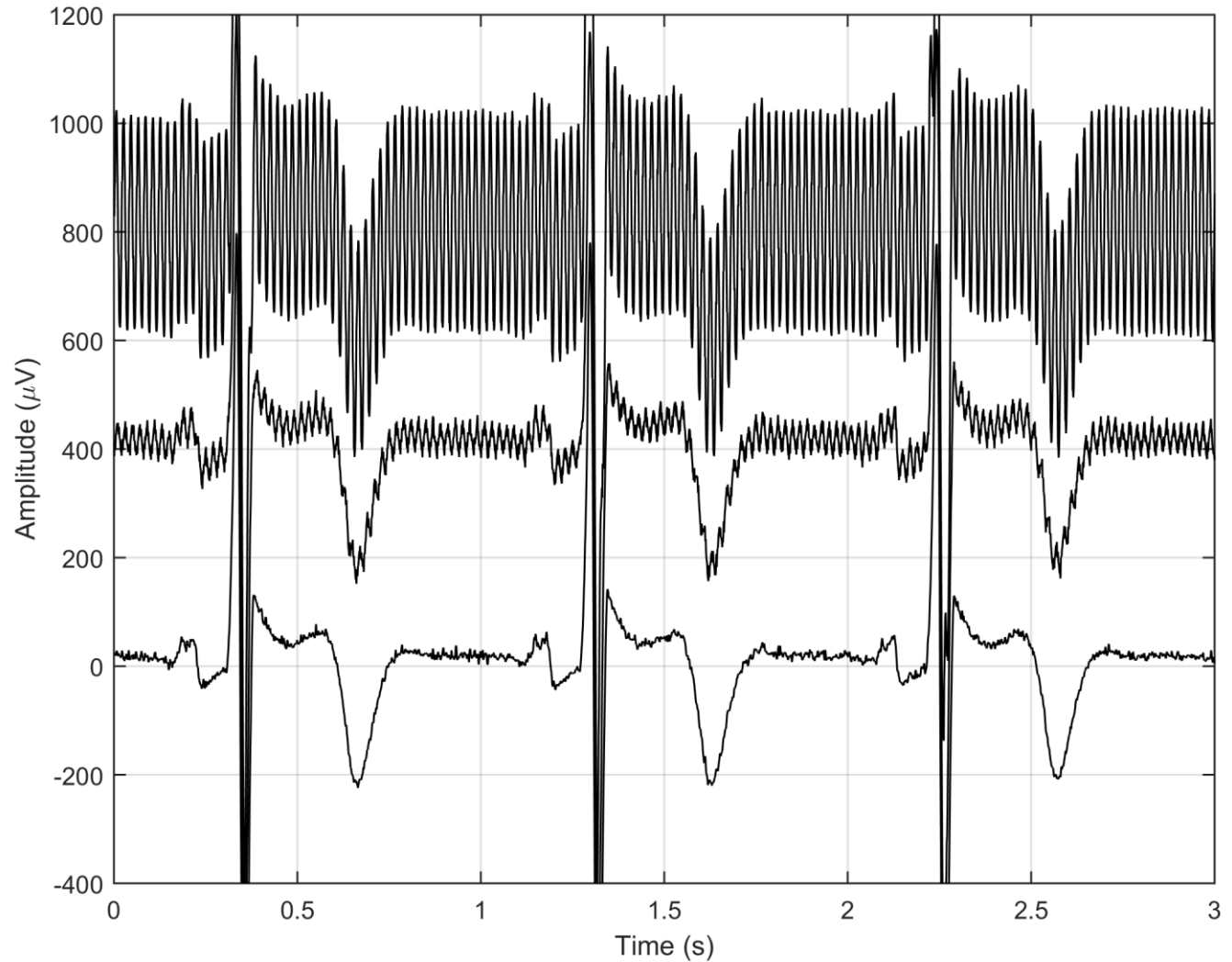
# ECG recording (out of lab)



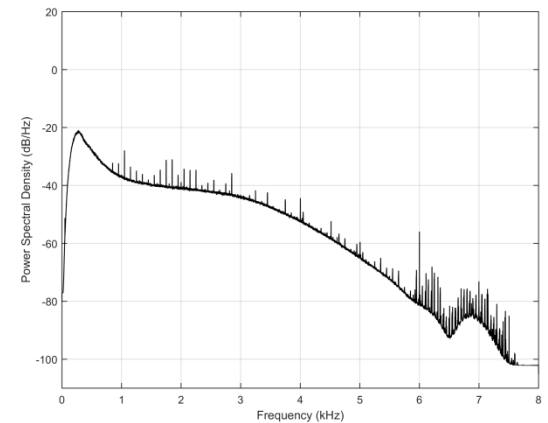
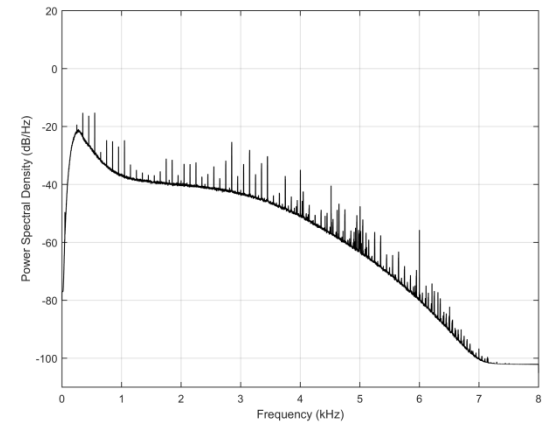
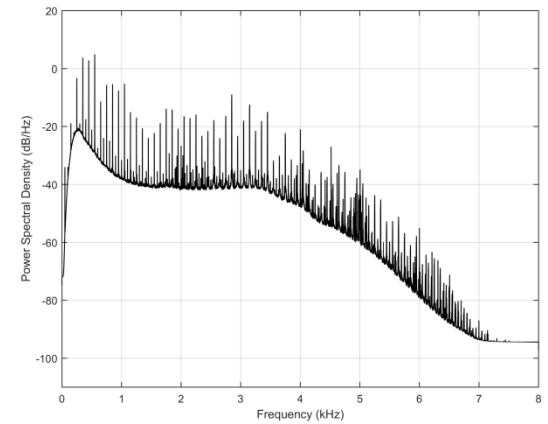
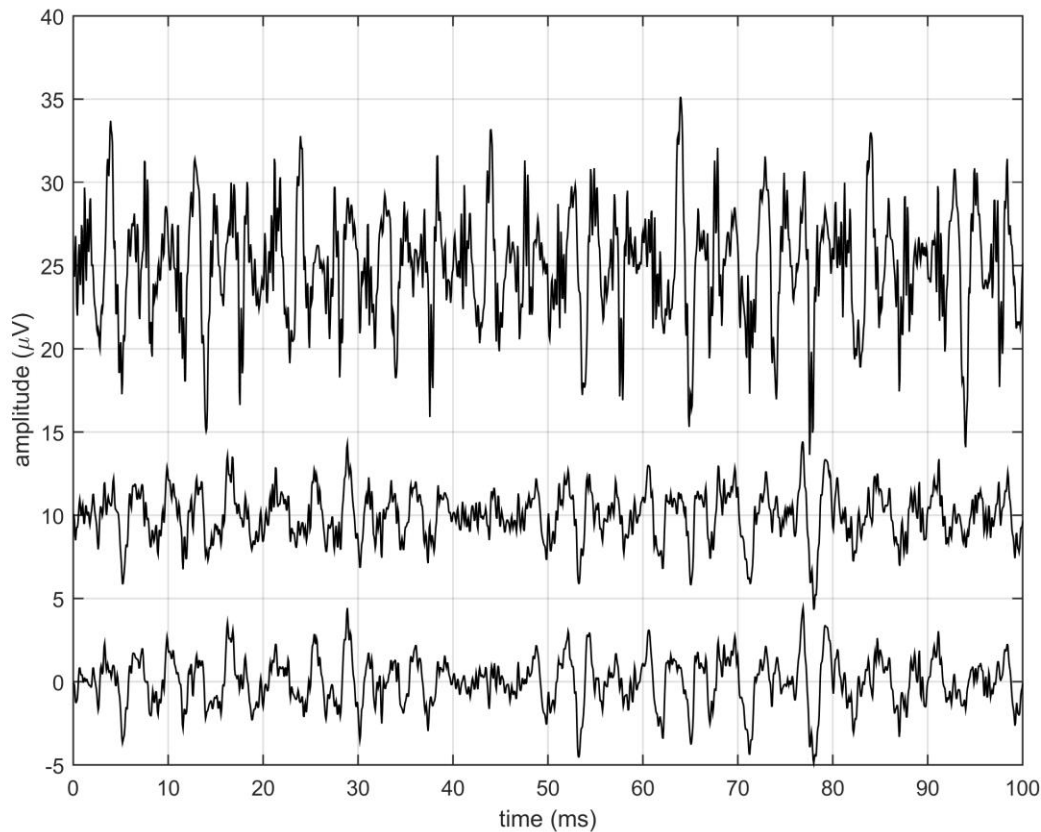
**Without  
CM-removing**

**CM-removing  
basic**

**CM-removing  
advanced**

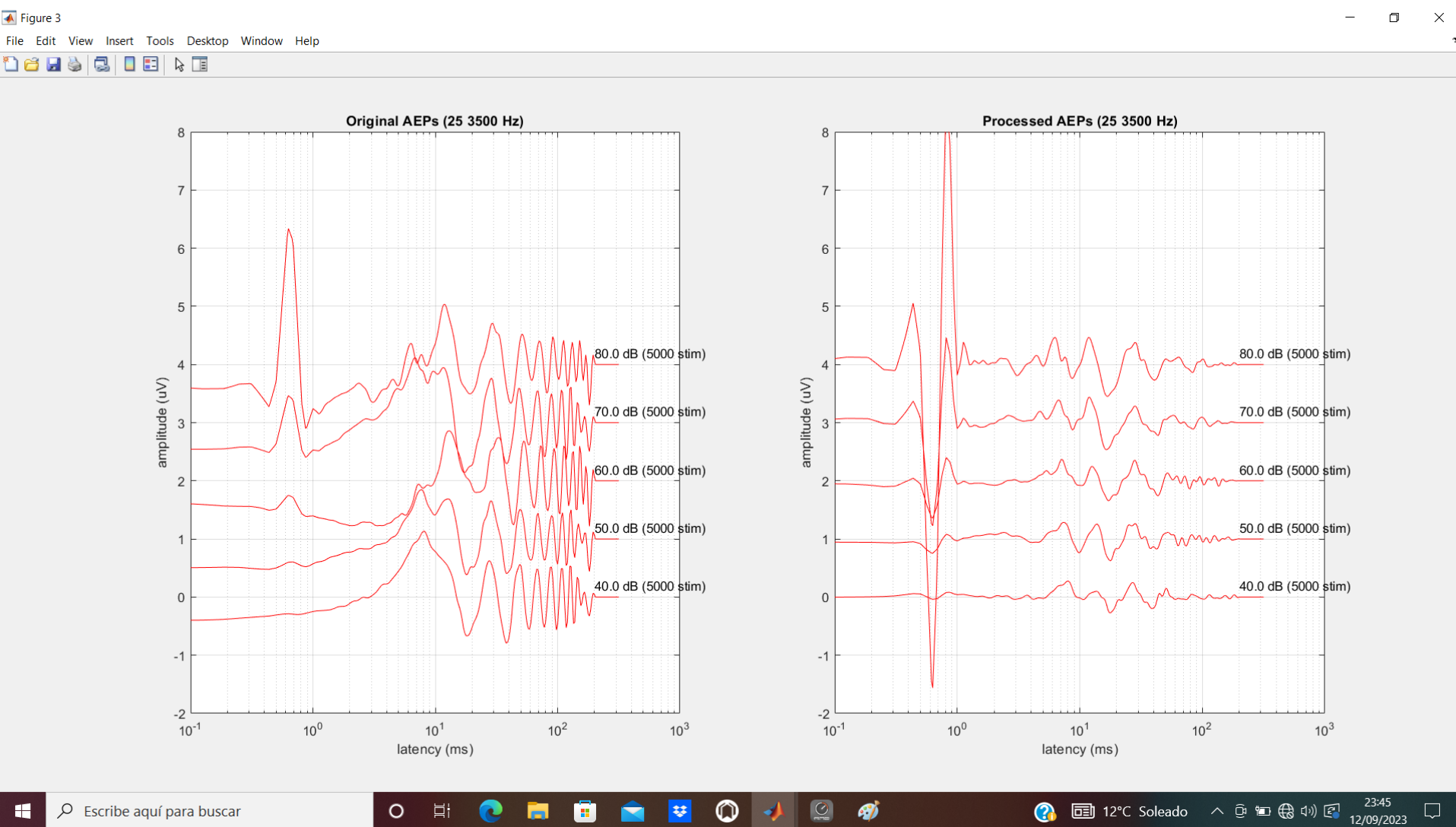


# AEP recording (out of lab)



# The AEP recording system

## (MatLab application for AEP recording - demo)



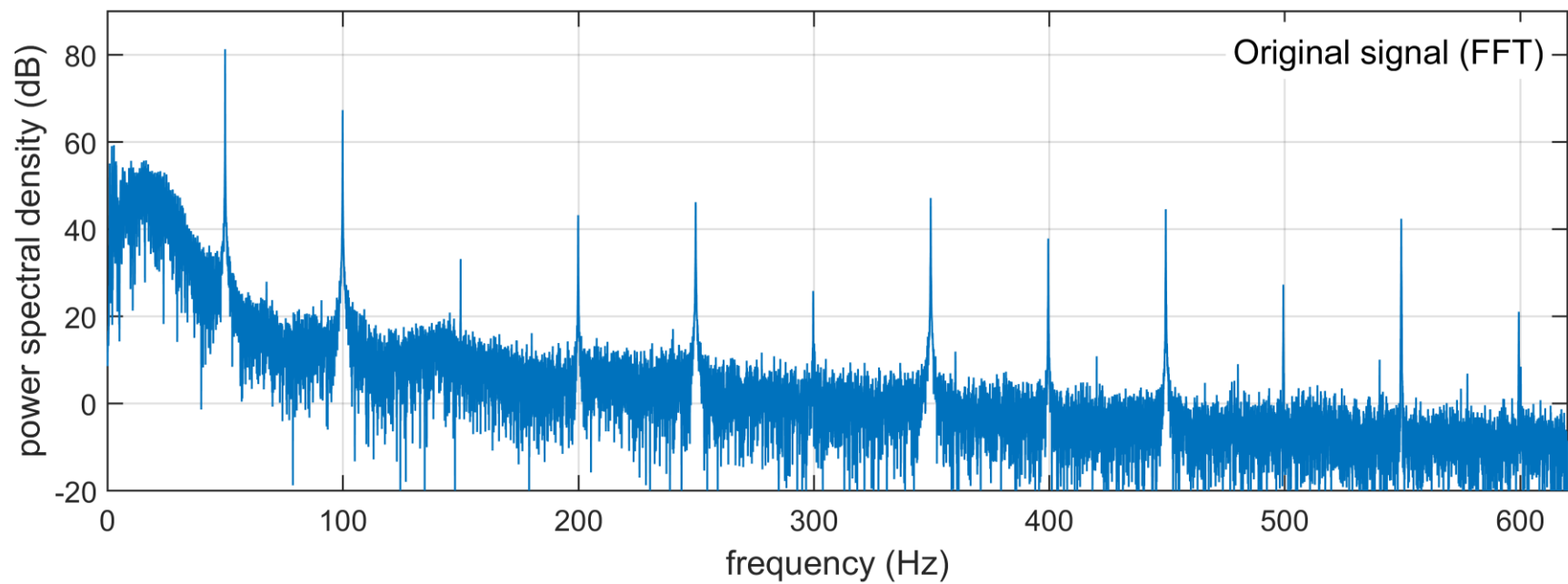
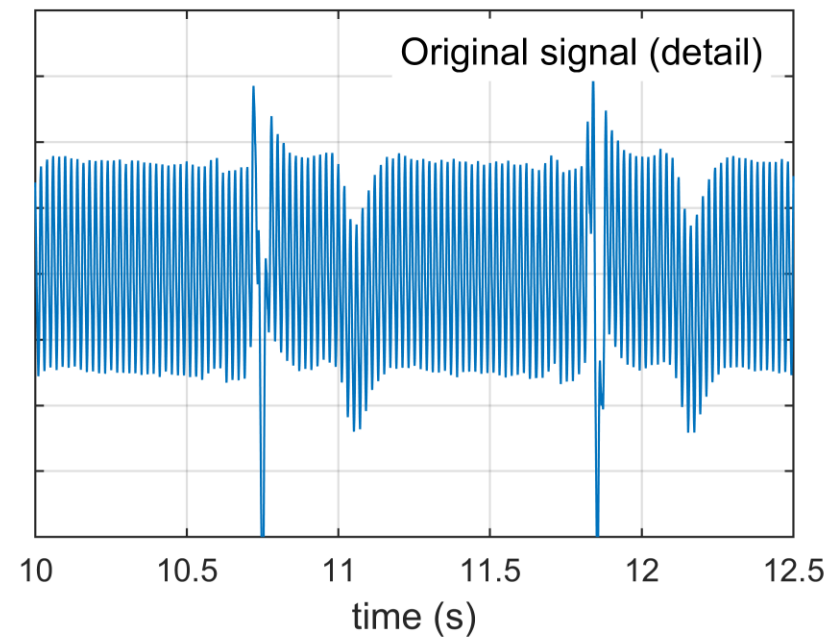
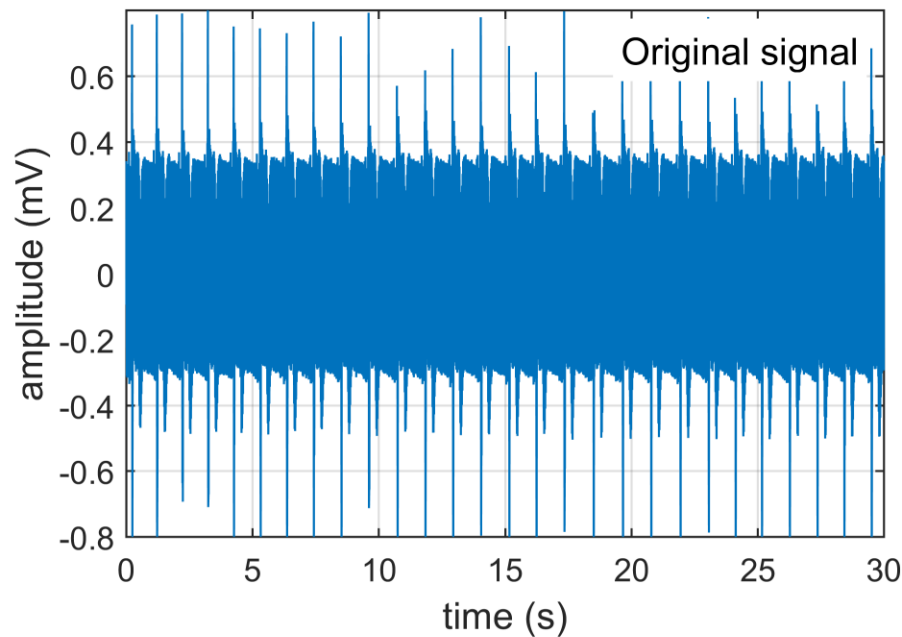
# Ventajas e inconvenientes

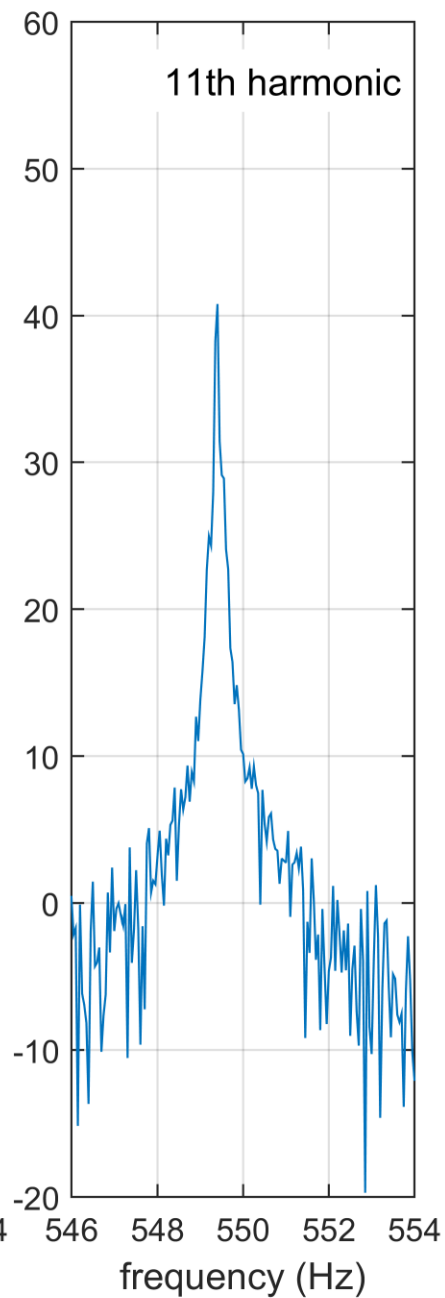
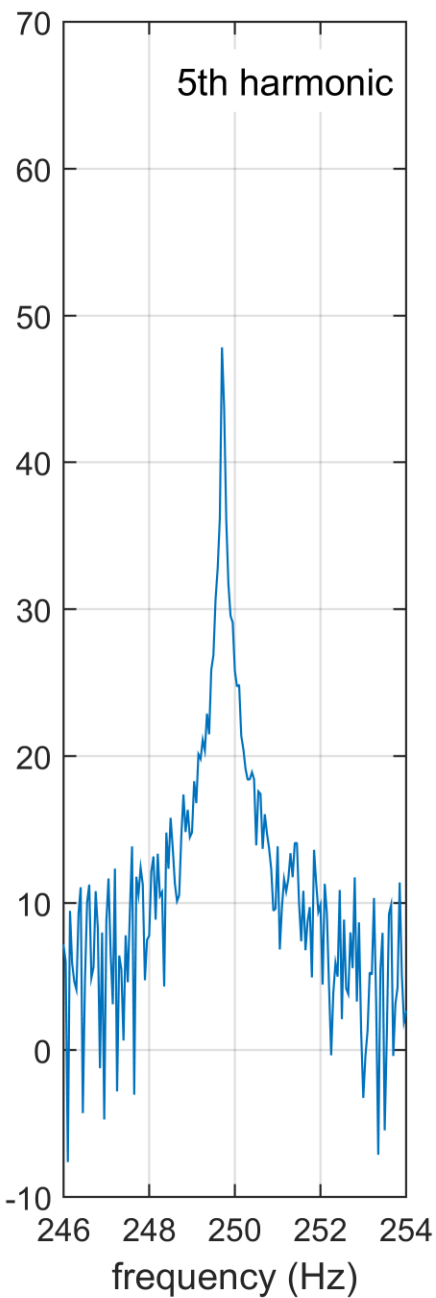
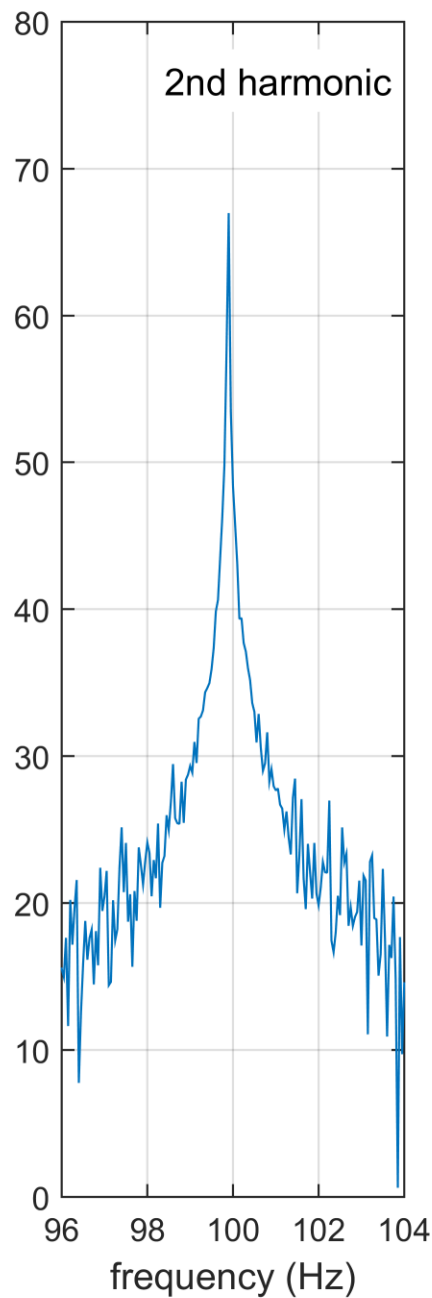
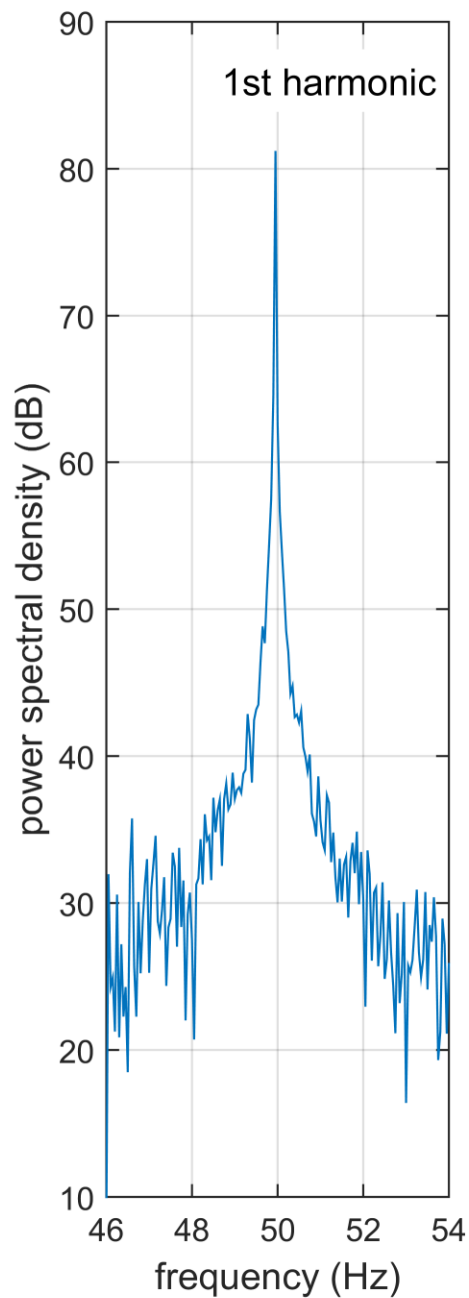
- Asequible (electrónica de consumo)
- Flexible
- Quitamos PLI
- Registros fuera de laboratorio
- Registro de dos señales (diff / CM)
- Distorsión señal de interés (?)
- Hardware específico

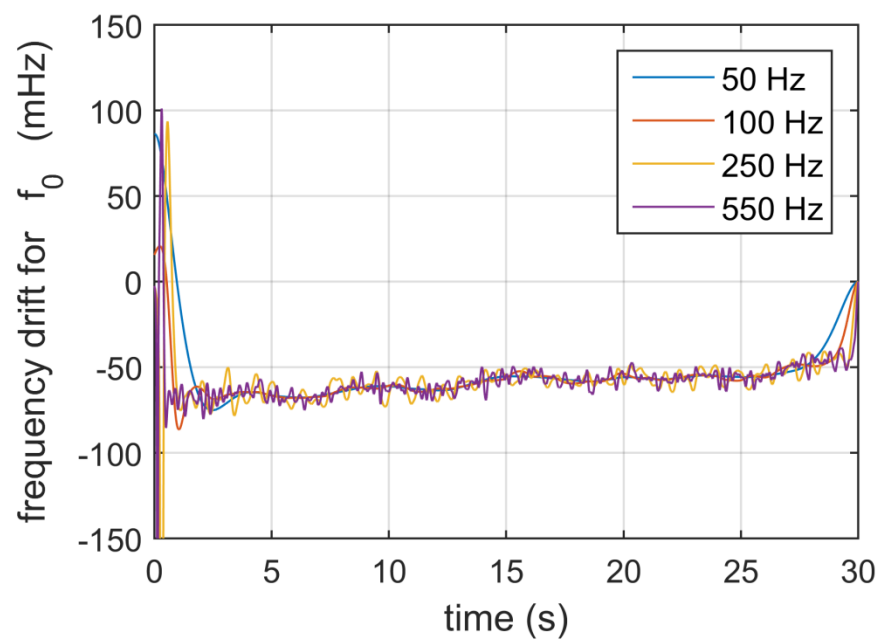
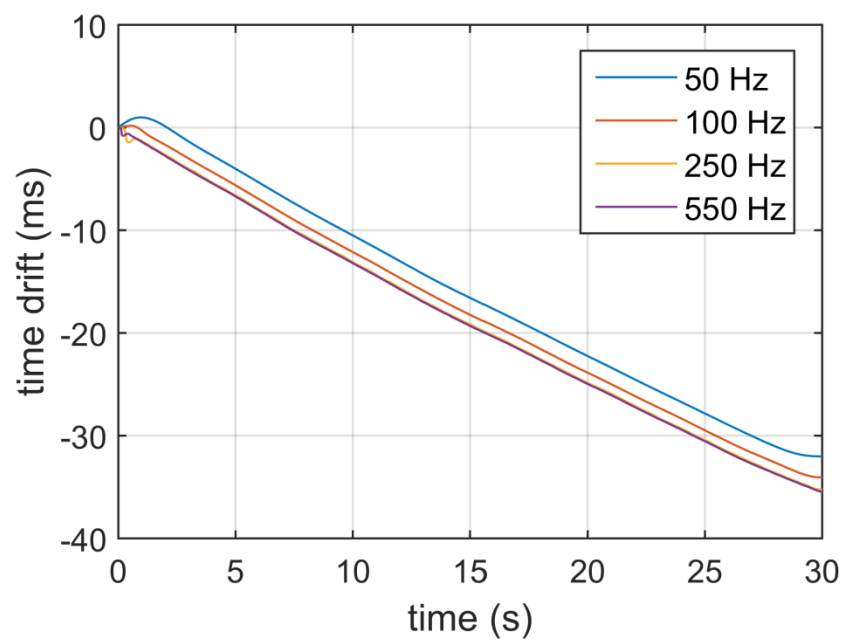
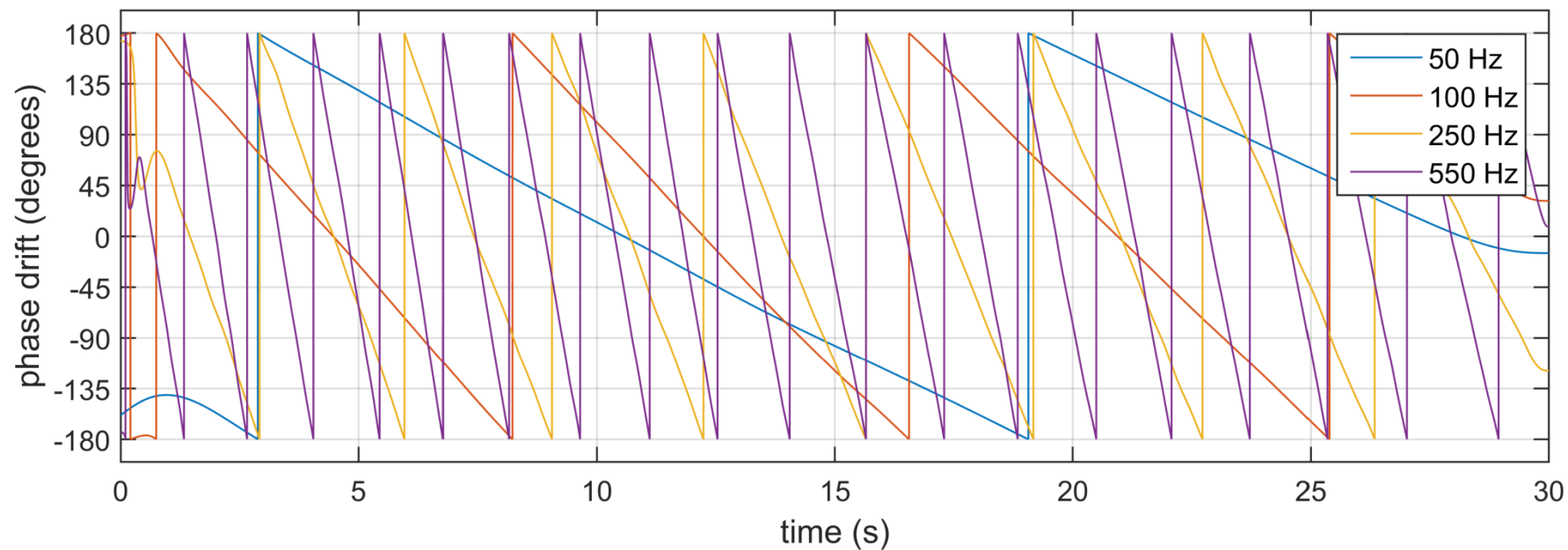


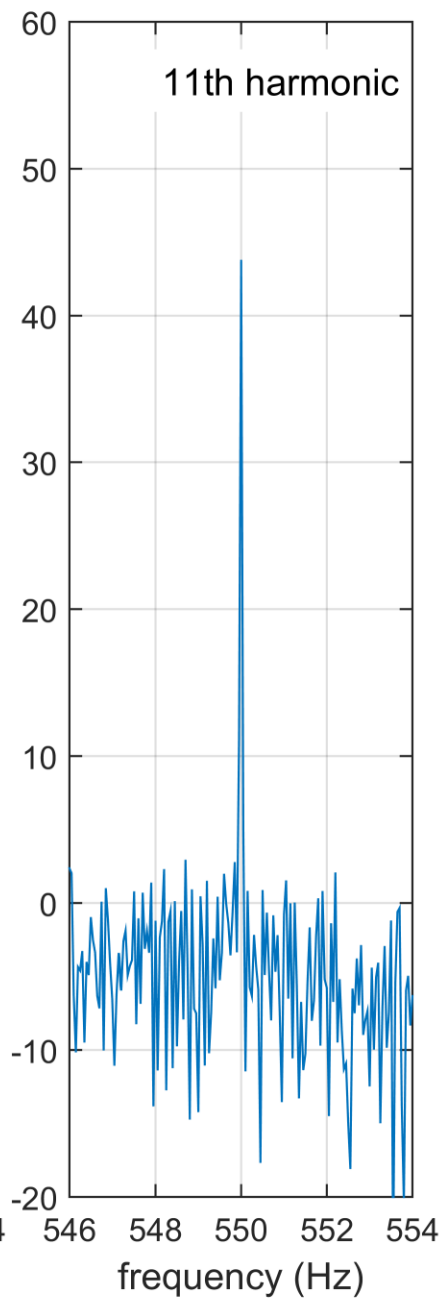
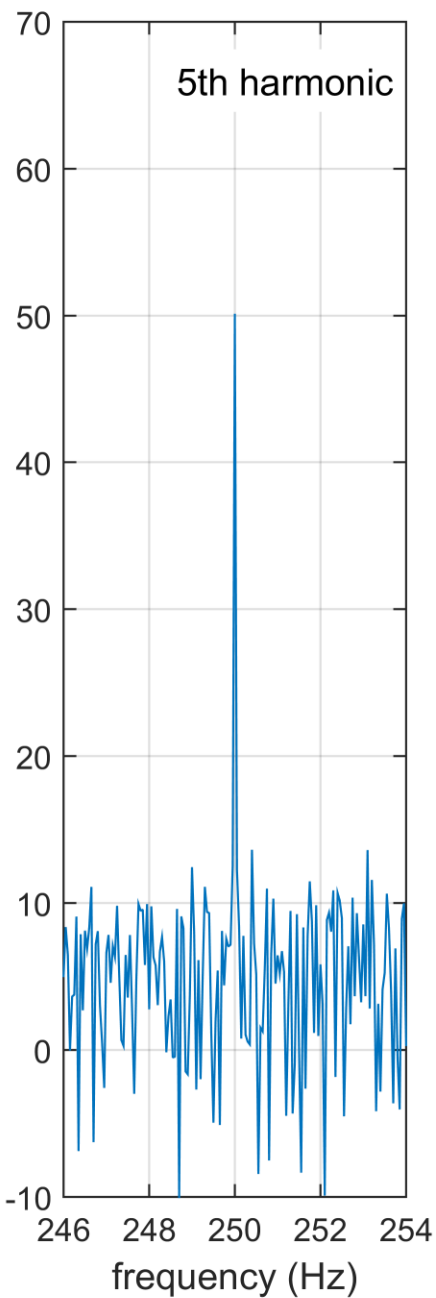
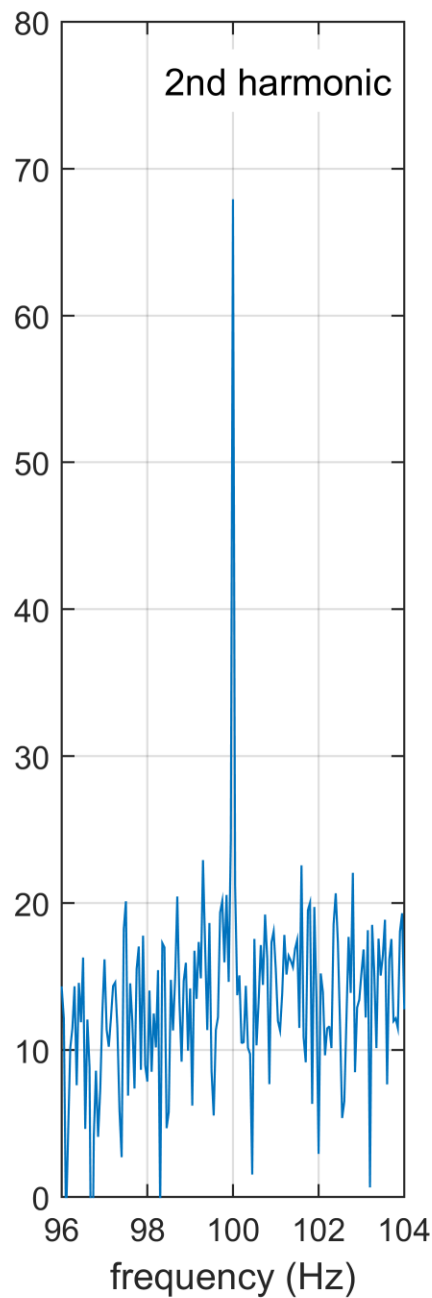
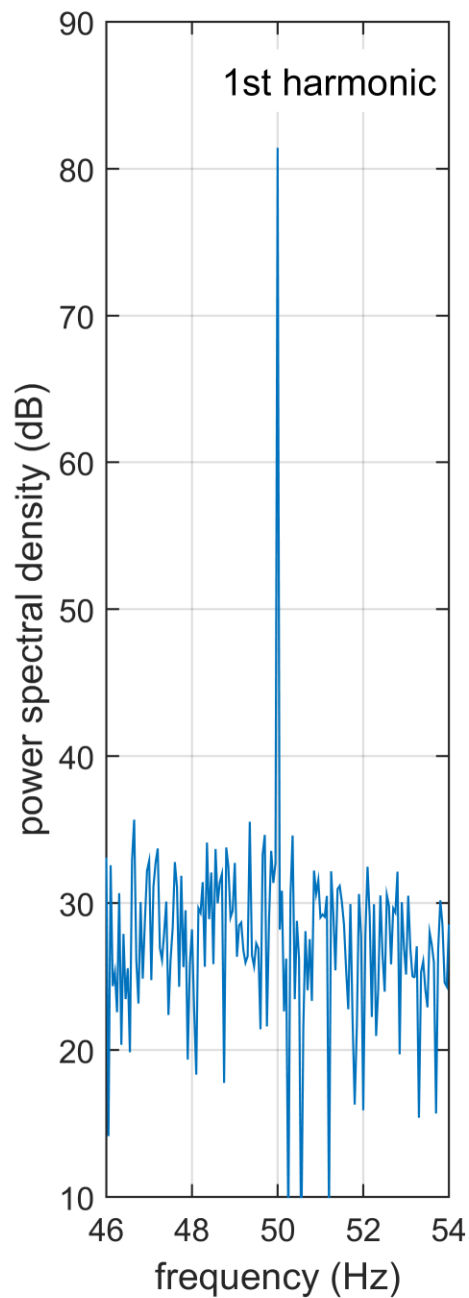
# Aproximación PLI algoritmo

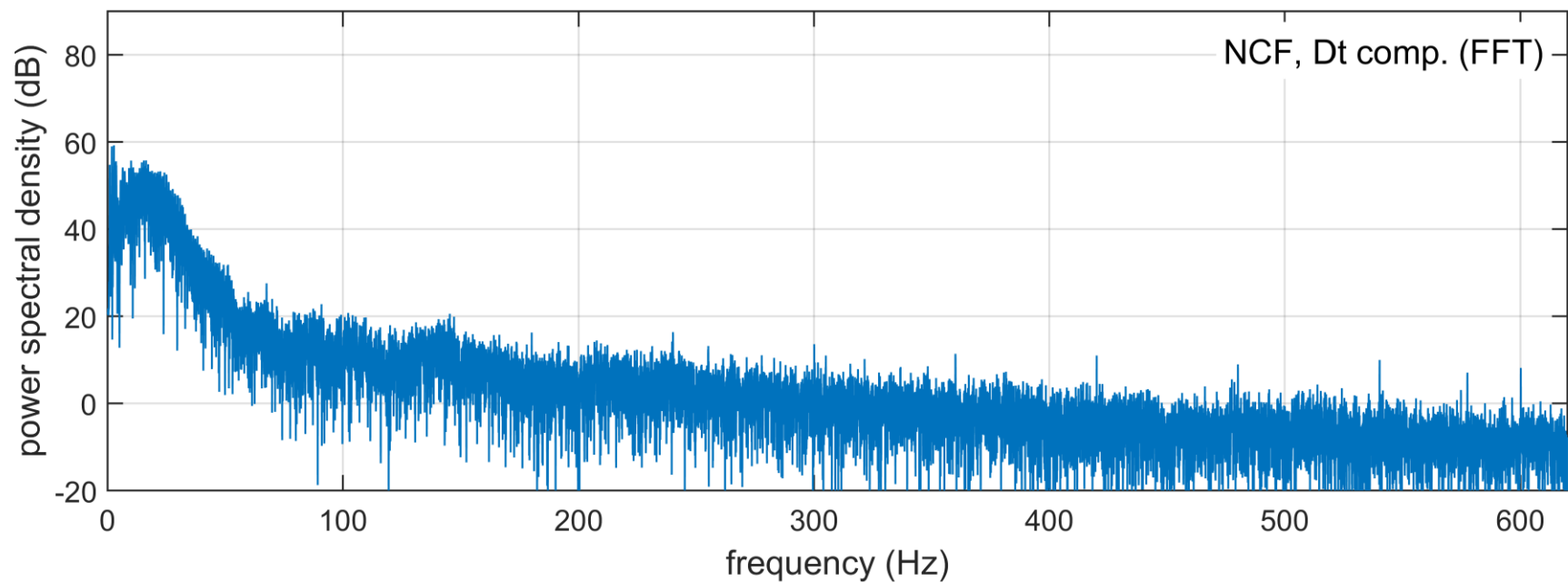
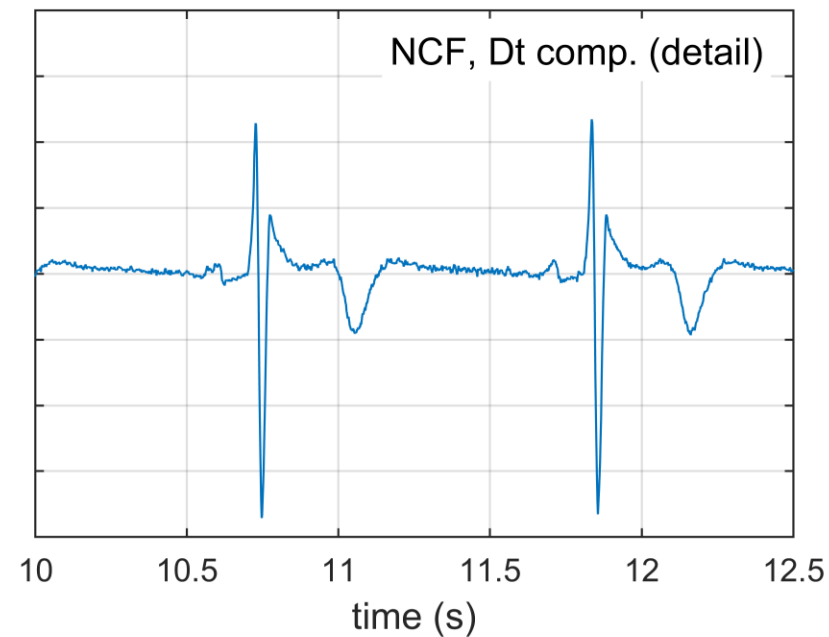
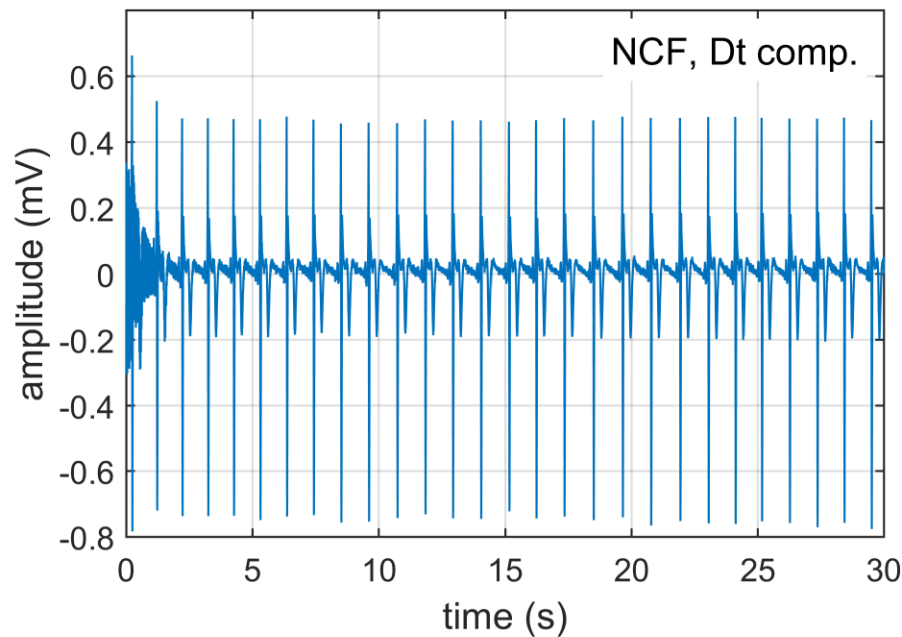
- Desarrollado verano 2024 – primavera 2025
- Estudio PLI
- Causa
- Solución: demodulación
- Corrección error de tiempo
- Sustracción del ruido
- Resultados con ECG y con AEPs

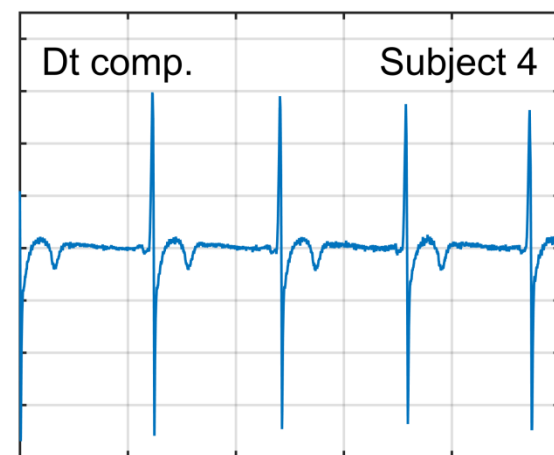
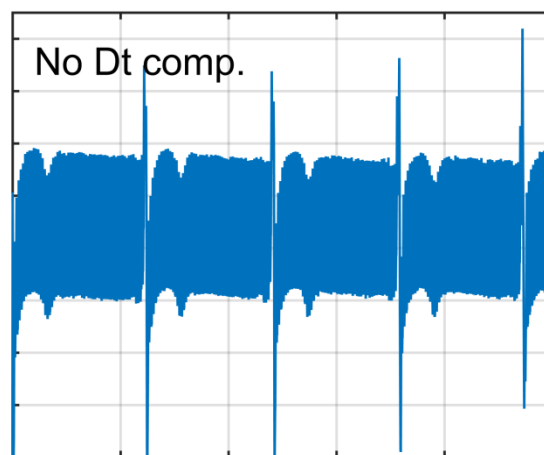
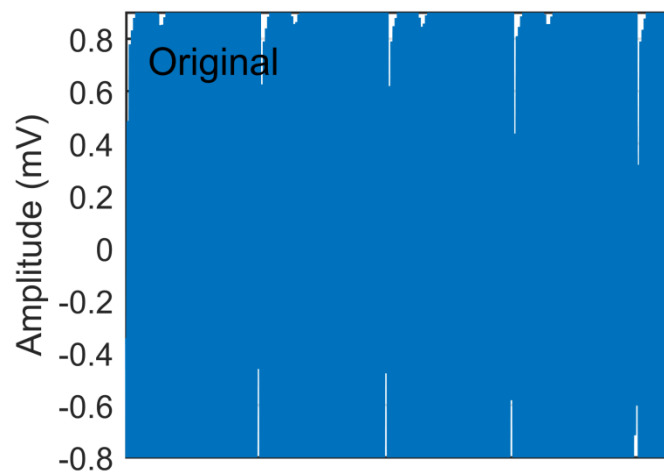
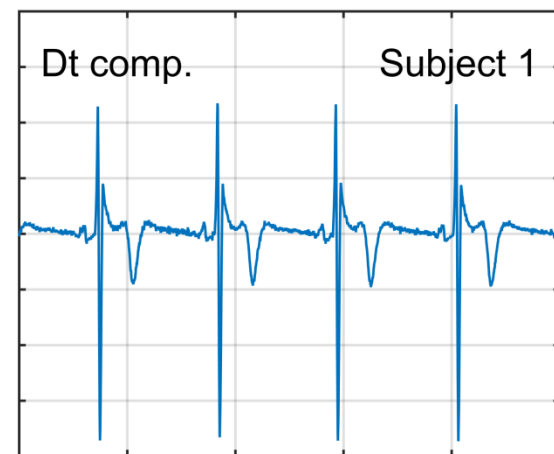
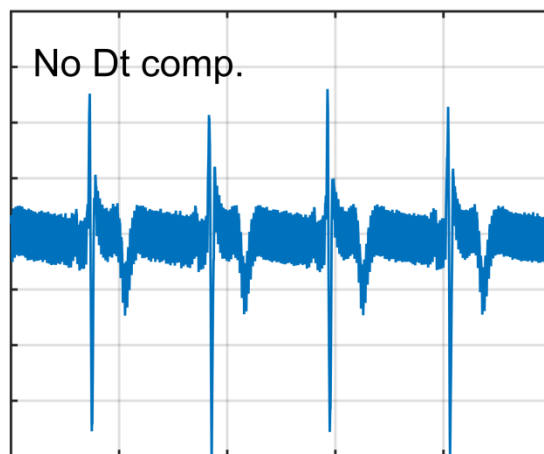
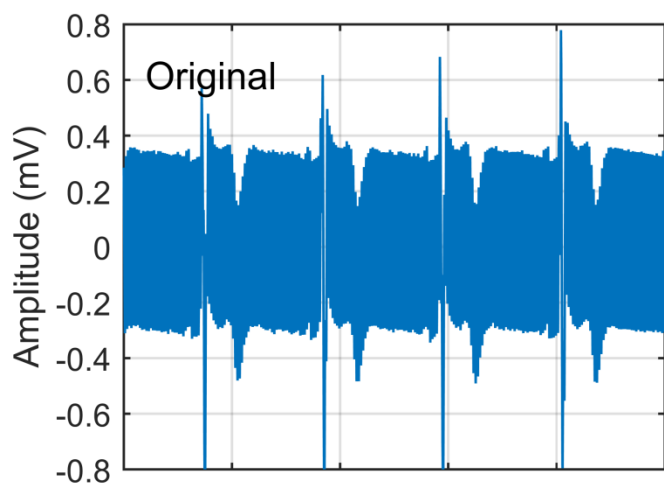




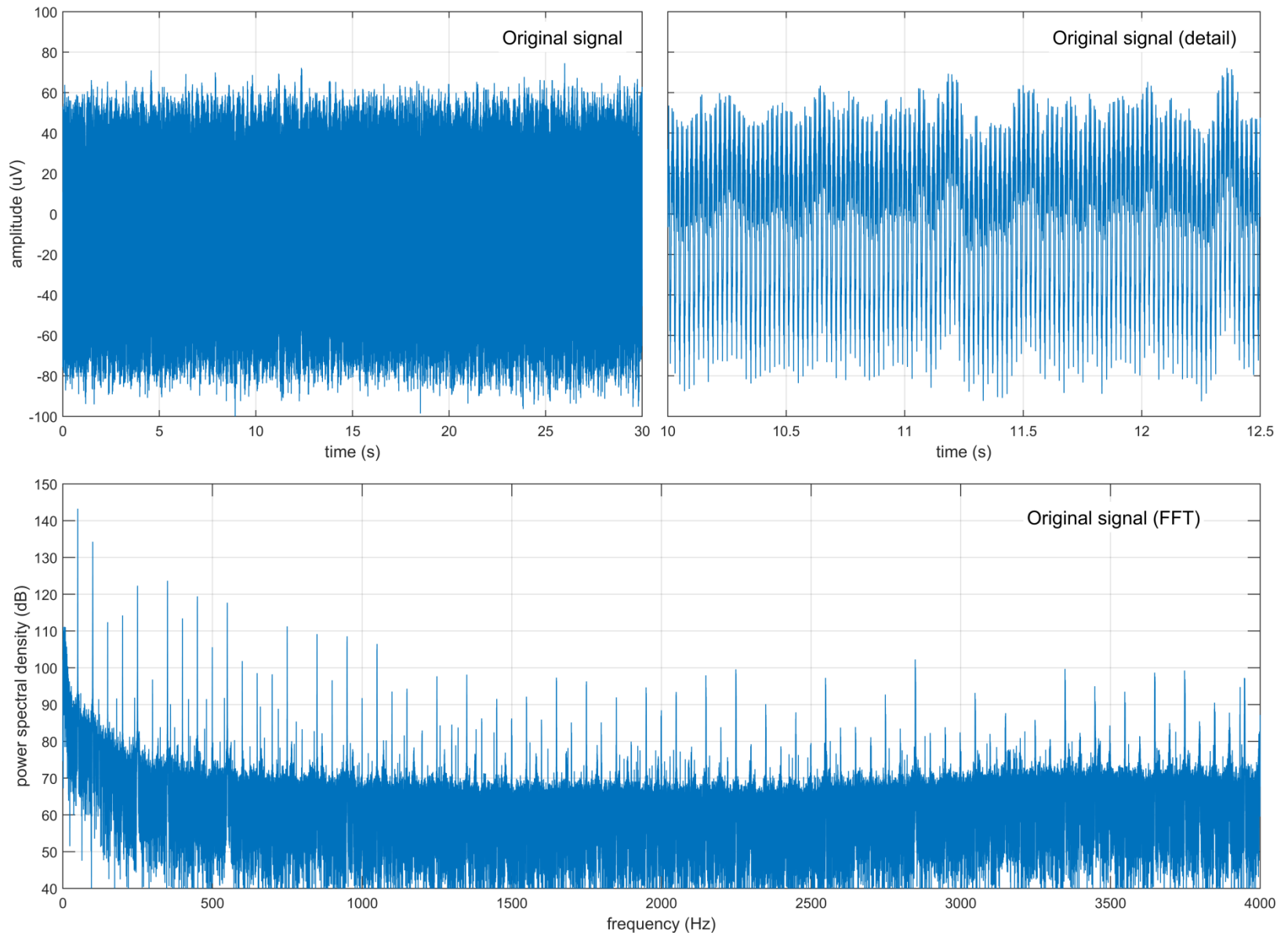






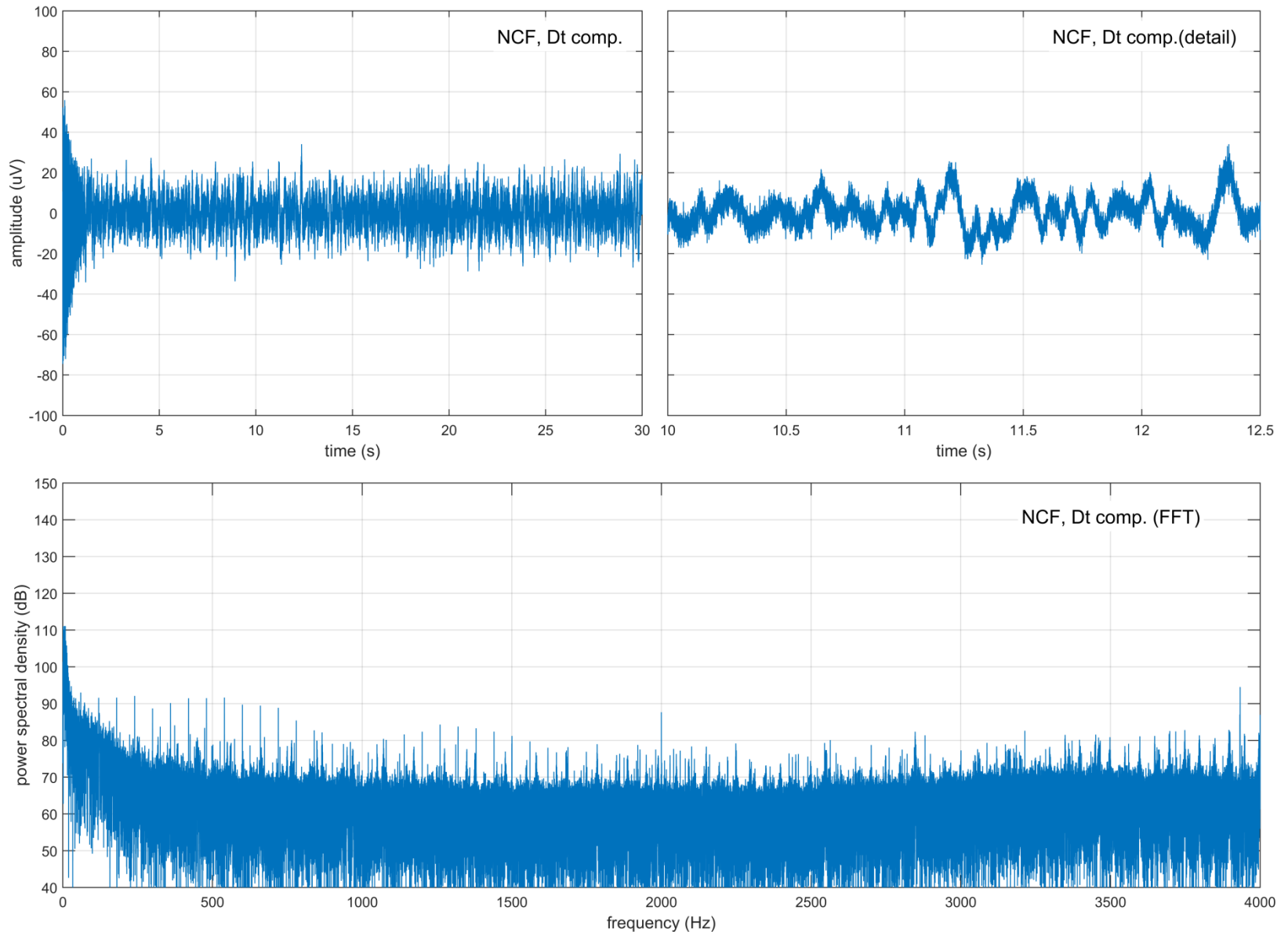


# Ruido red eléctrica (PLI) EEG antes

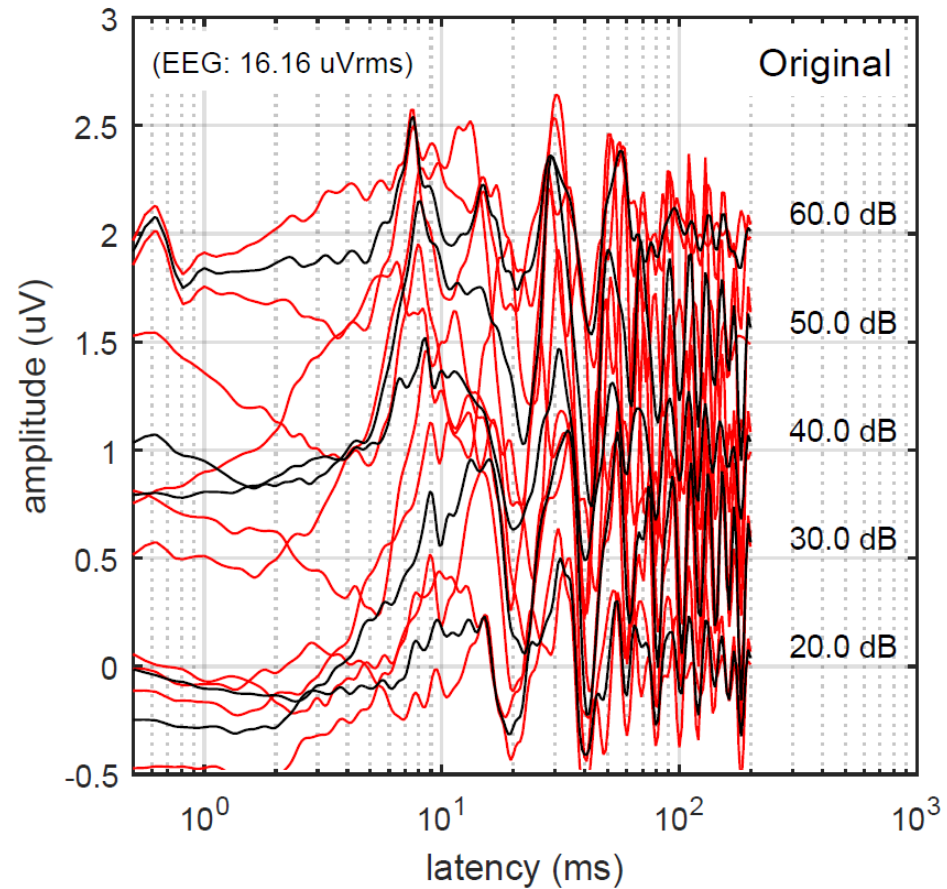
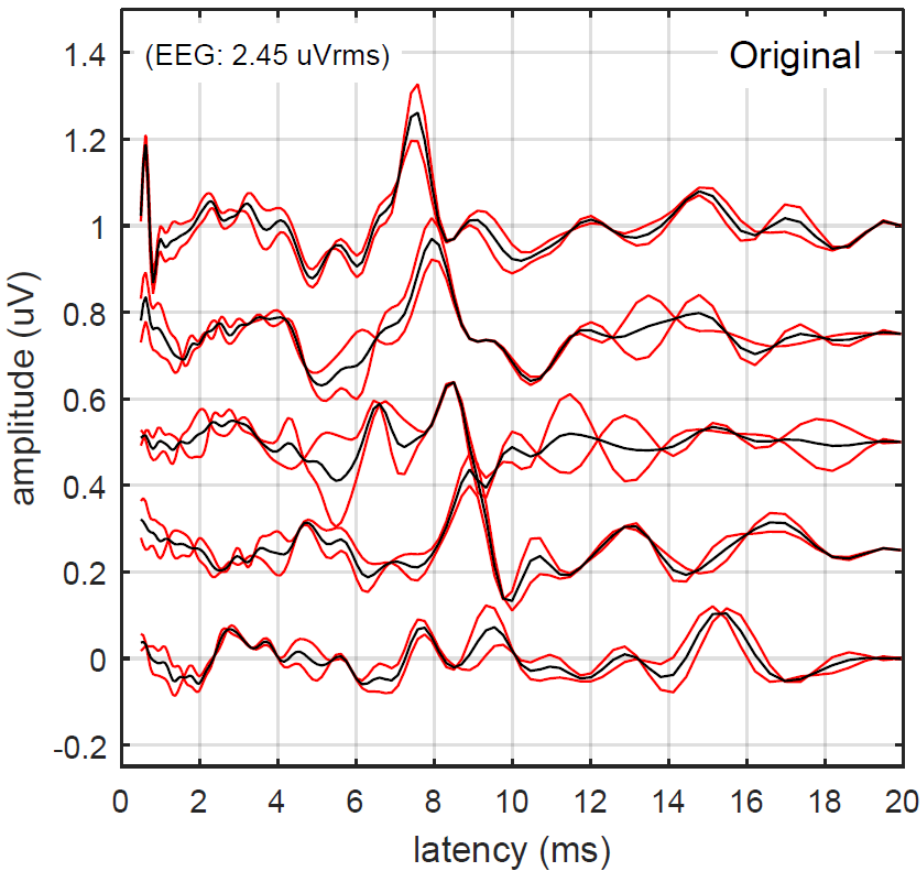




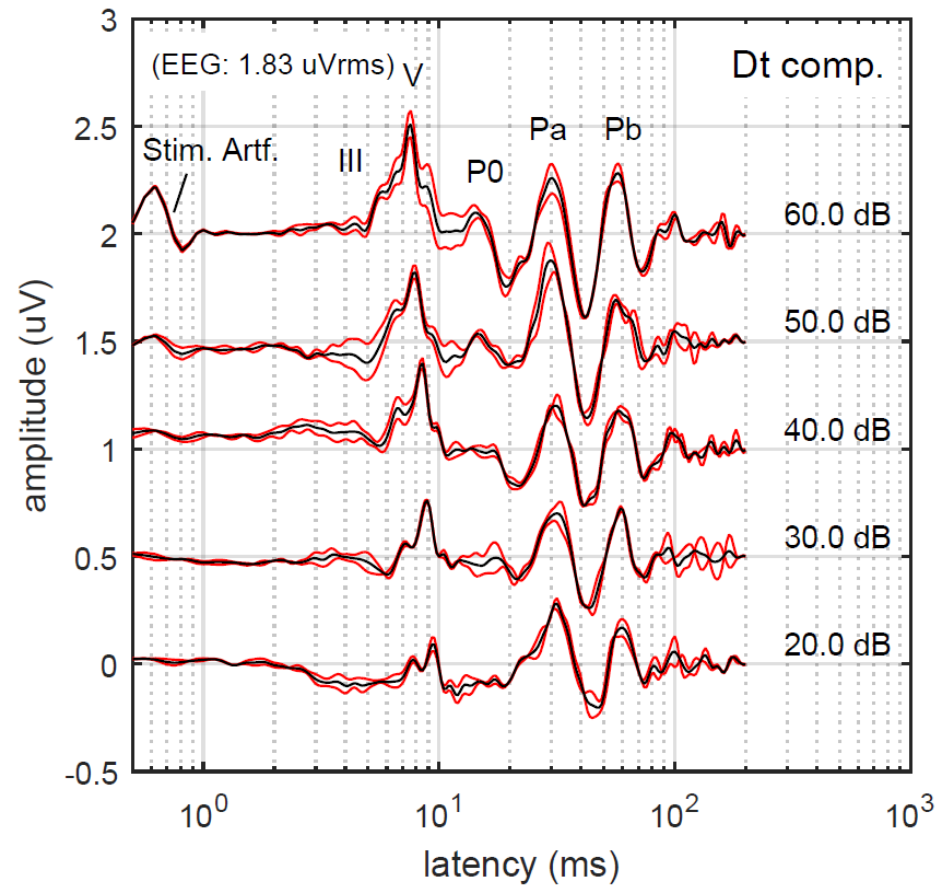
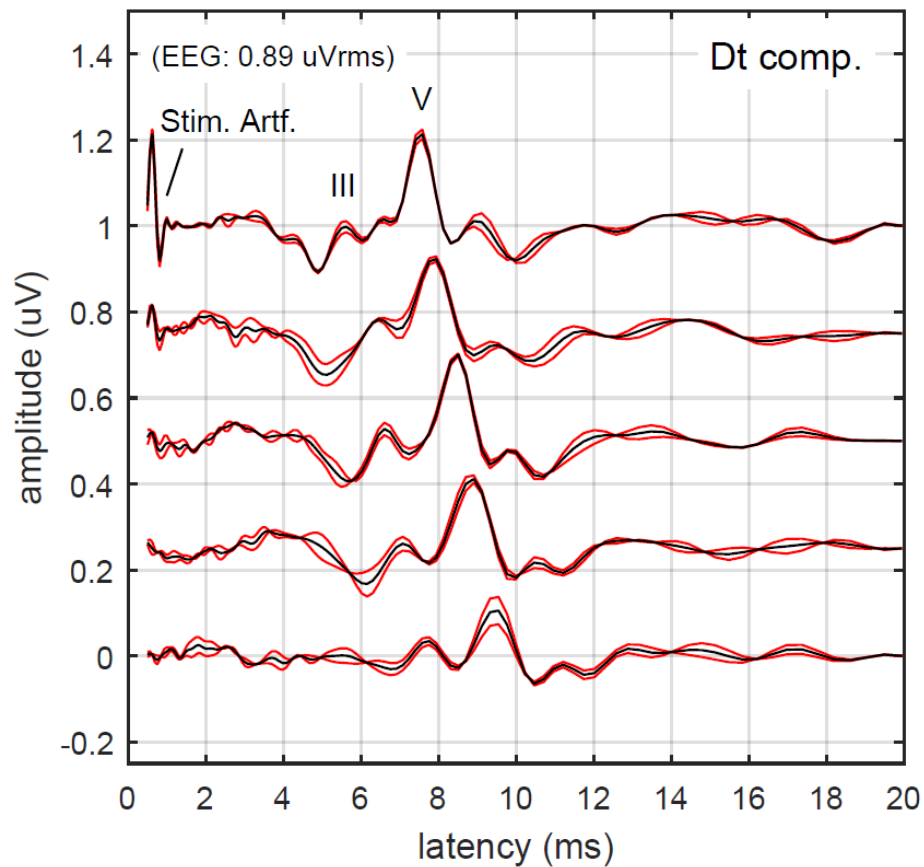
# Ruido red eléctrica (PLI) EEG después

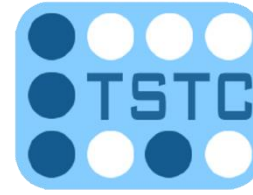


# Ejemplo respuesta con PLI



# Ejemplo respuesta sin PLI





# TALLER 1:

## ¿Cómo estás, corazón?

### Taller de biopotenciales cardiacos

Proyecto **PID2020-119073GB-I00**  
financiado por MCIN/ AEI /10.13039/501100011033



Proyecto **P21.00152**



# Objetivo del taller

- Teoría de señal y comunicaciones
- Instrumentación, biopotenciales
- Instrumentación y procesamiento de señal asequible
- Vocación hacia ciencia y tecnología:
  - Multidisciplinaridad
  - Proyectos científicos, tecnológicos, educativos

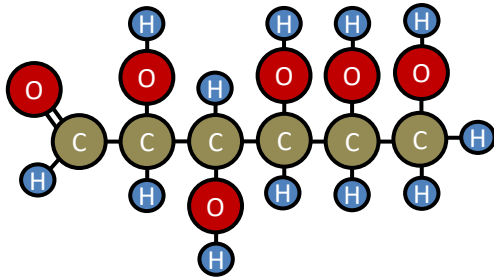
# Importancia del corazón

- Funciones de la vida:
  - Nutrición
  - Relación
  - Reproducción
- Para las funciones de la vida se necesita....

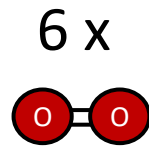
**ENERGÍA**

# Respiración celular

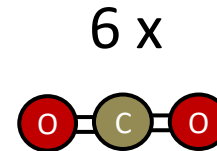
glucosa



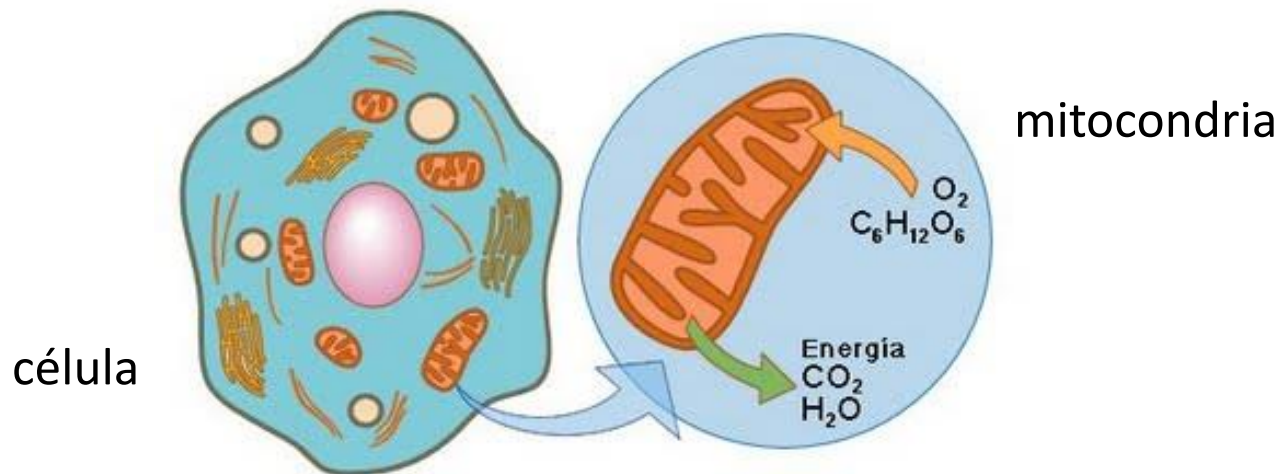
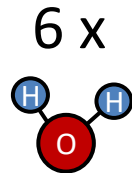
oxígeno



dióxido de carbono

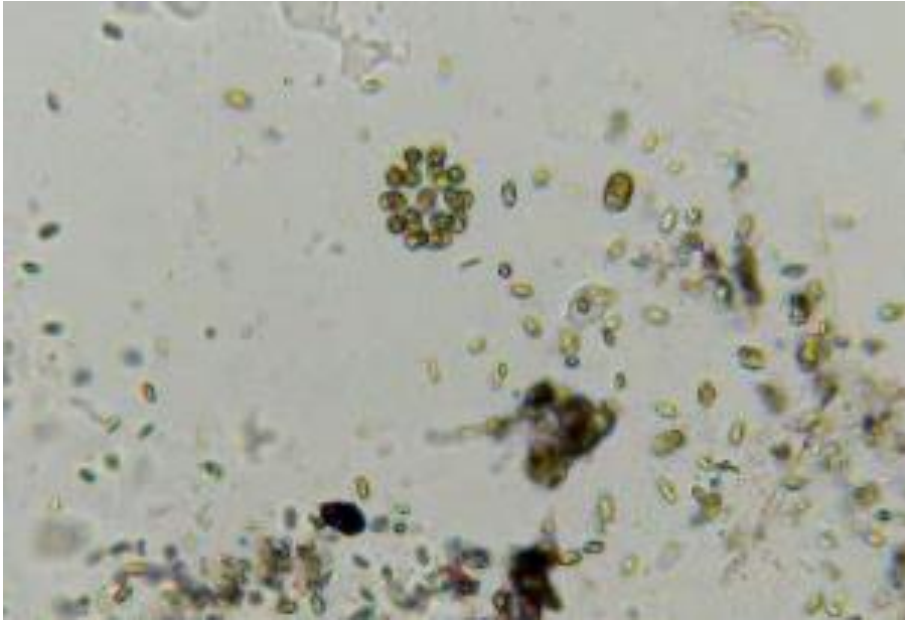


agua





# Respiración celular en unicelulares



Colonia de algas unicelulares

Paramecio



# Sistemas pluricelulares

## El problema del transporte

Solución:

### **El sistema circulatorio - corazón**

- Llevar oxígeno y nutrientes a las células
- Retirar desechos
- Mayor capacidad de transporte:  
metabolismo más activo

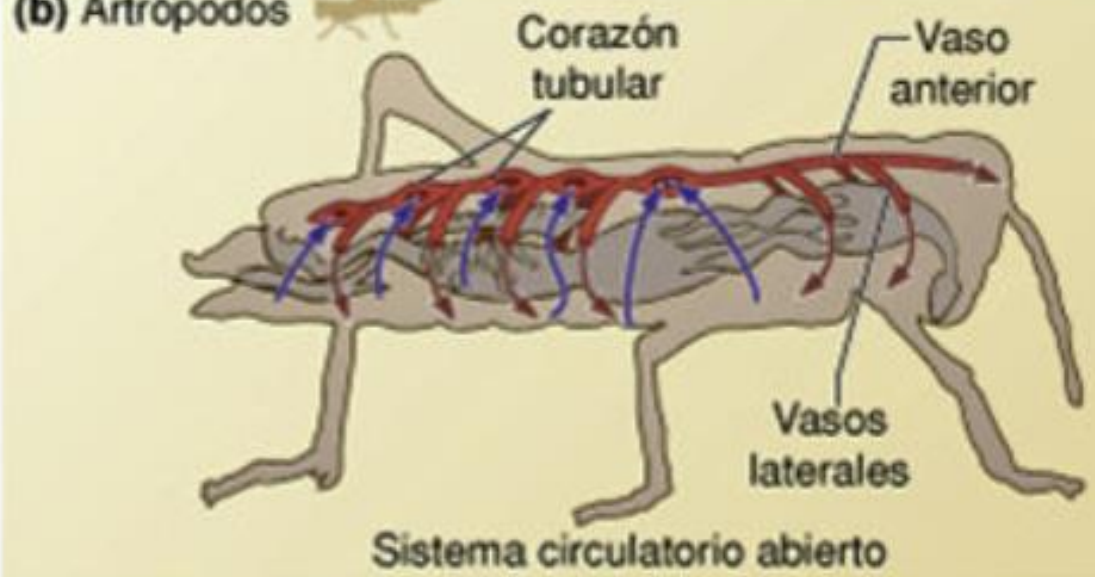
**(a) Poríferos**



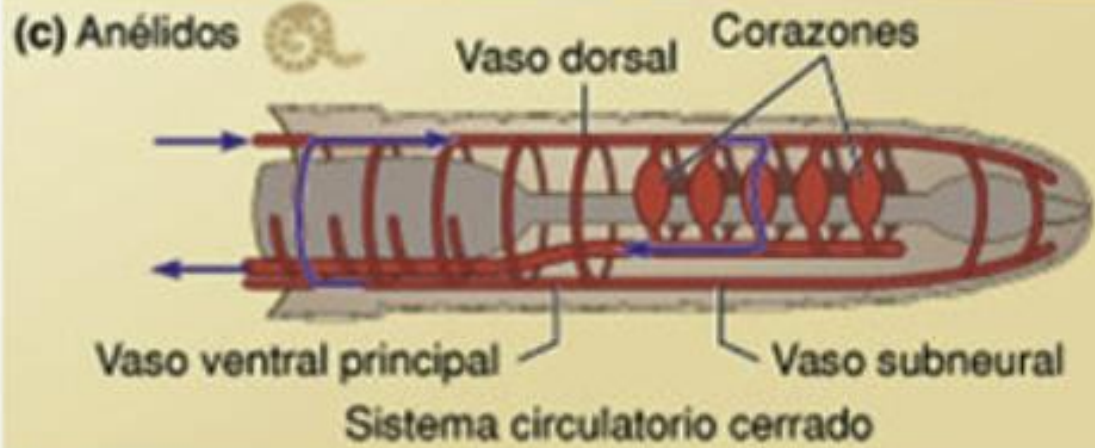
**Platelmintos**



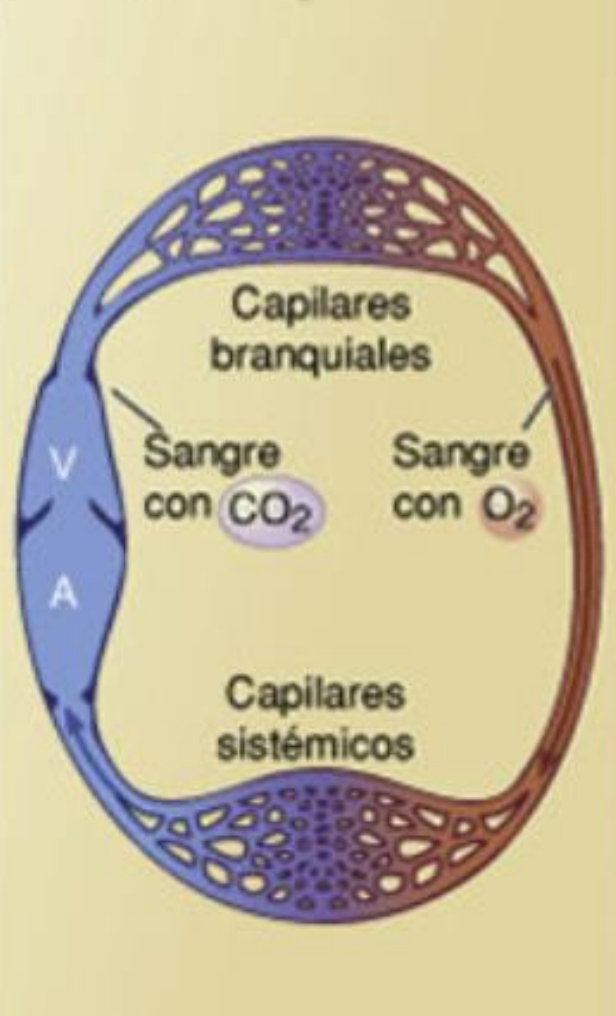
**(b) Artrópodos**



**(c) Anélidos**



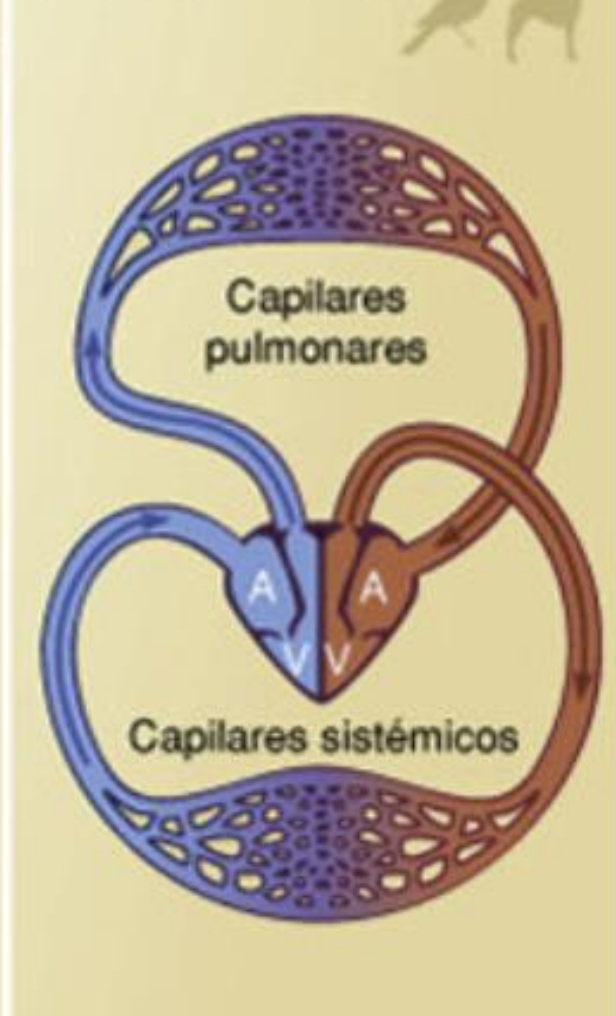
**(d) Peces**



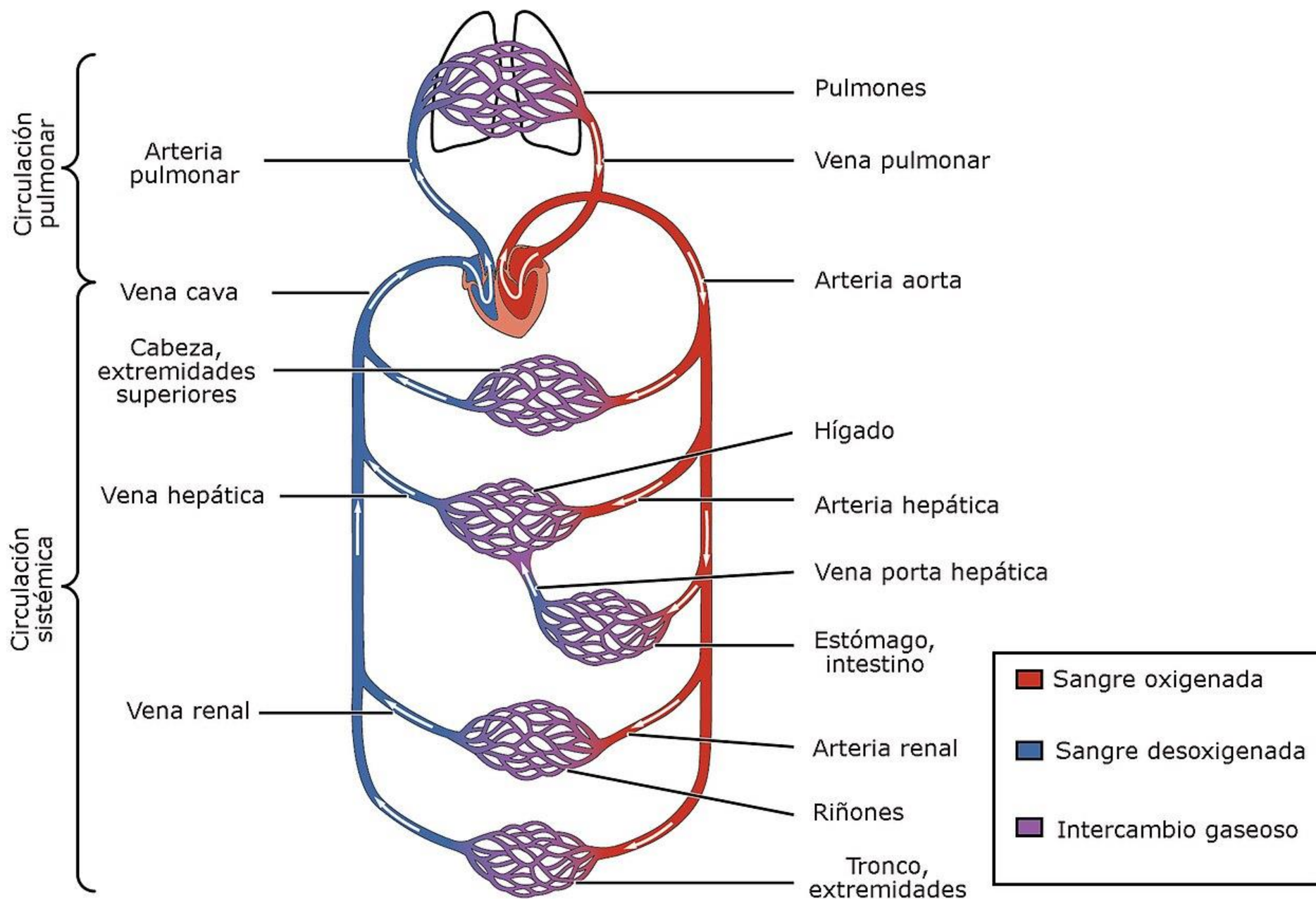
**(e) Anfibios y reptiles**



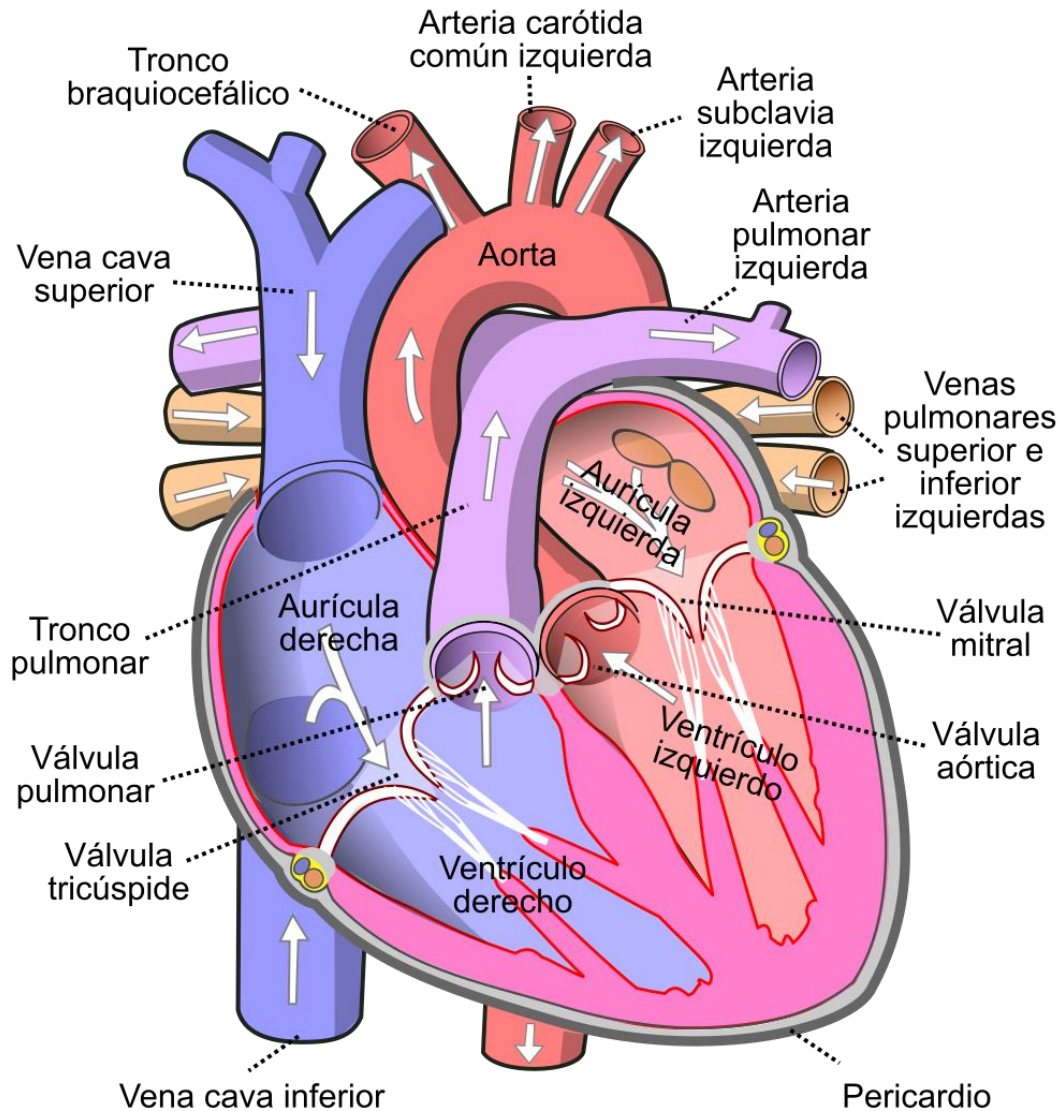
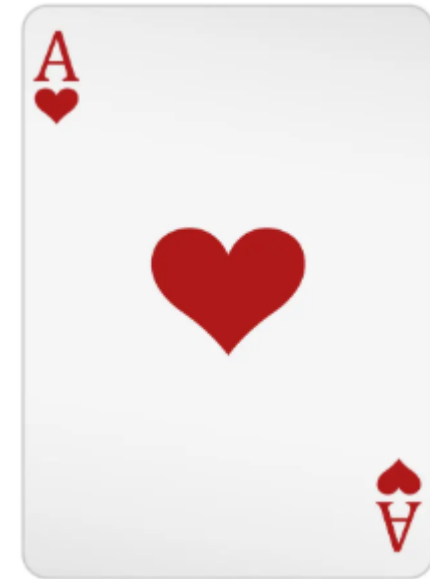
**(f) Aves y mamíferos**





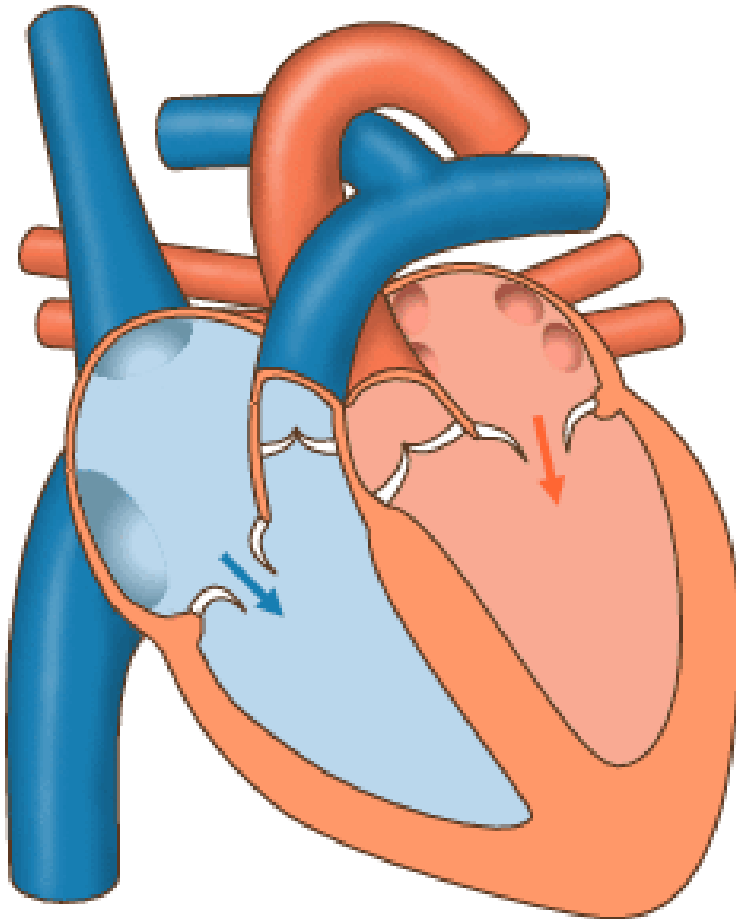
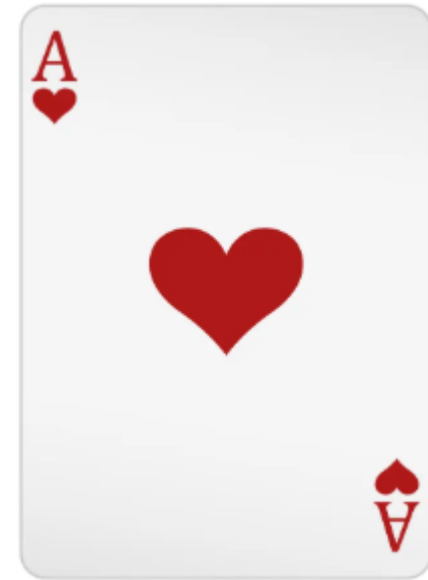


# El «as» de corazones





# El «as» de corazones



Vasos sanguíneos:

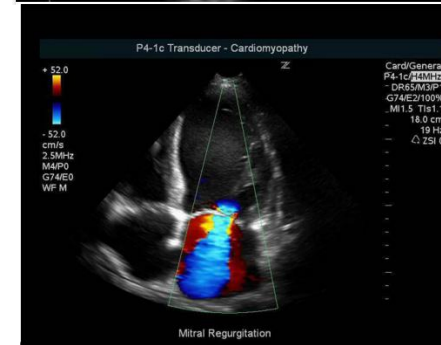
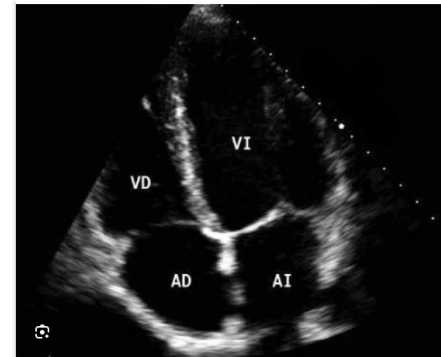
- Arterias
- Venas
- Capilares

Modulación transporte

- Ritmo cardiaco
- Vasodilatación

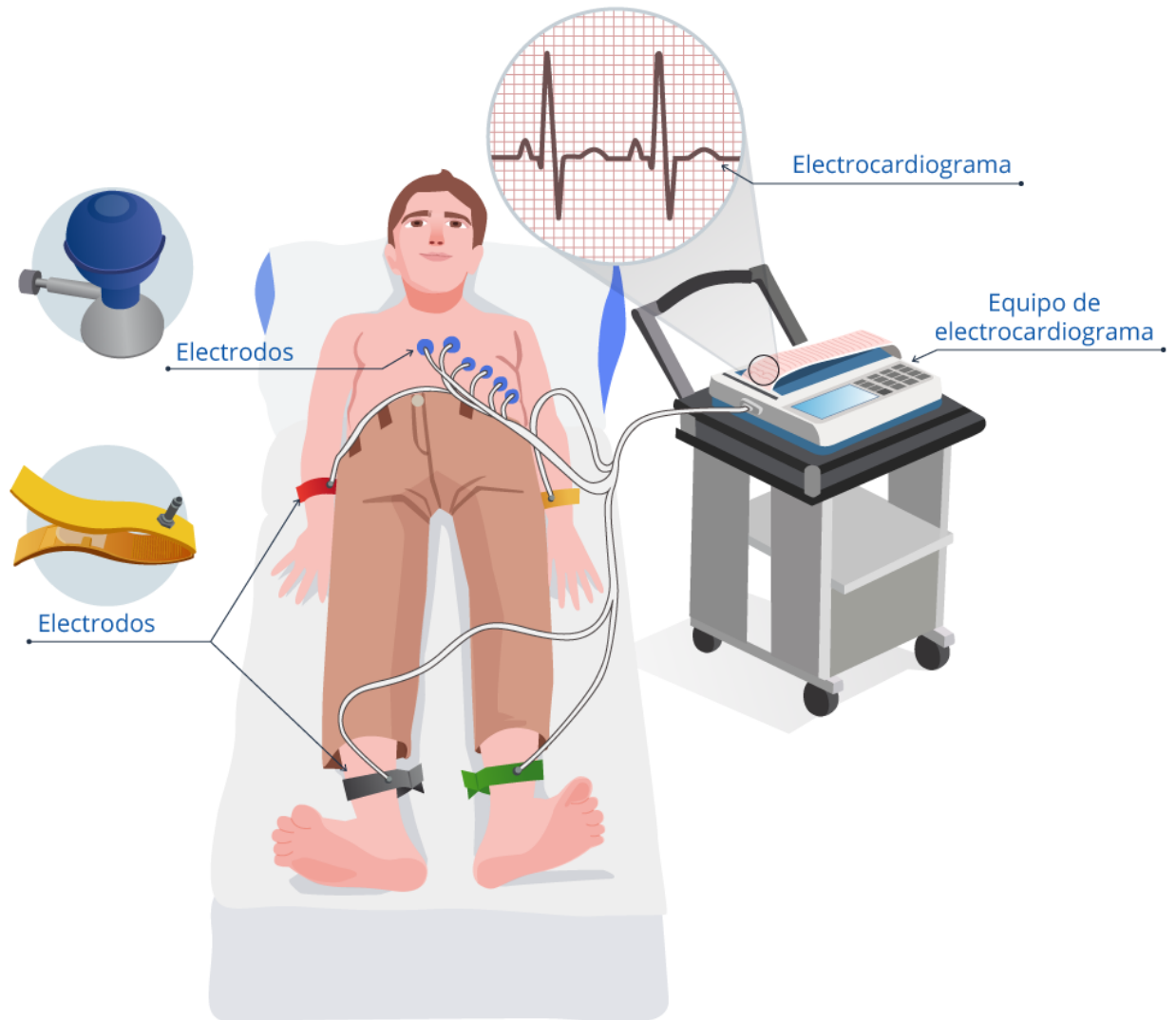
# Exploración del corazón

- Actividad mecánica
  - Sin instrumentos (oído, tacto, vista)
  - Fonendo (sonido)
  - Ecografía (imagen)
  - Ecografía doppler (movimiento sangre)
  - Pulsioxímetro
- Actividad eléctrica
  - Electrocardiografía
  - Biopotenciales cardiacos

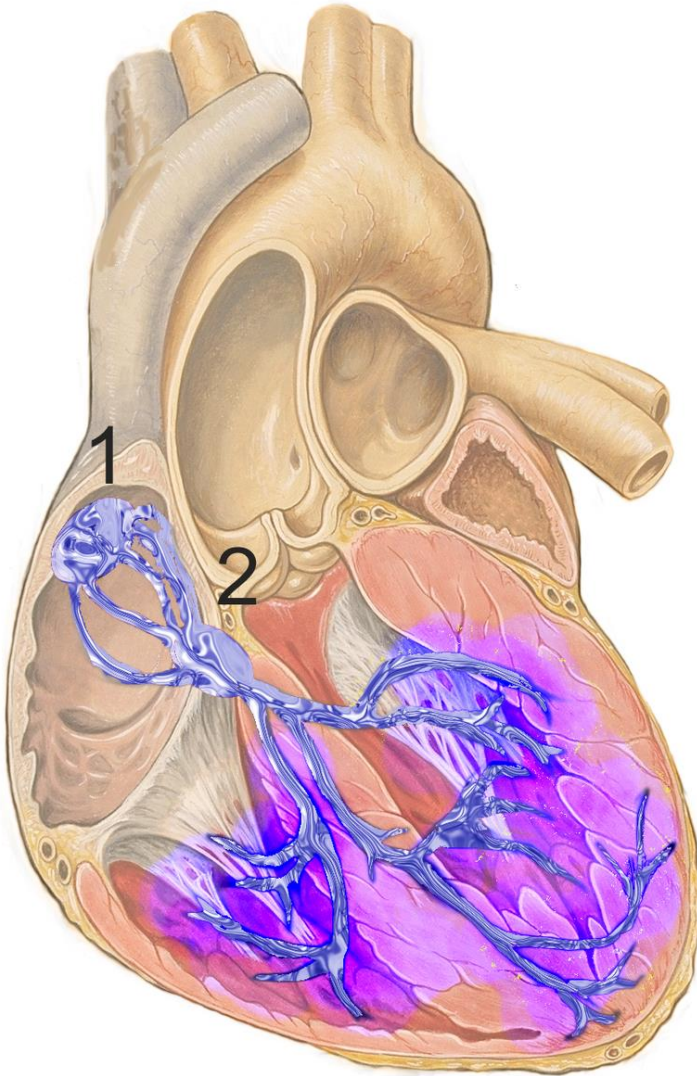


# Electrocardiografía

- Actividad eléctrica asociada a actividad neuromuscular del corazón



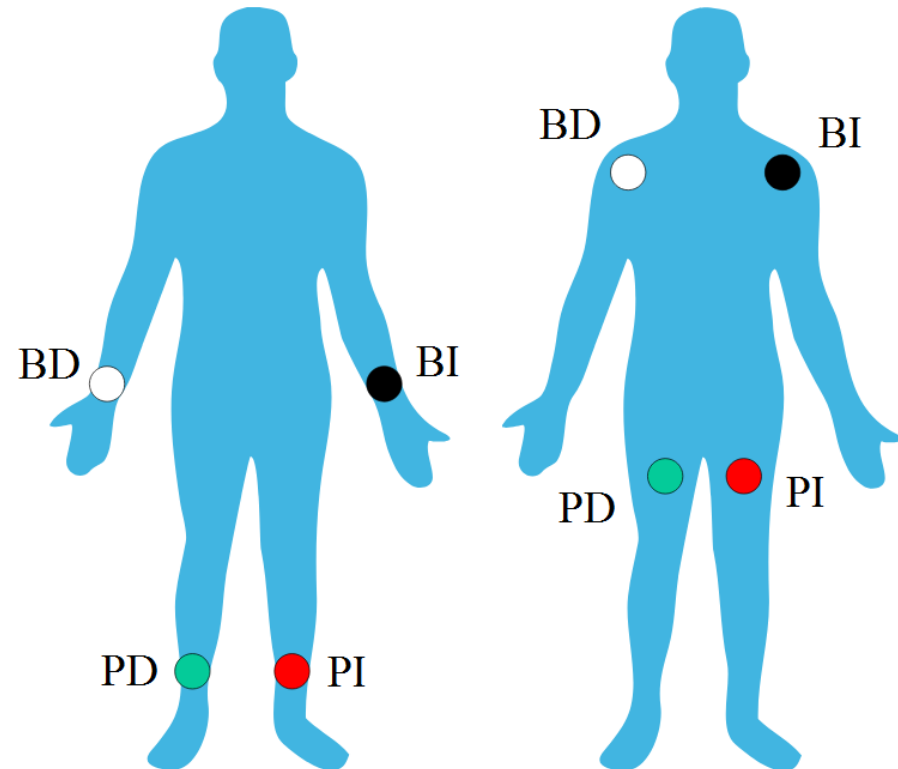
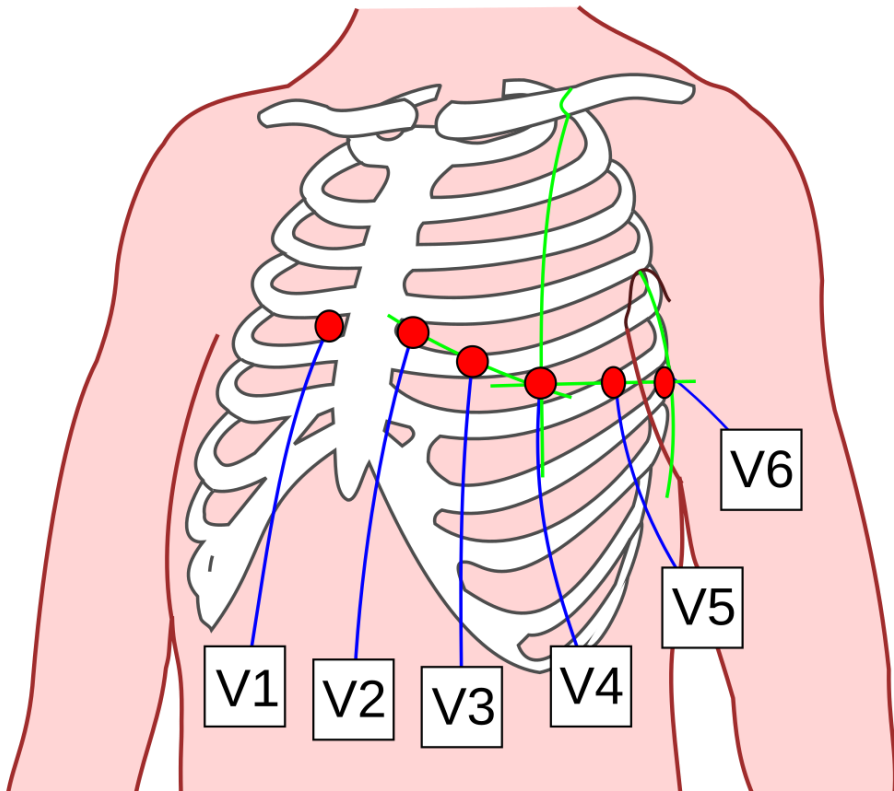
# Inervación del corazón



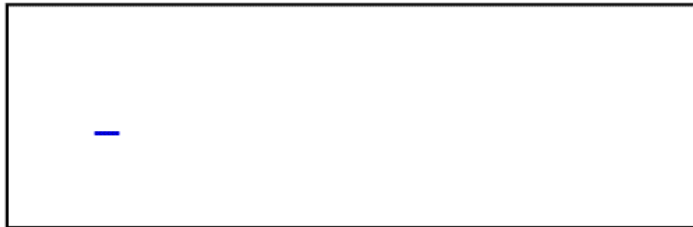
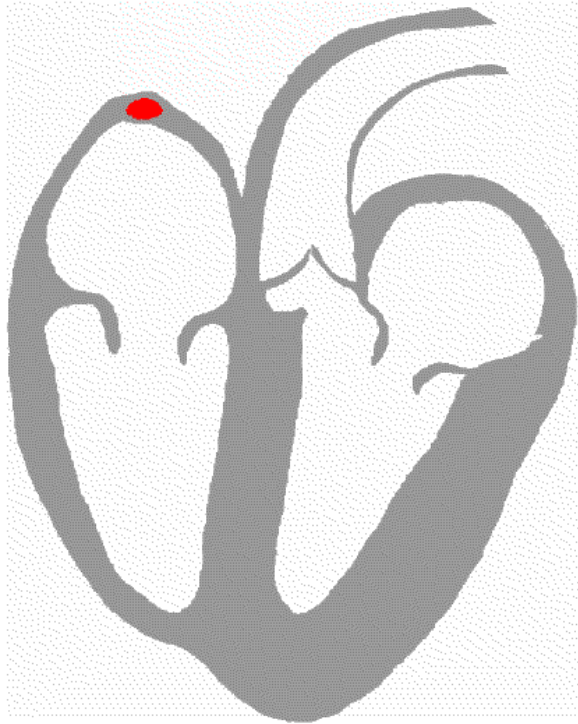
1. Nodo sinoauricular
2. Nodo auriculoventricular

# Electrodos ECG

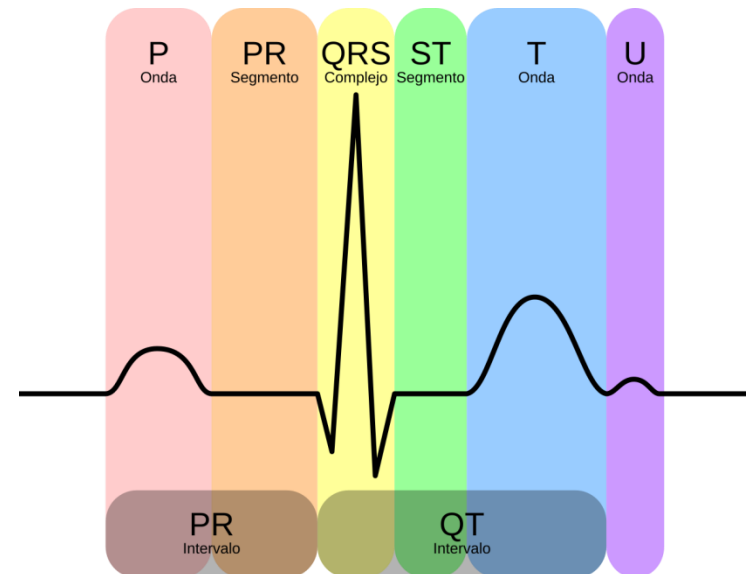
- 6 precordiales + 4 periféricos (12 derivaciones)



# Señal ECG

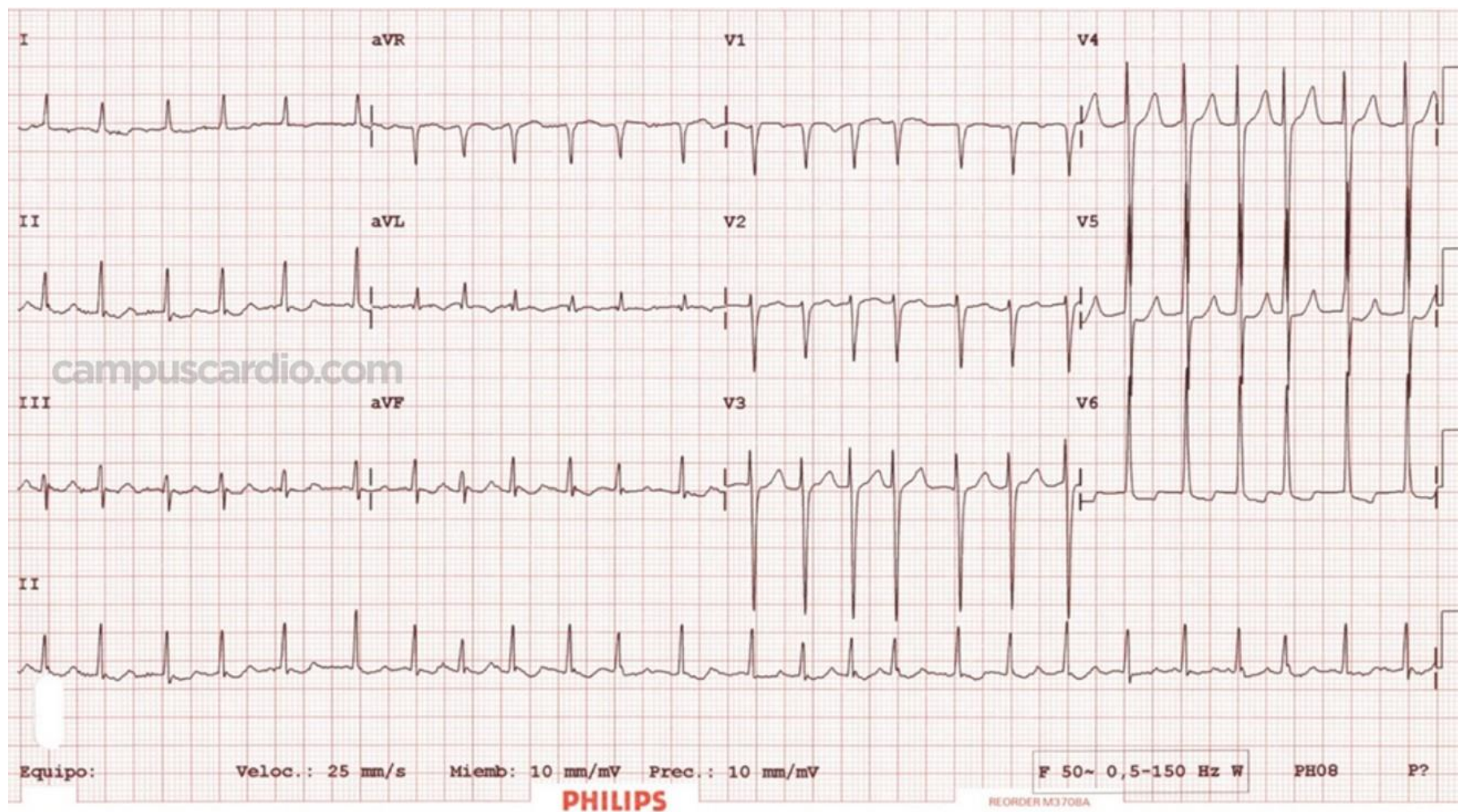


- Onda P
  - Activación N. sinoauricular
- Complejo QRS
  - Activación N. auriculoventricular
- Onda T
  - Relajación ventricular





# ECG de 12 derivaciones



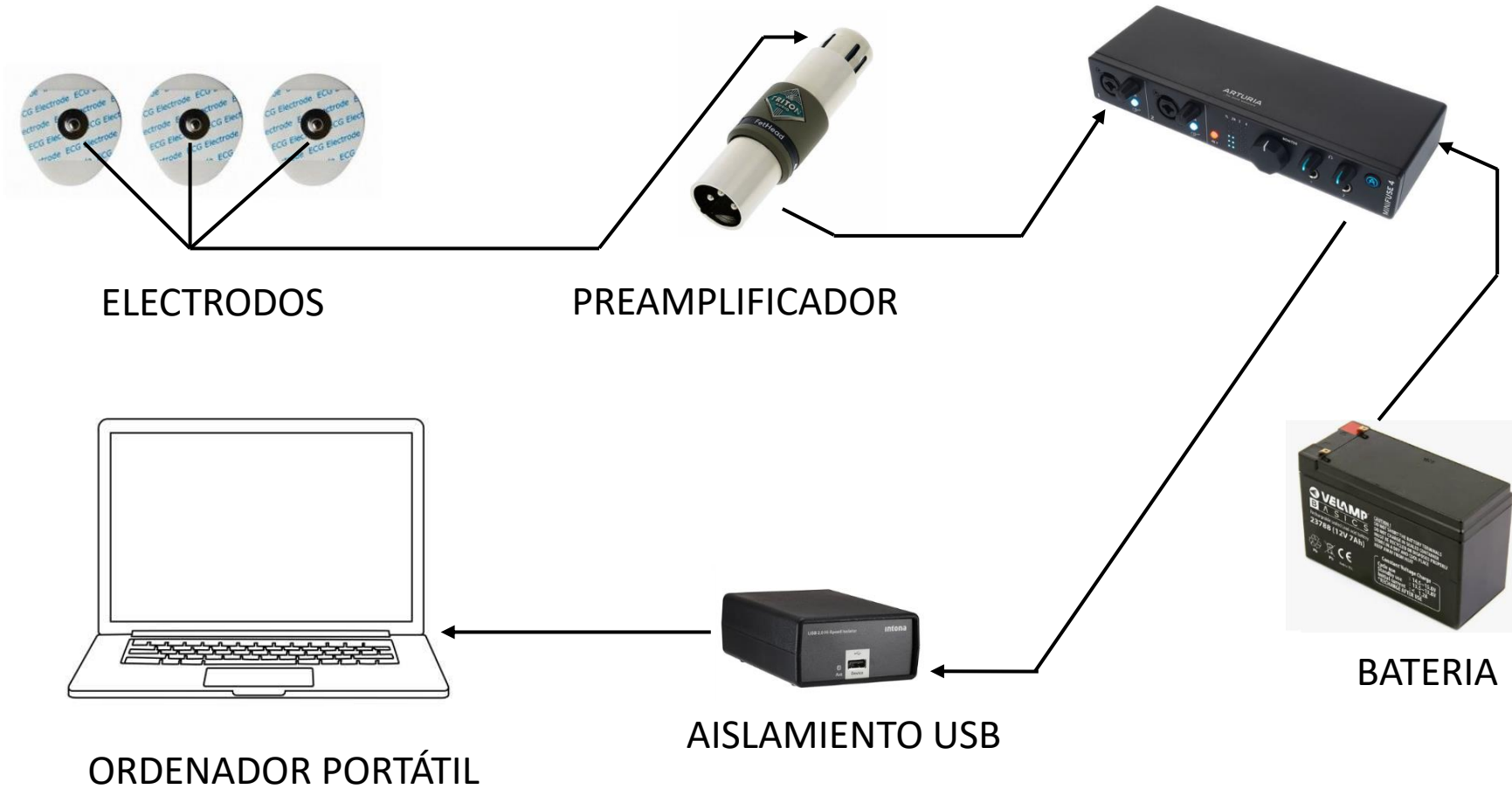
# Biopotenciales cardiacos

- Equipo económico
- Experimentos en contexto educativo / divulgativo / científico (no clínico)
- 3 electrodos (activo/referencia/tierra)
- Preamplificador
- Conversor AD/DA
- Procesamiento de señal (ruido PLI, análisis...)

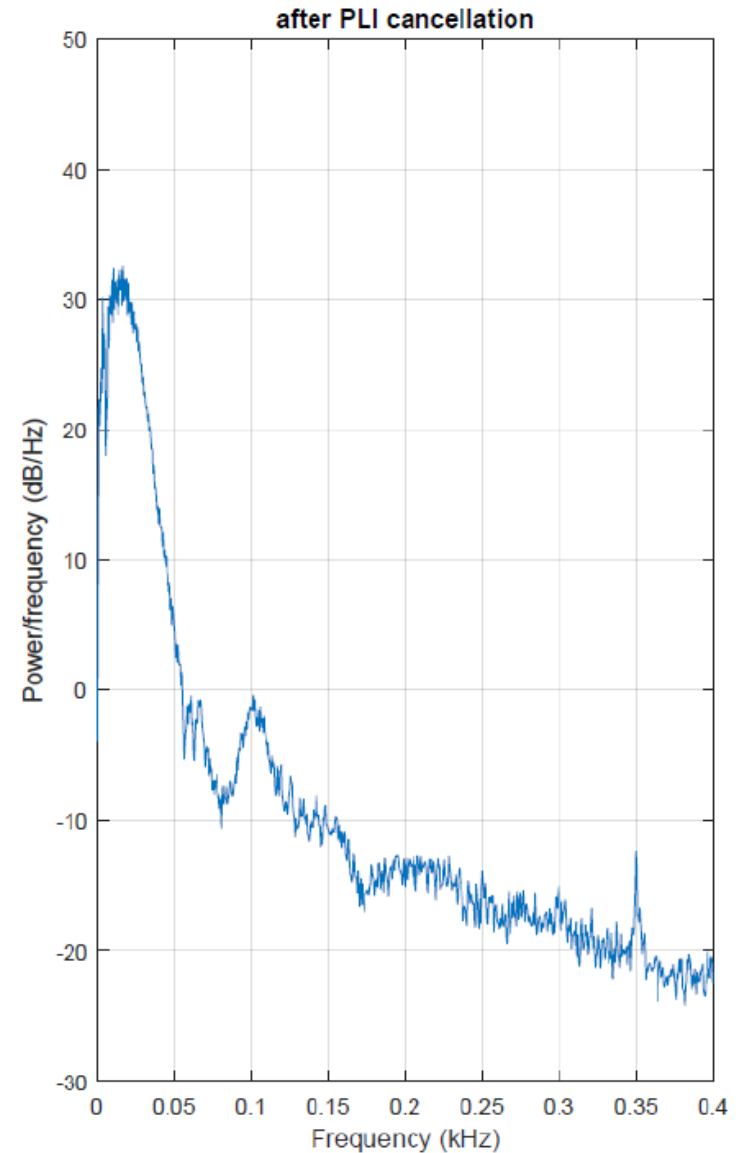
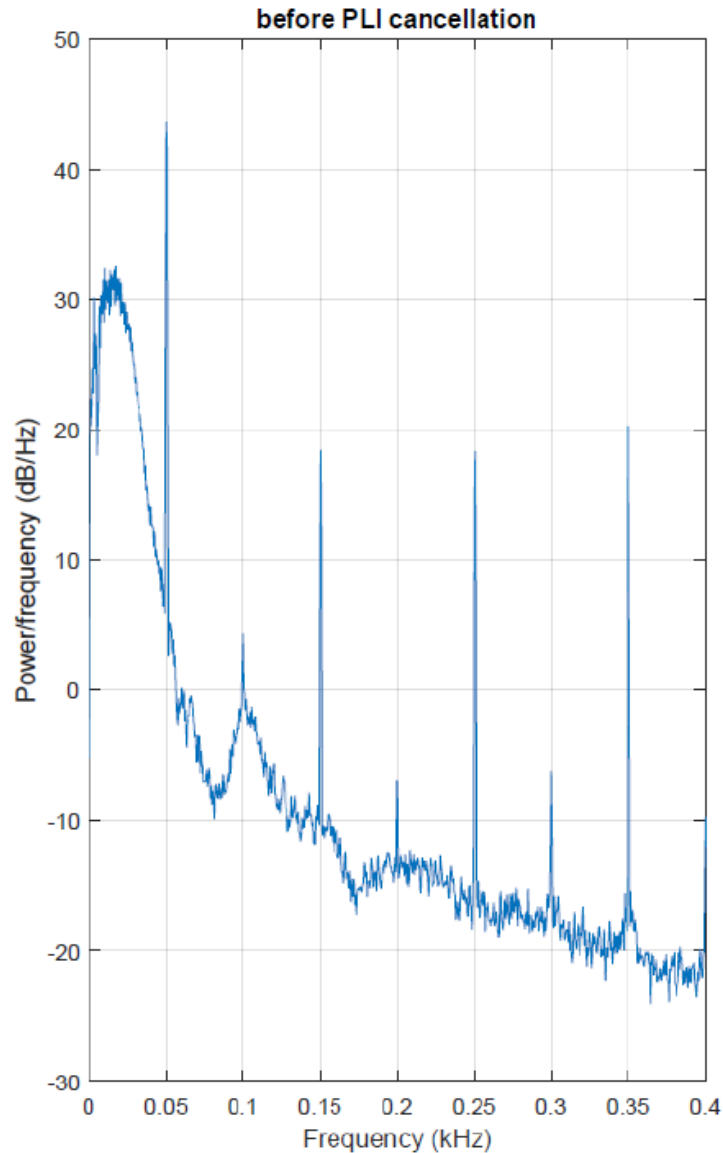
CARECE DE VALOR DIAGNÓSTICO

# Equipo registro

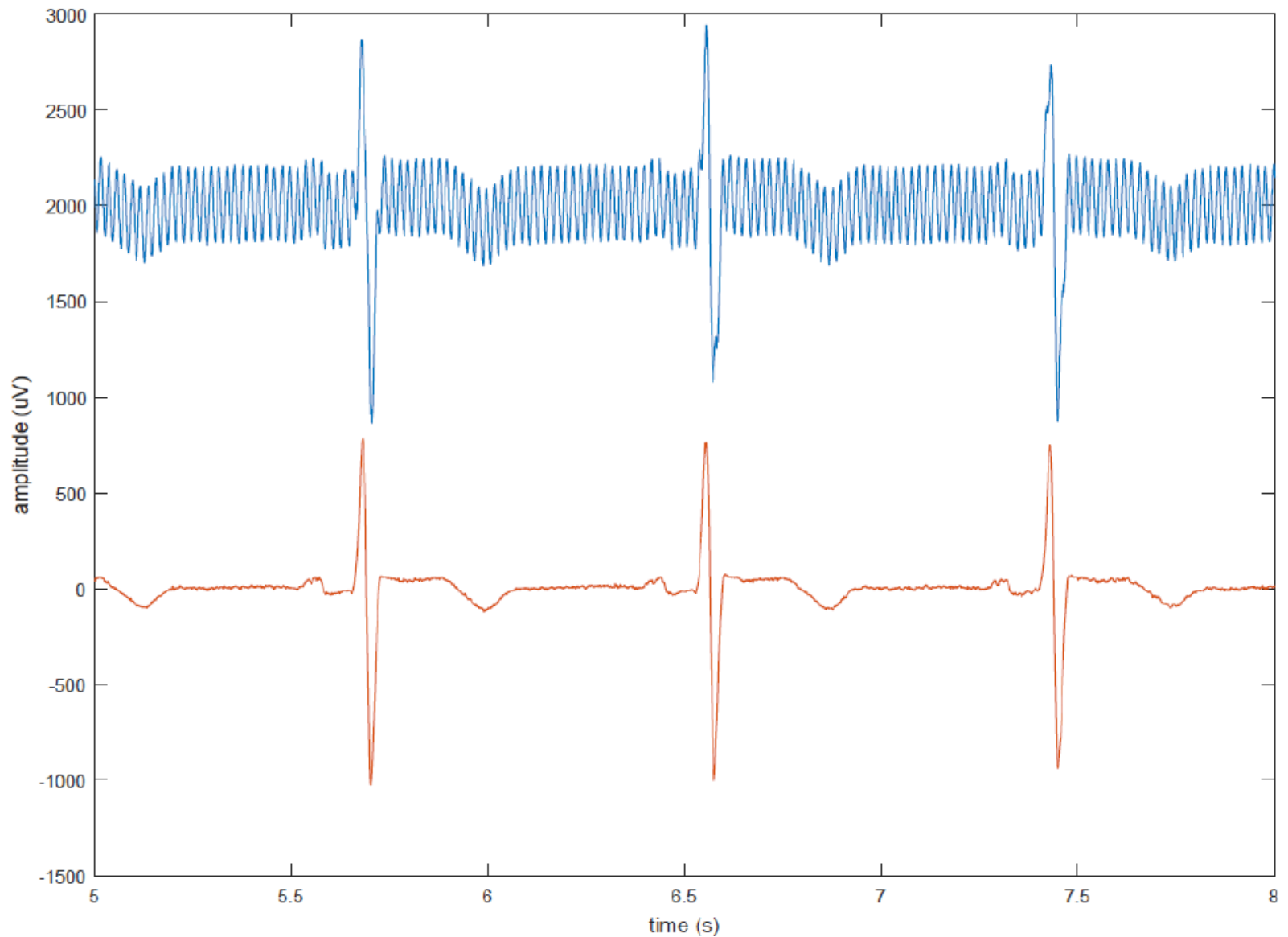
INTERFAZ AUDIO AD/DA



# Ruido red eléctrica (PLI)



# Ruido red eléctrica (PLI)



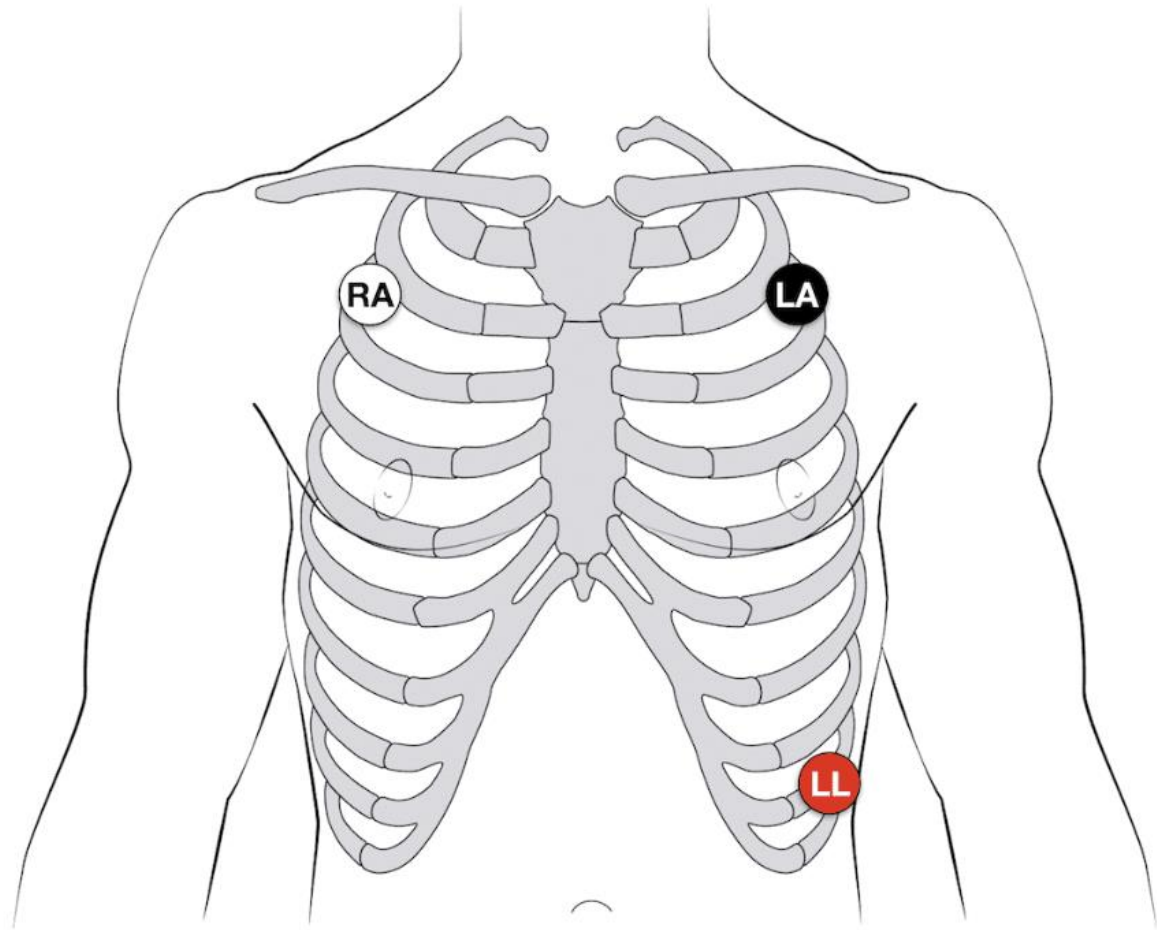
# Taller de biopotenciales cardiacos

- Objetivos (educativo, divulgativo)
  - Observación P-QRS-T
  - Pulso cardiaco
  - Variaciones del pulso cardiaco según actividad
  - Actividad miogénica
- Experimentación con humanos
  - Información + consentimiento informado
- Carece de valor diagnóstico

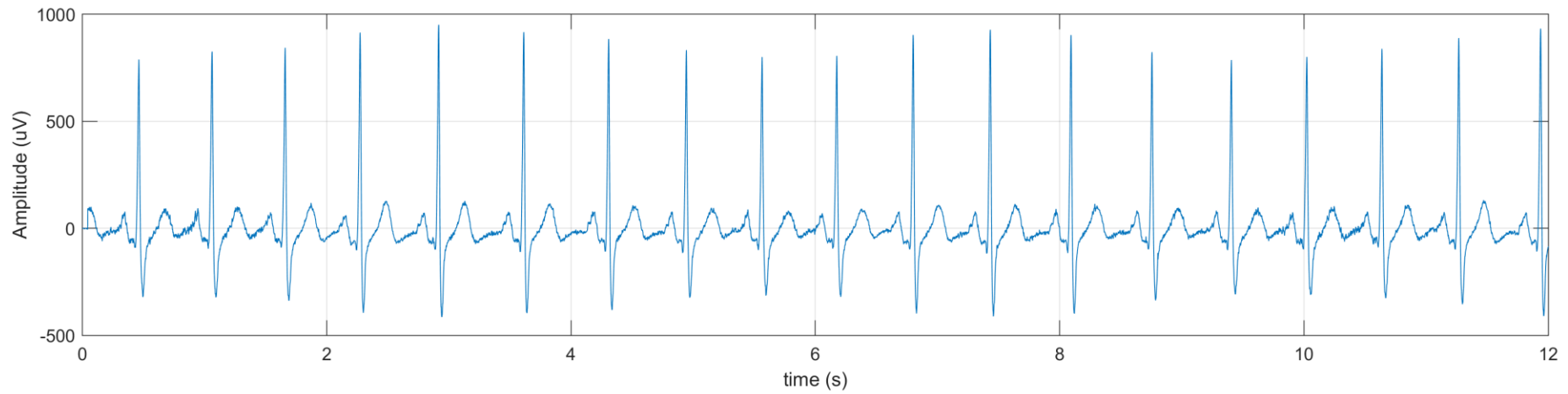


# Colocación electrodos

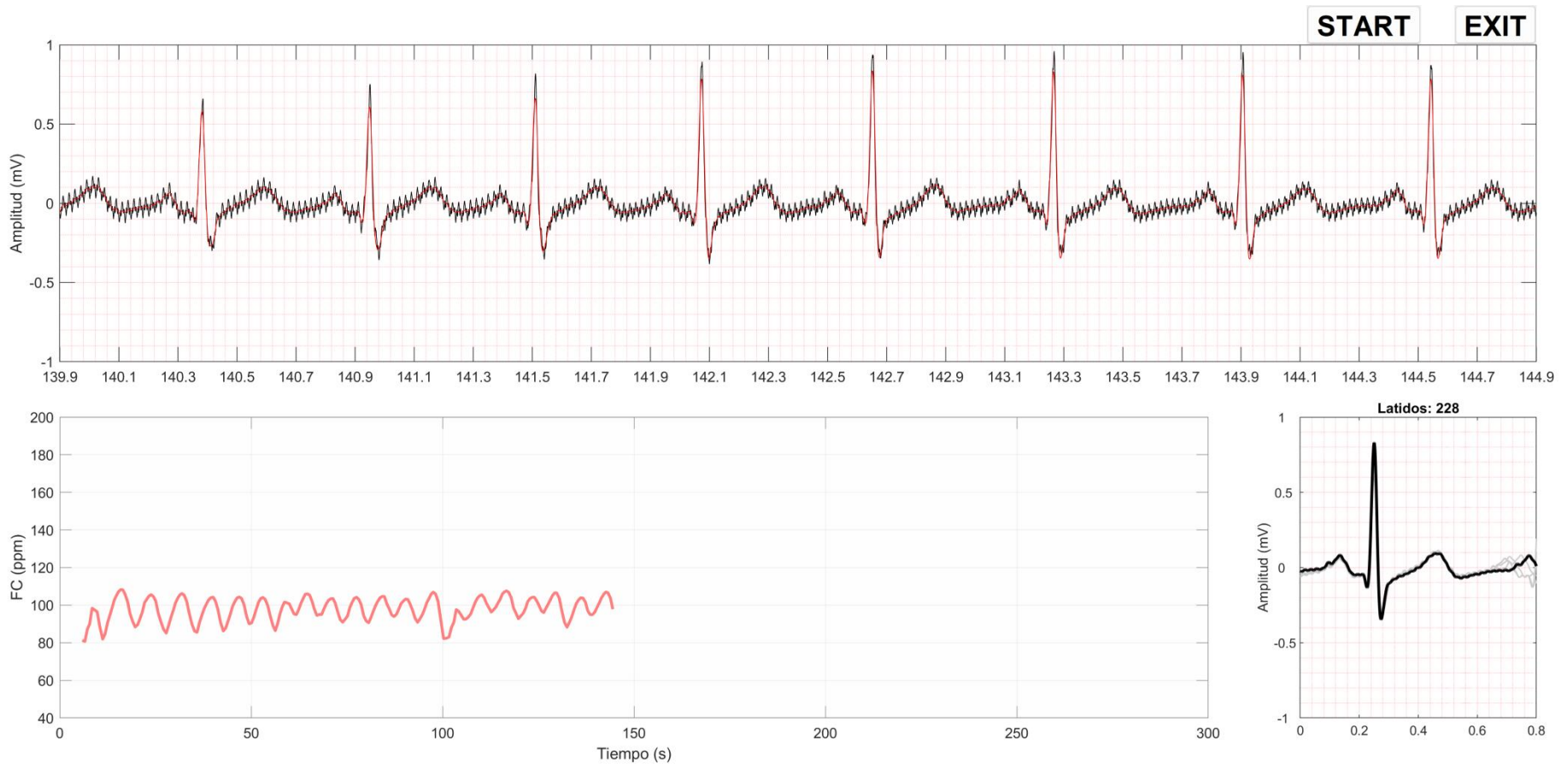
- Electrodo
  - Autoadhesivos
  - Desechables
  - Gel conductor
- Limpieza previa
  - Alcohol
- Posiciones
  - RA (-)
  - LL (+)
  - LA (GND)
- Indoloro (medida)



# Ejemplo señal cardiaca

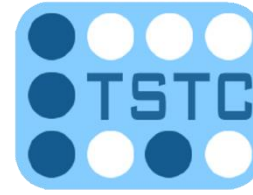


# Ejemplo señal cardiaca (análisis)



# Información complementaria

- Información sobre el corazón fácil de buscar en la red:
  - Aparato circulatorio
  - Sistema circulatorio animal
  - Conducción eléctrica del corazón
  - Electrocardiograma
- «El corazón»
  - Extraído de «Amanece, que no es poco», 1989 José Luis Cuerda (humor absurdo, surrealista, comedia, TP)
  - <https://www.youtube.com/watch?v=IGLbeVo9xNU>



# TALLER 2:

## Podemos ver lo que oyes

## Taller de potenciales evocados auditivos

Proyecto **PID2020-119073GB-I00**  
financiado por MCIN/ AEI /10.13039/501100011033



Proyecto **P21.00152**

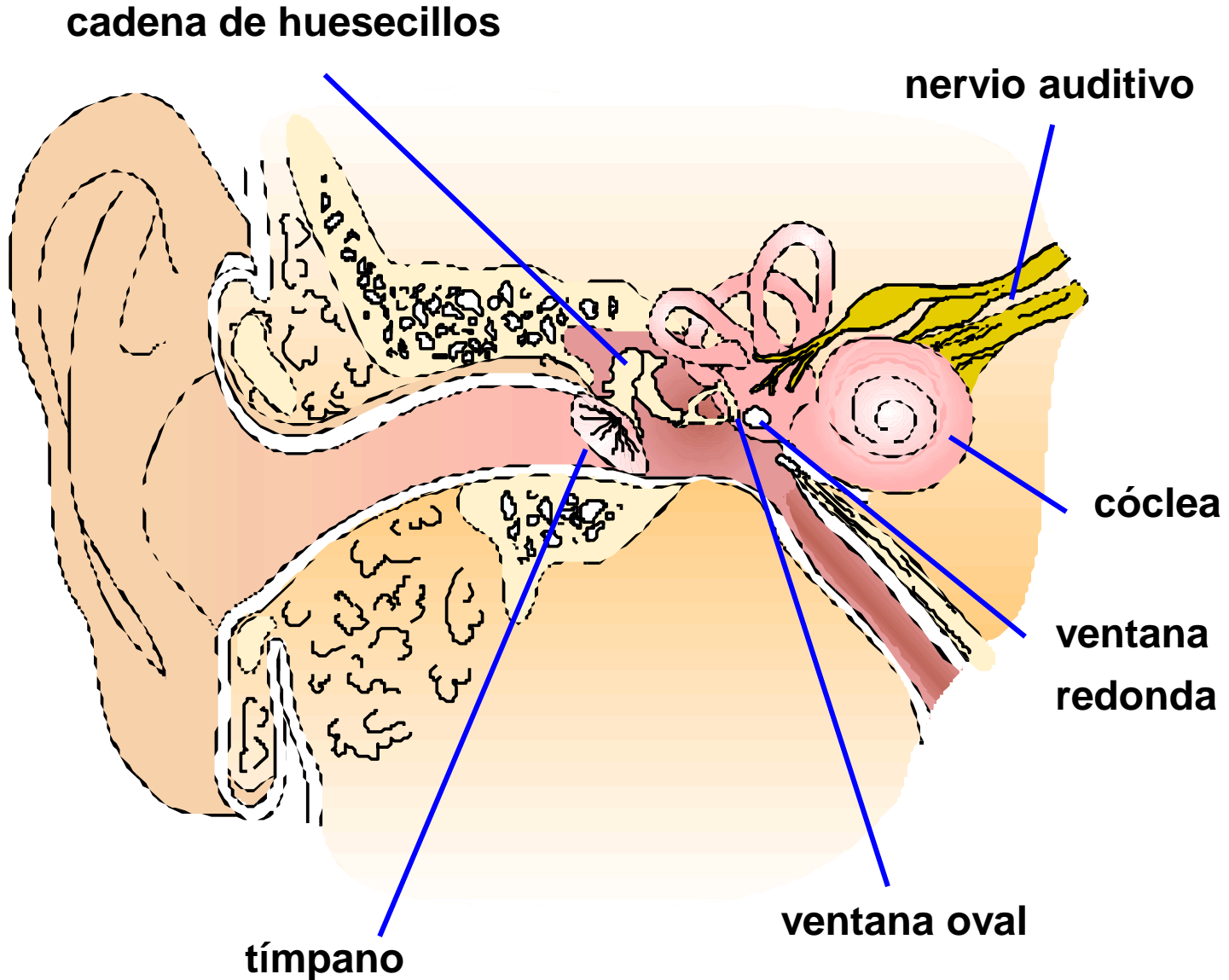


# Objetivo del taller

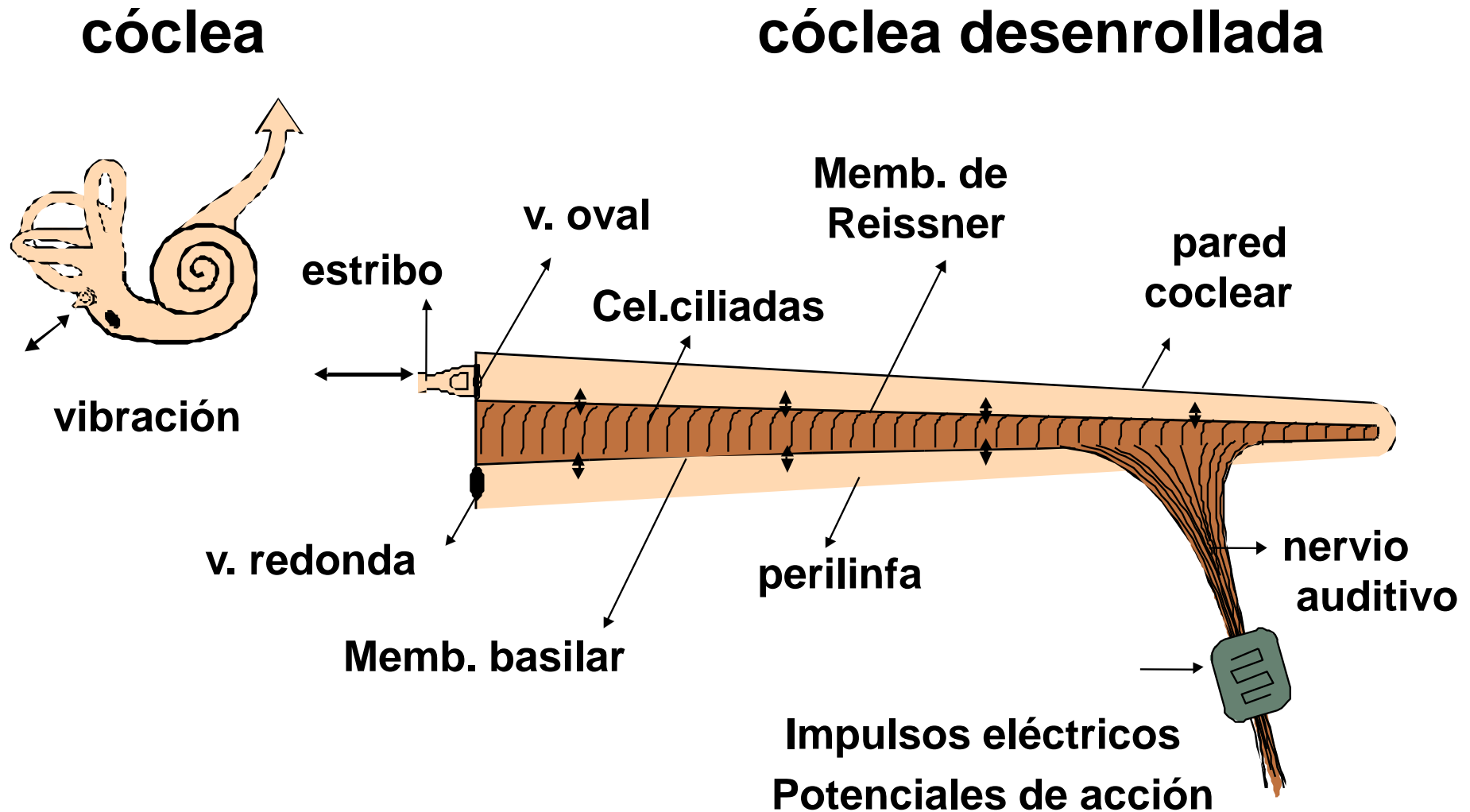
- Teoría de señal y comunicaciones
- Instrumentación, biopotenciales
- Instrumentación y procesamiento de señal asequible
- Vocación hacia ciencia y tecnología:
  - Multidisciplinaridad
  - Proyectos científicos, tecnológicos, educativos



# El oído humano

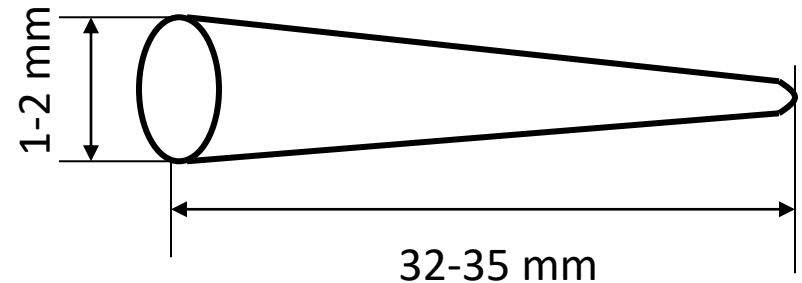
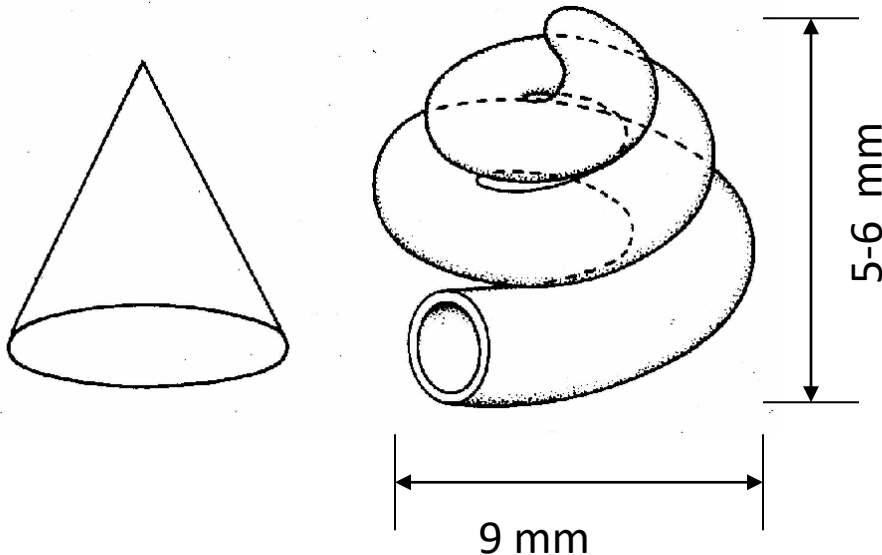
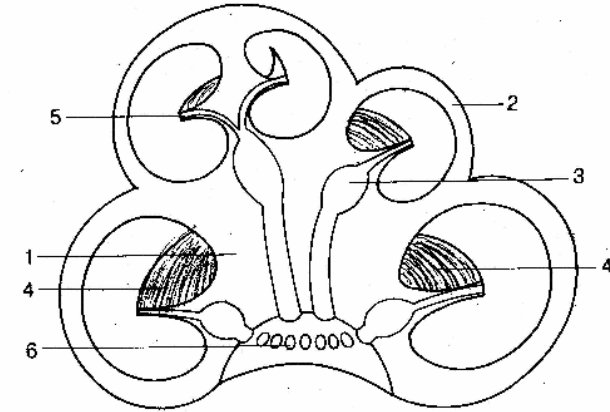


# Transducción auditiva

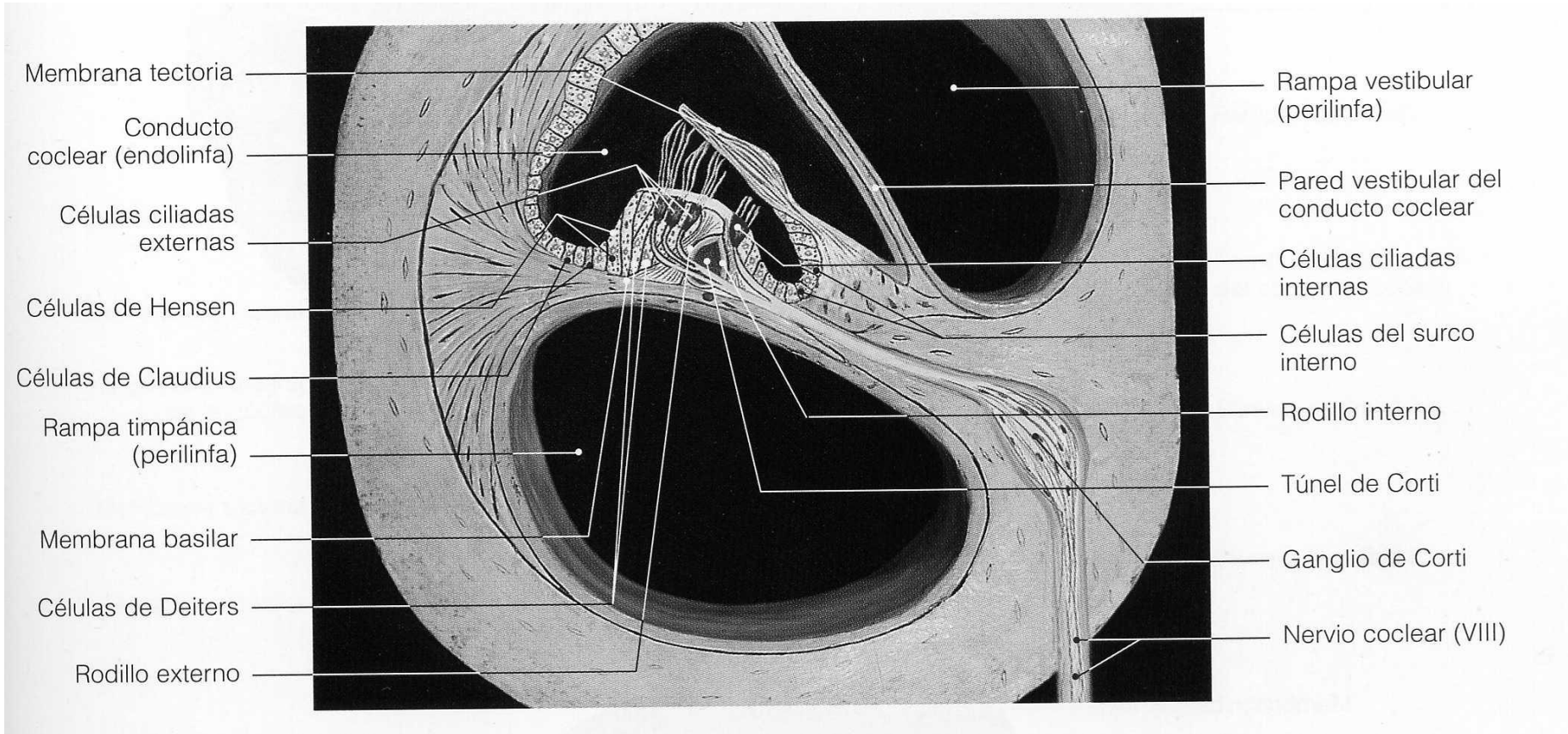


# La cóclea: parte ósea

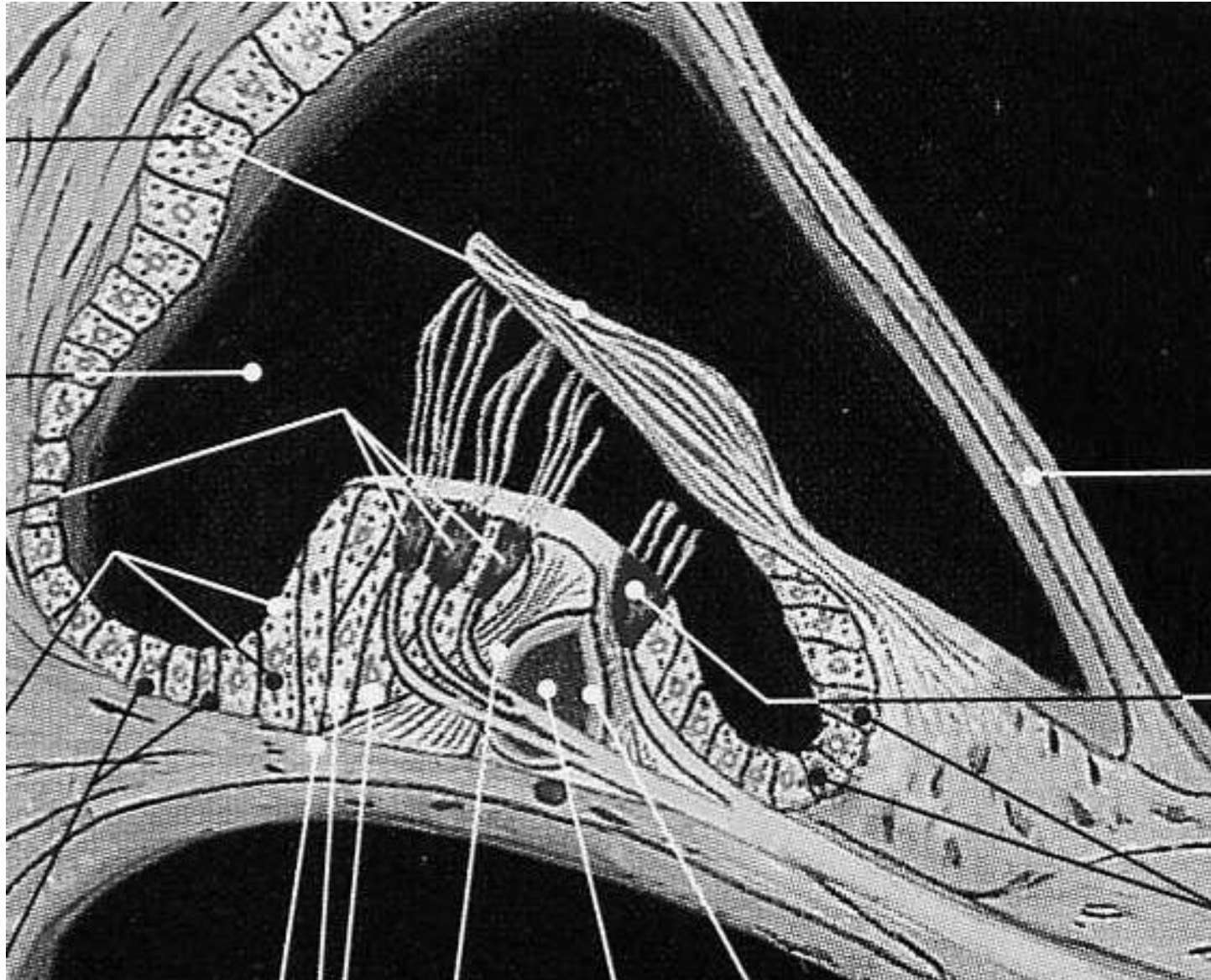
- Hueso compacto
- Formado en el 5º mes de vida embrionaria
- Tubo cónico, enrollado sobre cono que describe 2 vueltas y media



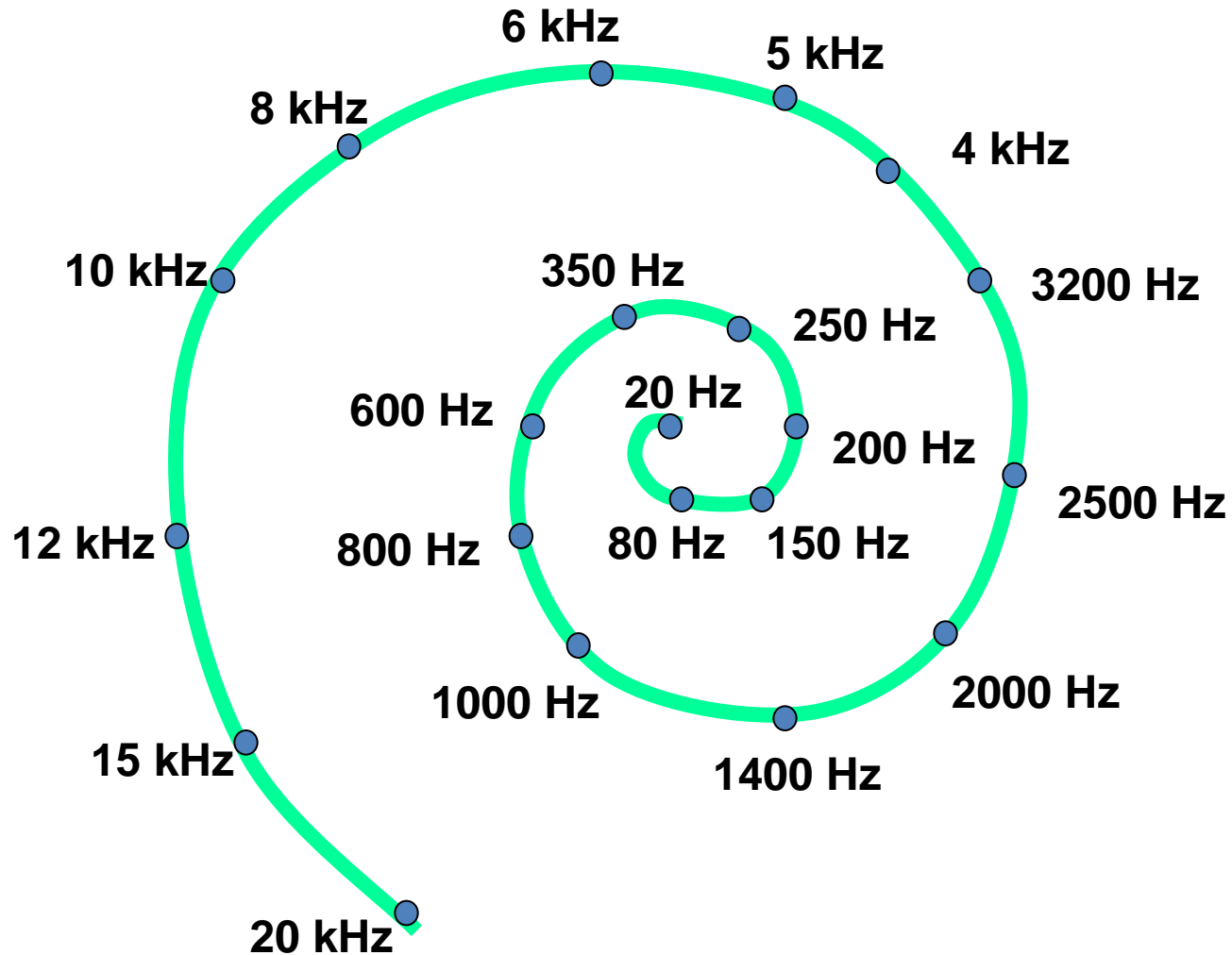
# La cóclea: parte membranosa



# La cóclea: células ciliadas

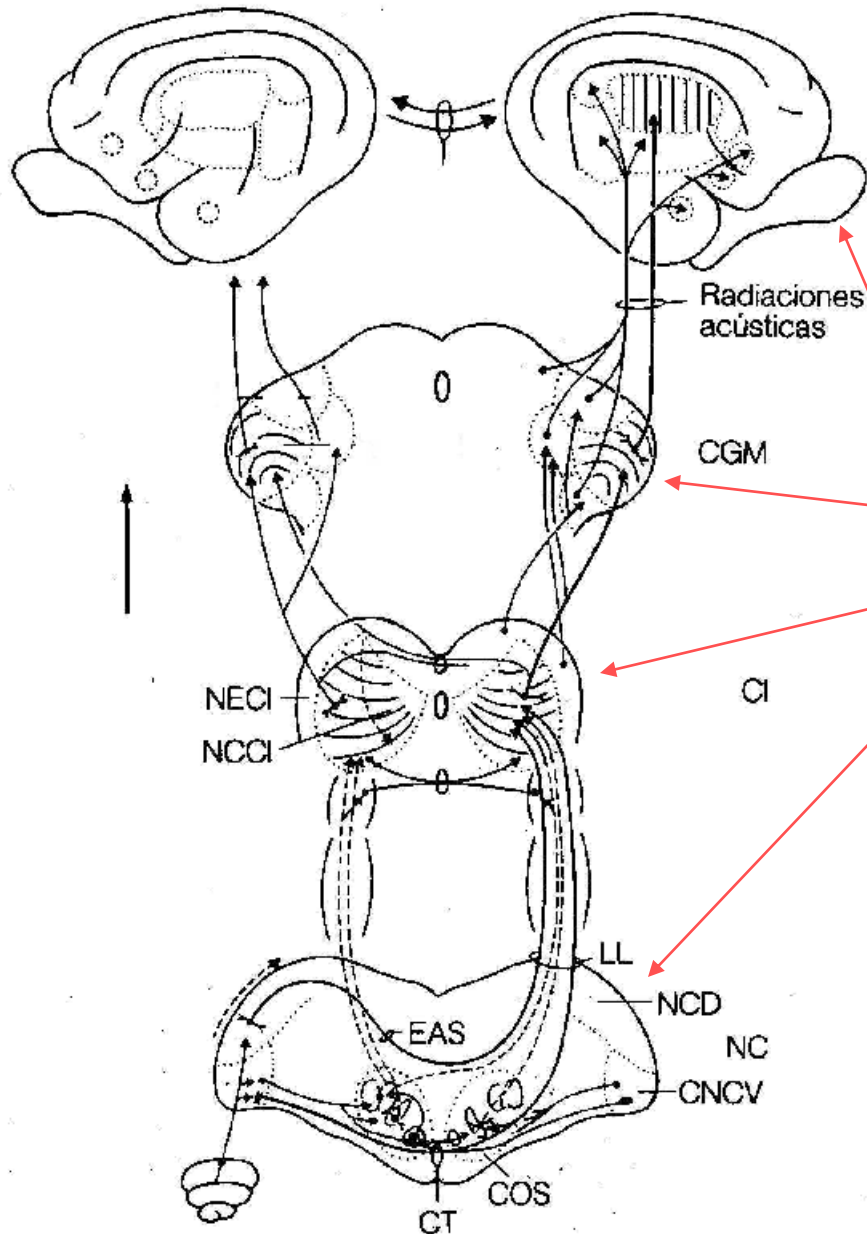


# Organización tonotópica





# Vías auditivas



- Homolateral para frecuencias bajas
- Contralateral para frecuencias altas

Corteza cerebral

Cuerpo geniculado medio

Colículo inferior

Núcleos cocleares

Función:

- Inhibición sonidos estacionarios
- Disparo sonidos nuevos
- Audición binaural

# Vías auditivas

- Nervio coclear:
  - 30.000 a 40.000 terminaciones nerviosas que hacen sinapsis con células ciliadas
- Conexión con tronco cerebral
  - Núcleos cocleares
  - Colículo inferior
  - Cuerpo geniculado medio
- Corteza cerebral

# Codificación del sonido (I)

- Frecuencia:
  - Mecanismo tonotópico
  - Patrón temporal de estimulación (sincronización disparos)
- Intensidad:
  - Tasa de disparo
  - Número de fibras activadas
- Evolución temporal de intensidad y freq.:
  - Ataque – caída de sonidos: sincronización
  - Sonidos estacionarios: no se percibe la fase

# Codificación del sonido (II)

- Mecanismos activos de audición:
  - Reflejo estapedial
  - Sintonización frecuencial:
    - Involucra vías eferentes y células ciliadas externas
    - Papel clave en la percepción en entornos ruidosos
    - Papel clave en la atención en varias fuentes sonoras
    - Entrenamiento auditivo
  - Inhibición de respuestas estacionarias:
    - Papel clave en la percepción en condiciones de ruido
  - Detección de desfase entre respuesta bilaterales
    - Papel clave en la percepción binaural

# Problemas audición

- Pérdida auditiva
  - Transmisión, neurosensorial, retrococlear (dB)
- Pérdida de inteligibilidad (en ruido)
  - Fallos en sintonización, sincronización, representación intensidad, binauralidad (inhibición contralateral), etc.
- Acúfenos

## Consecuencias:

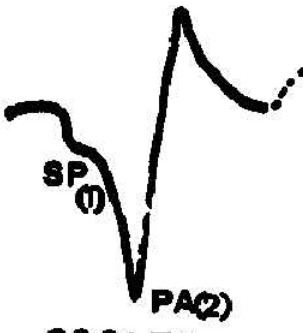
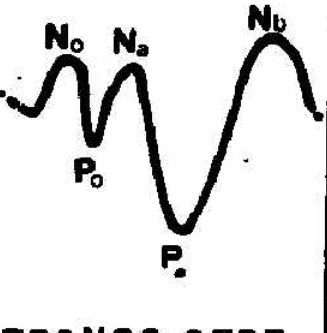
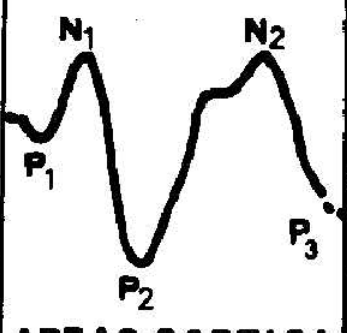

- Desarrollo lingüístico, educativo, social
- Competencia lingüística, educativa, social

# Exploraciones audiológicas

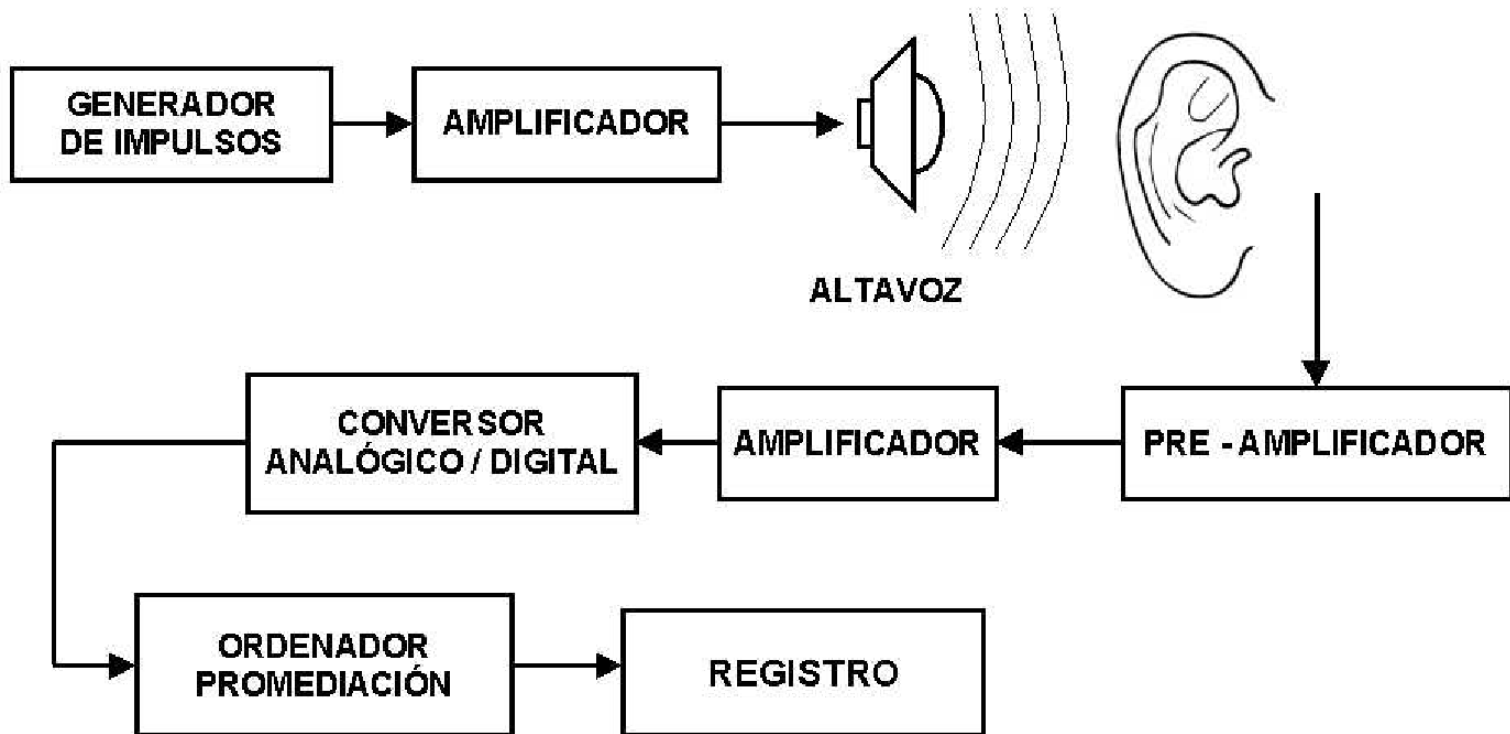
- Otoscopia
- Valoraciones subjetivas
  - Audiometría tonal
  - Logo-audiometría (con o sin ruido)
- Valoraciones objetivas
  - Timpanometría / impedanciometría
  - Test de reflejo estapedial
  - Otoemisiones acústicas
  - Potenciales evocados auditivos (biopotenciales)



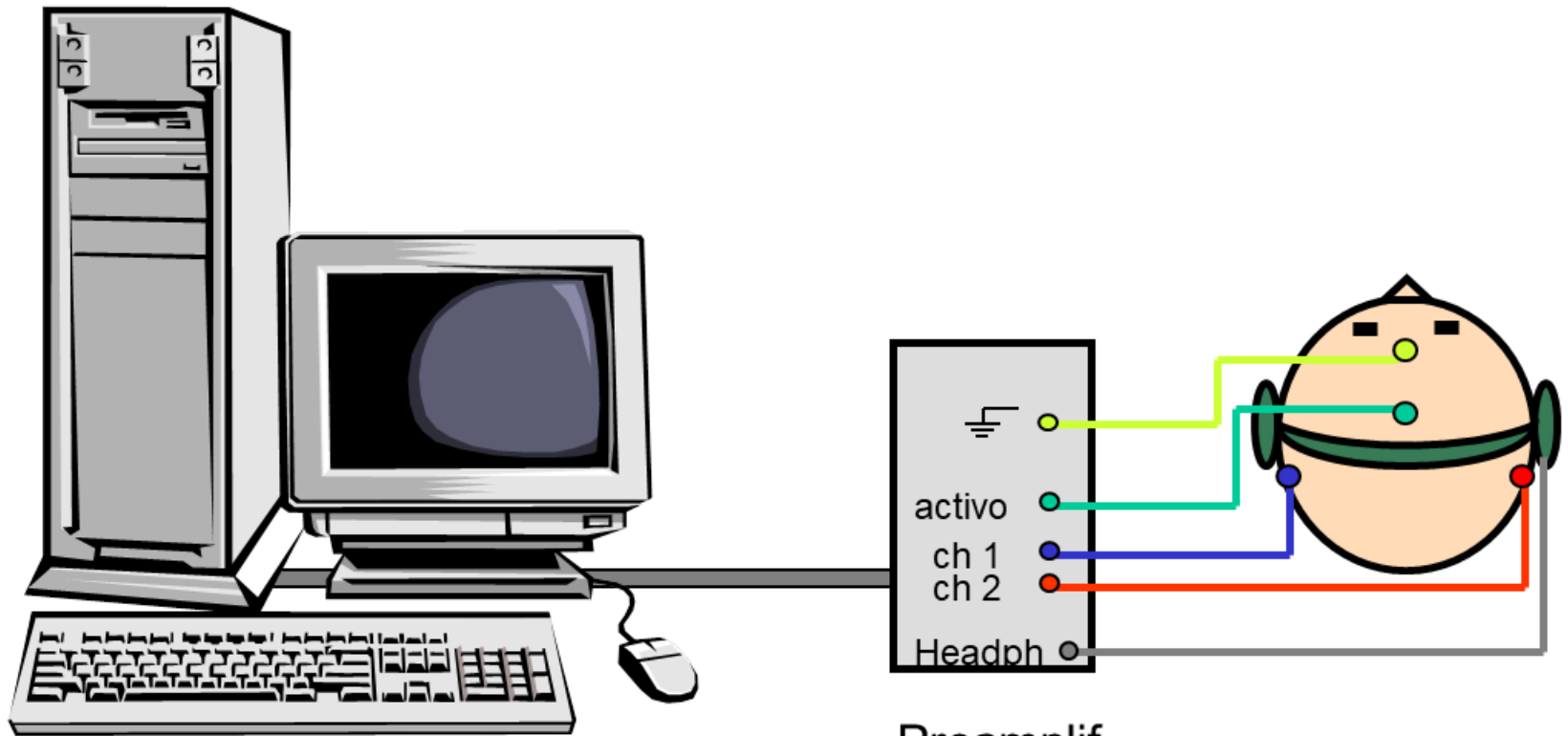
# Potenciales evocados auditivos (AEPs)

LATENCIA CORTA		LATENCIA MEDIA	LATENCIA LARGA	LATENCIA ULTRALARGA
HASTA	0 - 15 MSEG	15 - 80 MSEG	80 - 300 MSEG	300 - 750 MSEG
 <p>SP(1) PA(2) COCLEA</p>		 <p>N<sub>0</sub> N<sub>a</sub> N<sub>b</sub> P<sub>0</sub> P<sub>1</sub> TRONCO CEREBRAL-CORTEZA?</p>	 <p>N<sub>1</sub> N<sub>2</sub> P<sub>1</sub> P<sub>2</sub> P<sub>3</sub> AREAS CORTICALES PRIMARIAS</p>	 <p>CVN(3) AREAS CORTICALES SECUNDARIAS CENTROS DE ASOC.</p>
RCP(4)	REGISTRO EN CAMPO	LEJANO		

# Registro AEPs



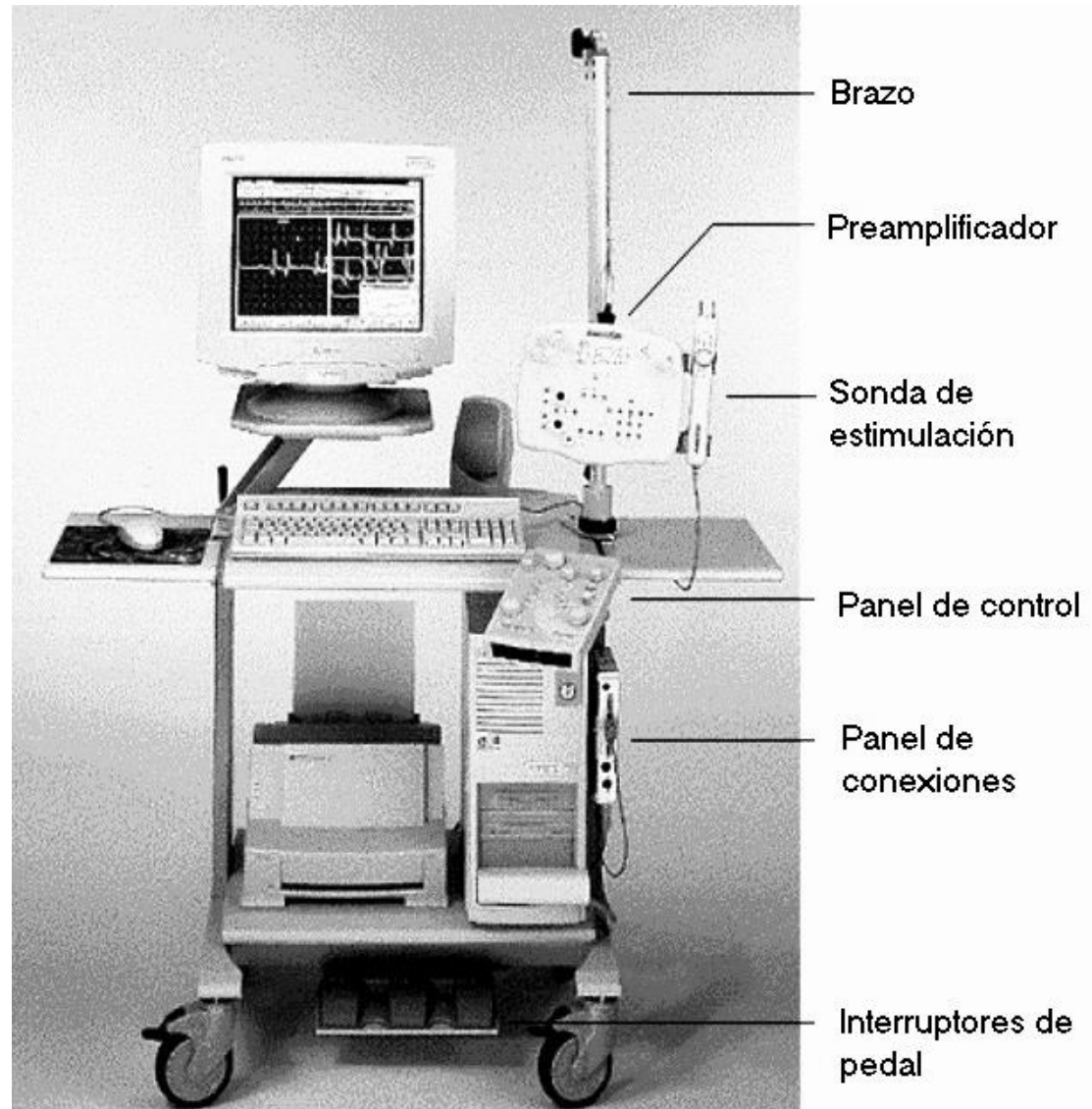
# Registro AEPs



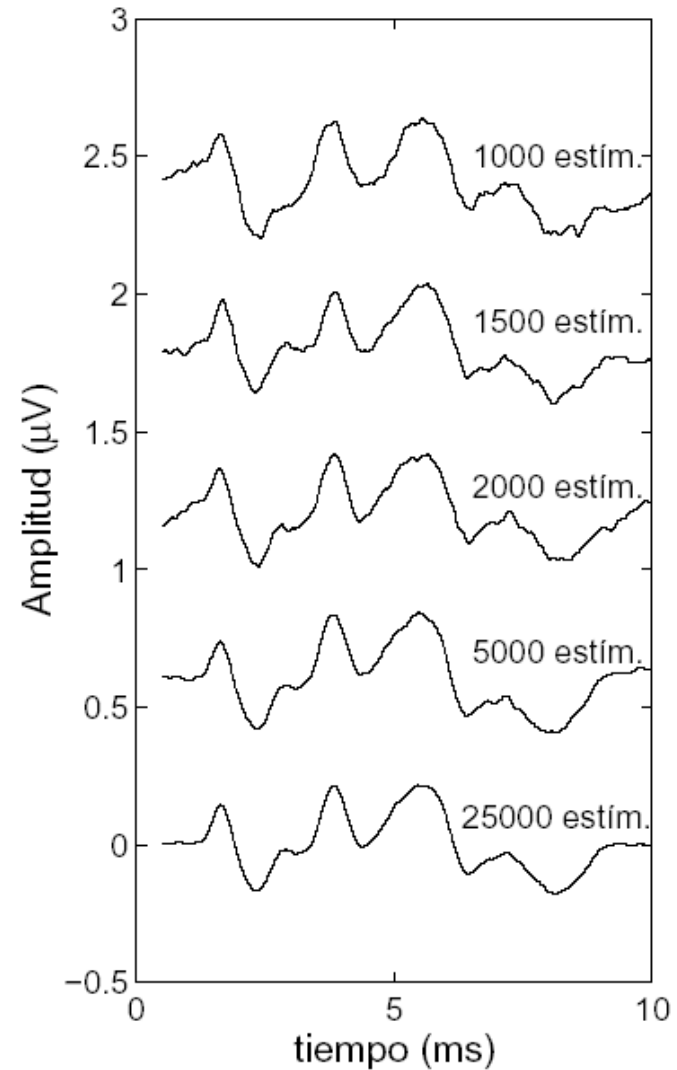
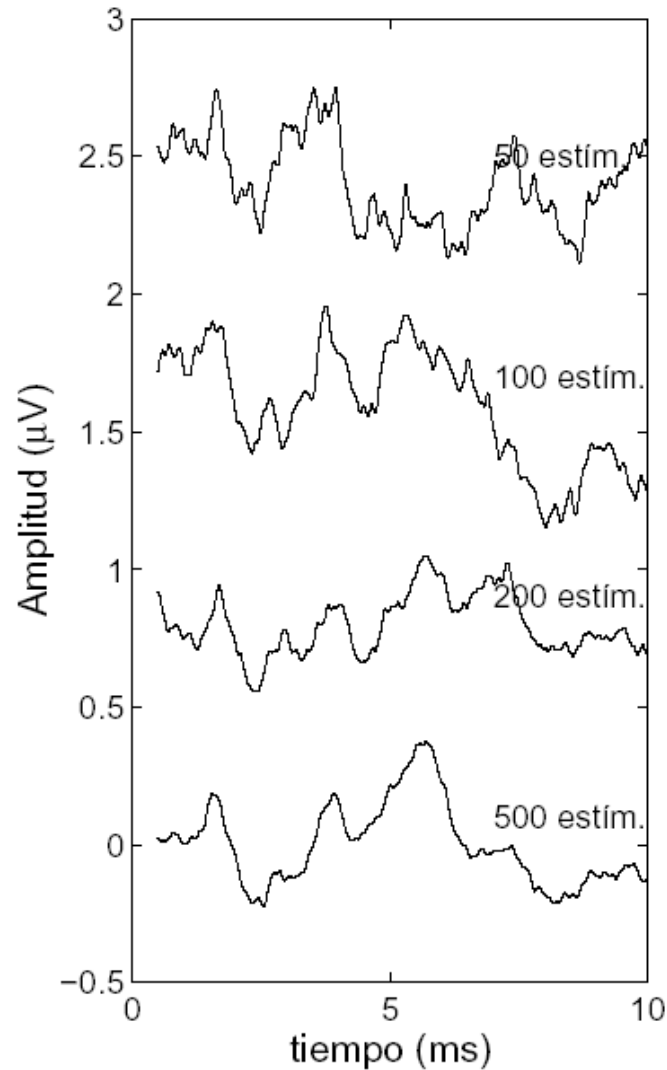
Ordenador para  
registro de potenciales

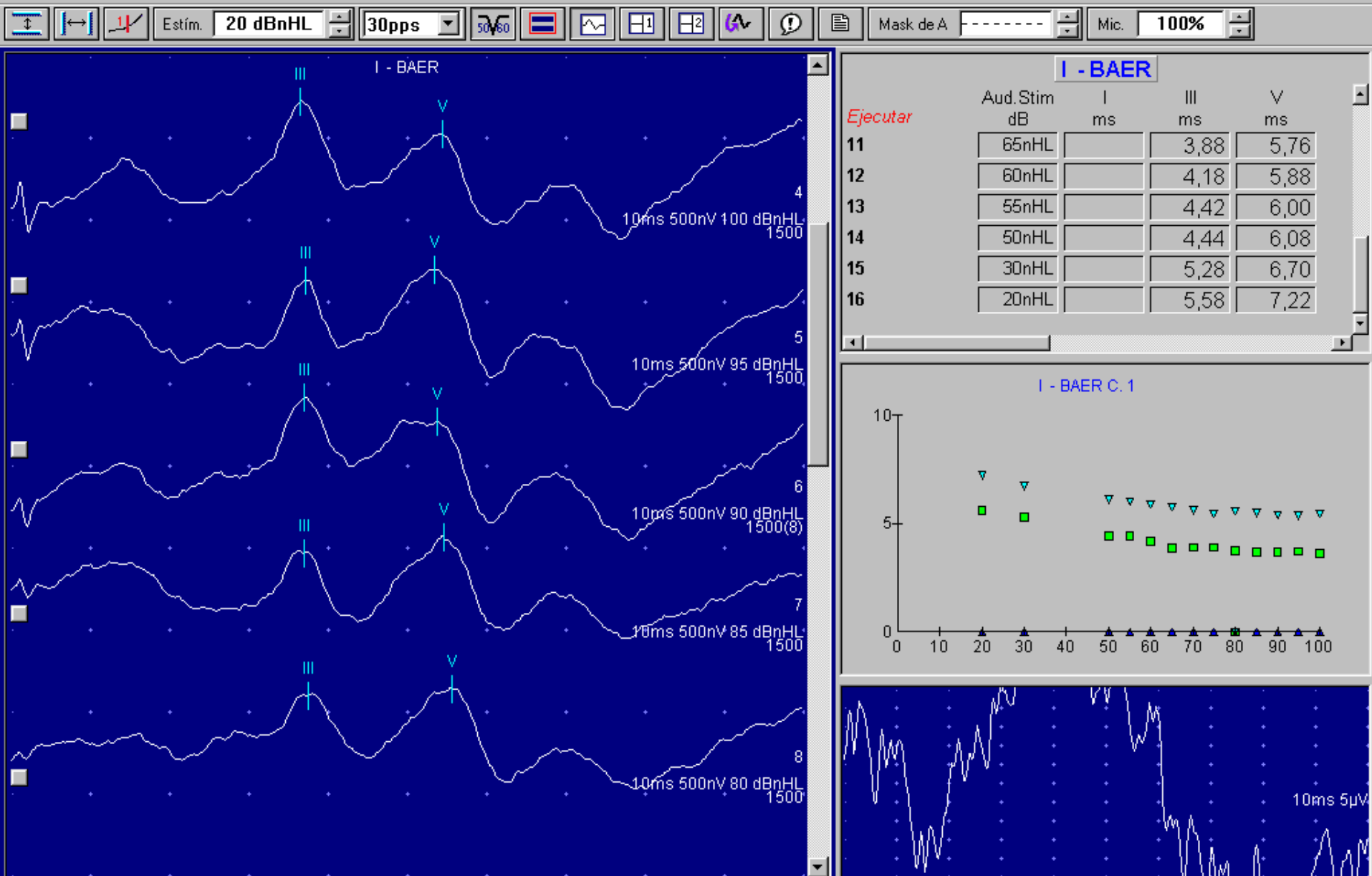
Preamplif.

# Equipo para registro AEPs



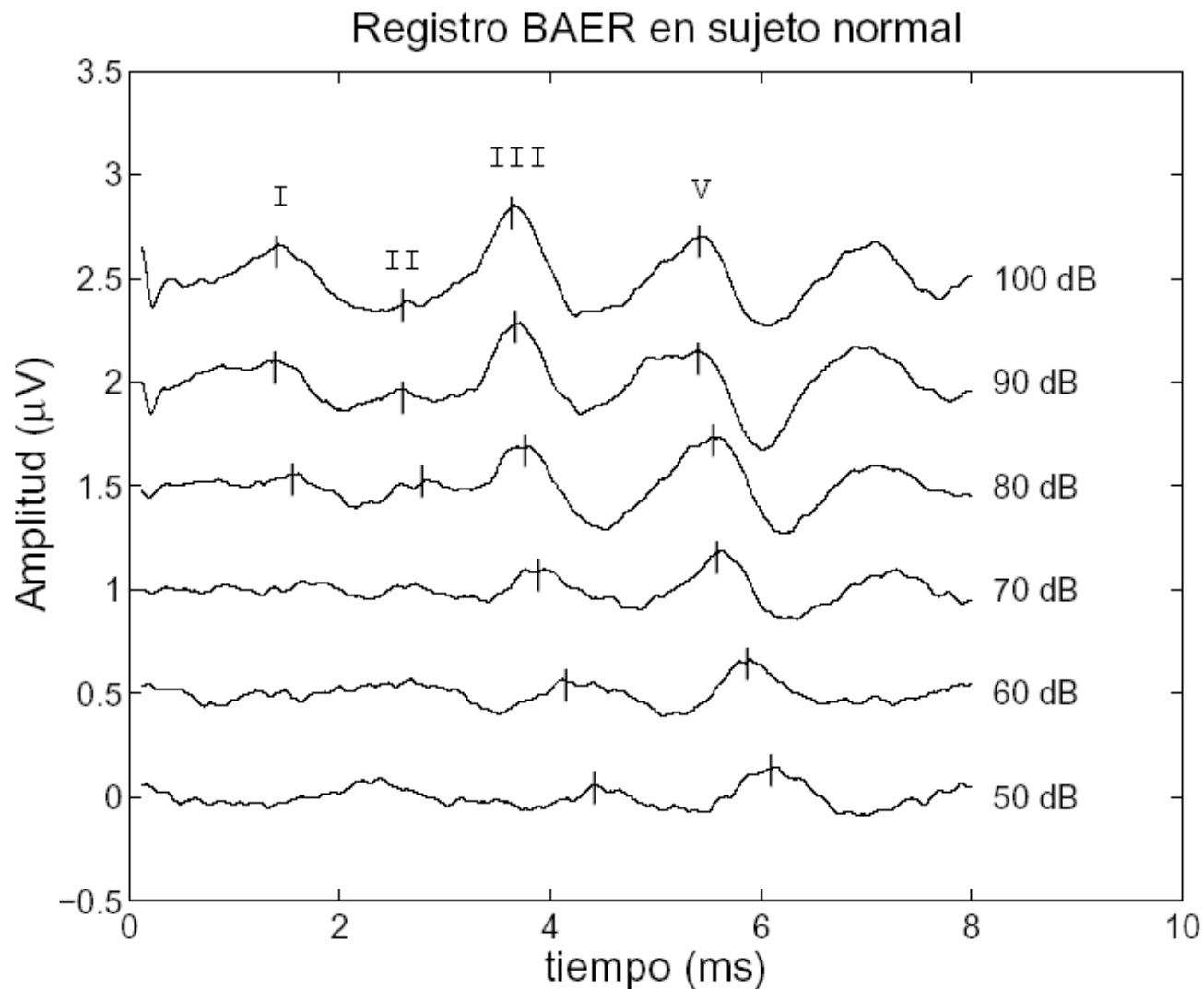
# Amplitud y ruido (SNR): Promediación







# Análisis: amplitud y latencia



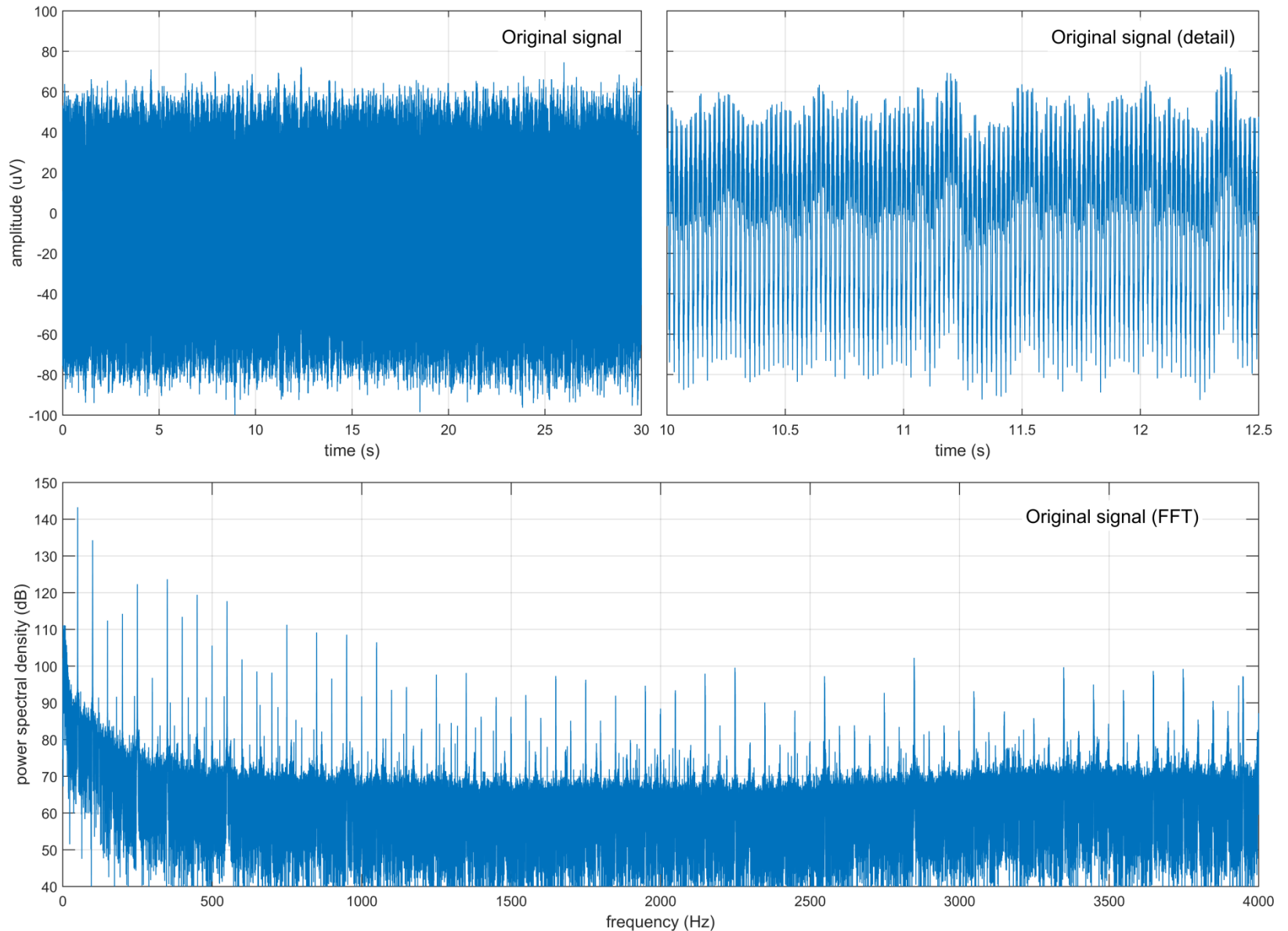
# Nuestra aproximación

- Equipo económico: componentes comerciales
- Experimentos en contexto educativo / divulgativo / científico (no clínico)
- 3 electrodos (activo/referencia/tierra)
- Preamplificador
- Auriculares
- Conversor AD/DA (interfaz de audio)
- Procesamiento de señal (ruido PLI, análisis...)

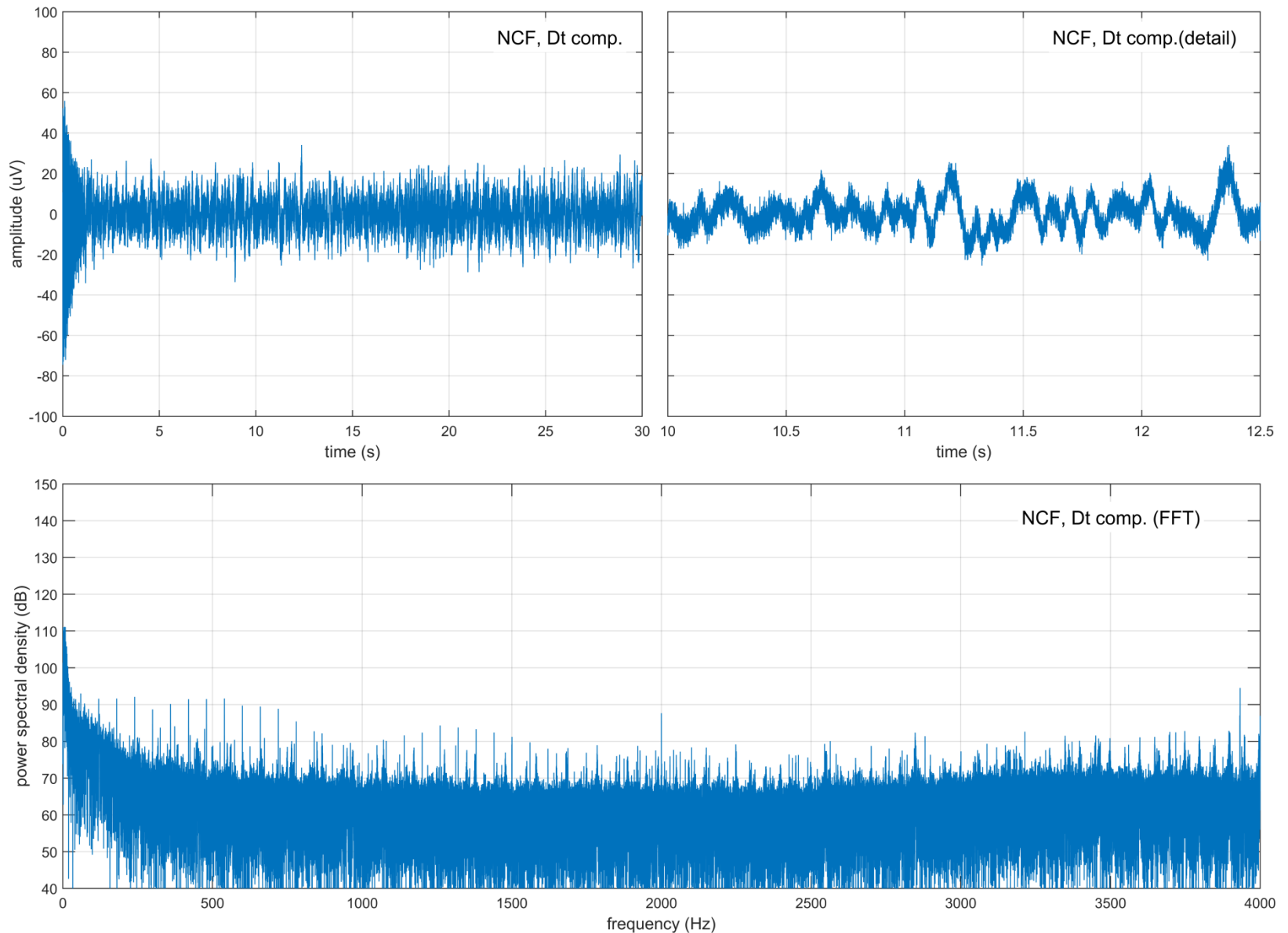
# Equipo registro



# Ruido red eléctrica (PLI)



# Ruido red eléctrica (PLI)



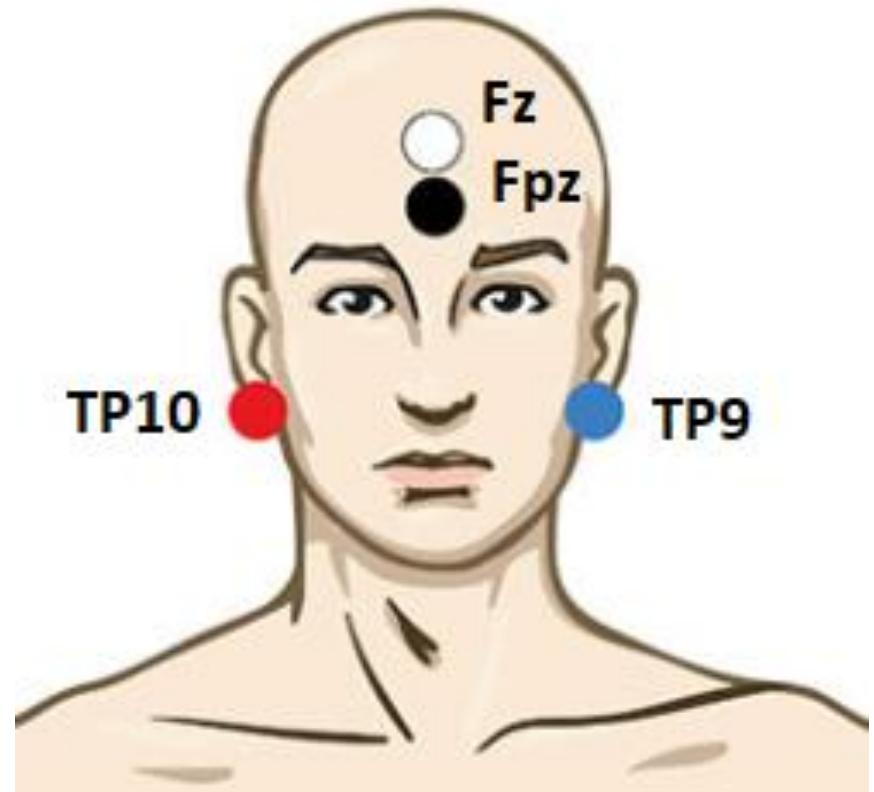
# Taller de AEPs

- Objetivos (educativo, divulgativo)
  - Observación ondas ABR / MLR
  - Estímulo sencillo (clicks)
  - Variaciones con intensidad
  - Actividad miogénica
- Experimentación con humanos
  - Información + consentimiento informado
- Carece de valor diagnóstico



# Colocación electrodos

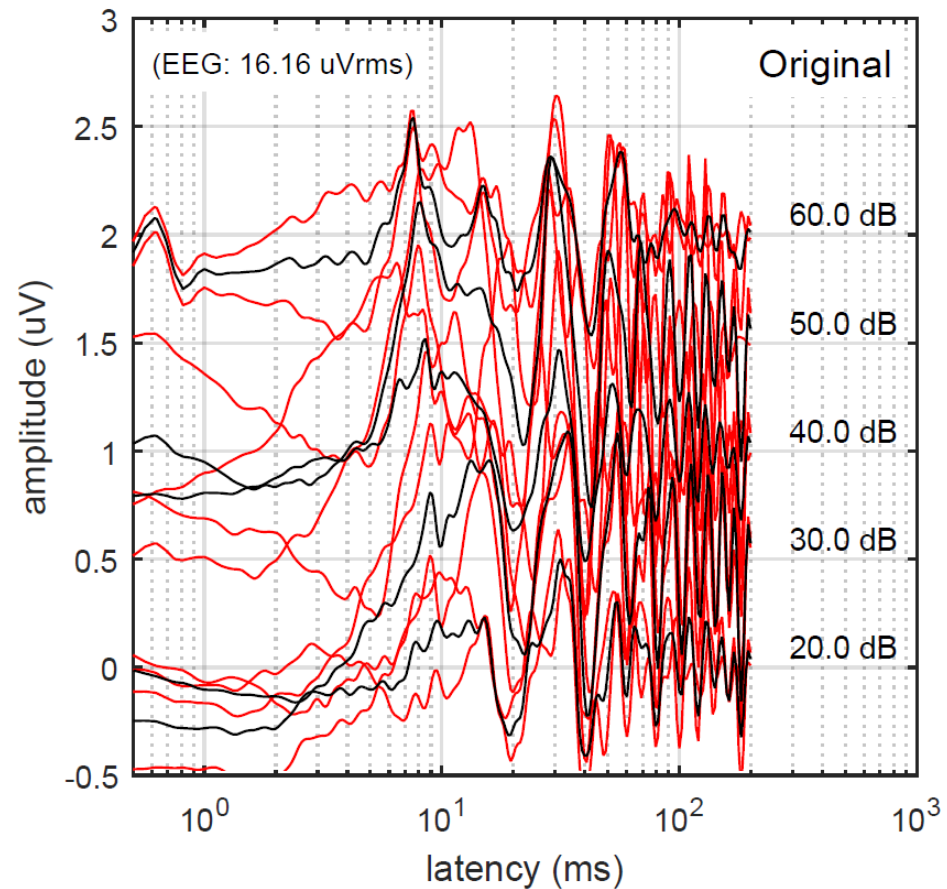
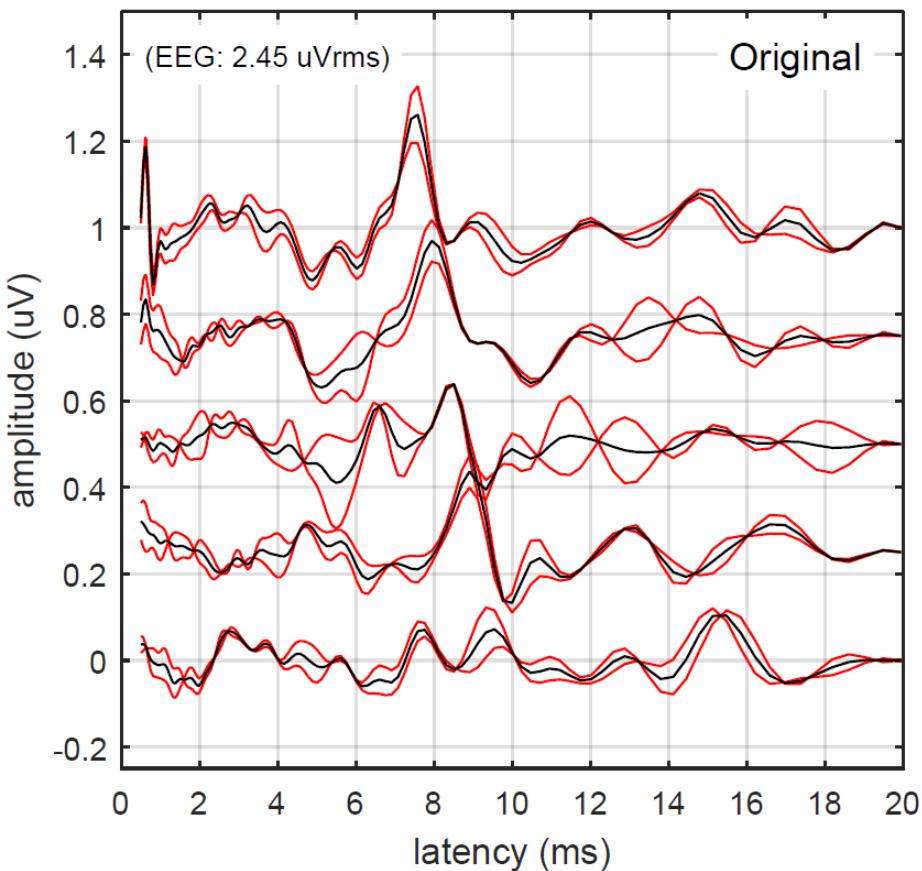
- Electrodo
  - Autoadhesivos
  - Desechables
  - Gel conductor
- Limpieza previa
  - Alcohol
- Posiciones
  - RA (-)
  - LL (+)
  - LA (GND)
- Indoloro (medida)
- Estímulos (clicks)



# Procedimiento de medida

- Registro de EEG durante un intervalo de tiempo
- Reducción PLI
- Promediación síncrona (deconvolución)
- Presentación por pantalla
- Procesado por segmentos

# Ejemplo respuesta sin quitar PLI



# Ejemplo respuesta sin quitar PLI

