



UNIVERSIDAD
DE GRANADA



Taller de biopotenciales Adquisición y procesado 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)

Proyecto PID2020-119073GB-I00

financiado por MCIN/ AEI /10.13039/501100011033



Proyecto P21.00152



UNIVERSIDAD
DE GRANADA

Biopotenciales

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

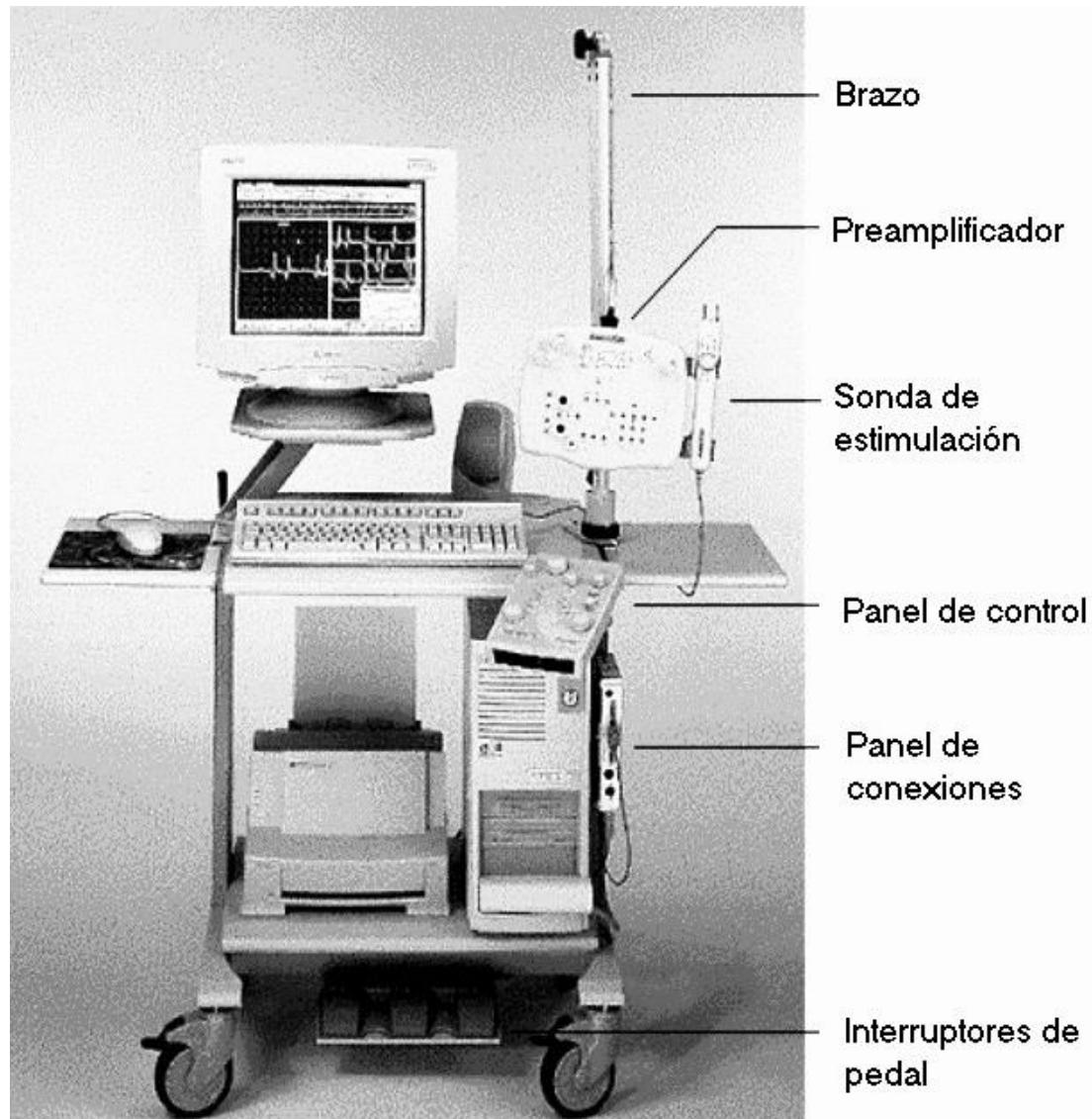
Dificultades

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

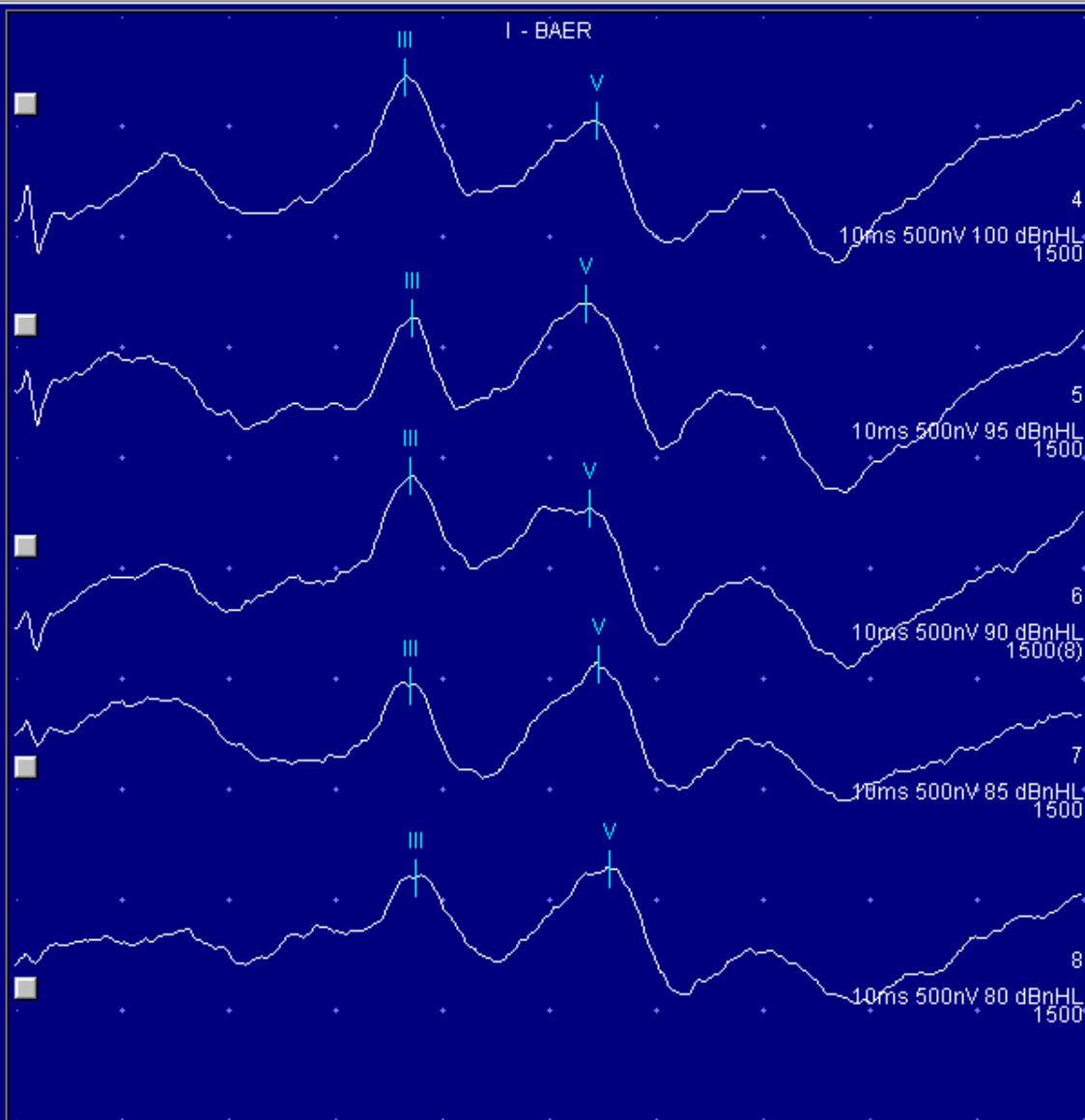
Nuestra experiencia

- 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



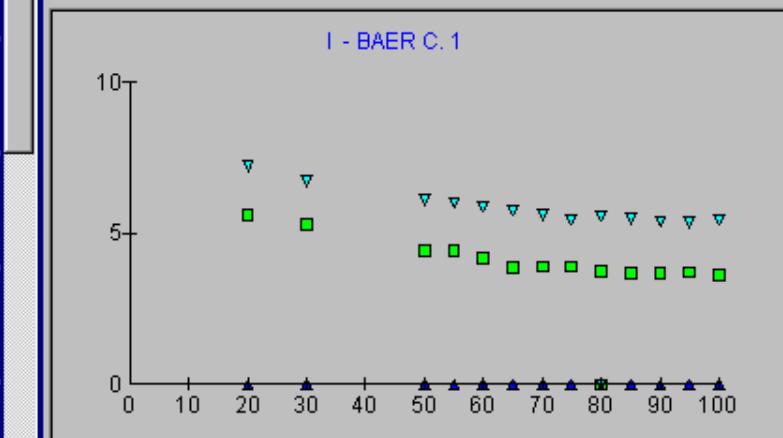
Estím. 20 dBnHL 30pps 50/60 F1 F2 F3 F4 F5 F6 F7 F8 F9 F10
 Mic. 100% Mask de A



I - BAER

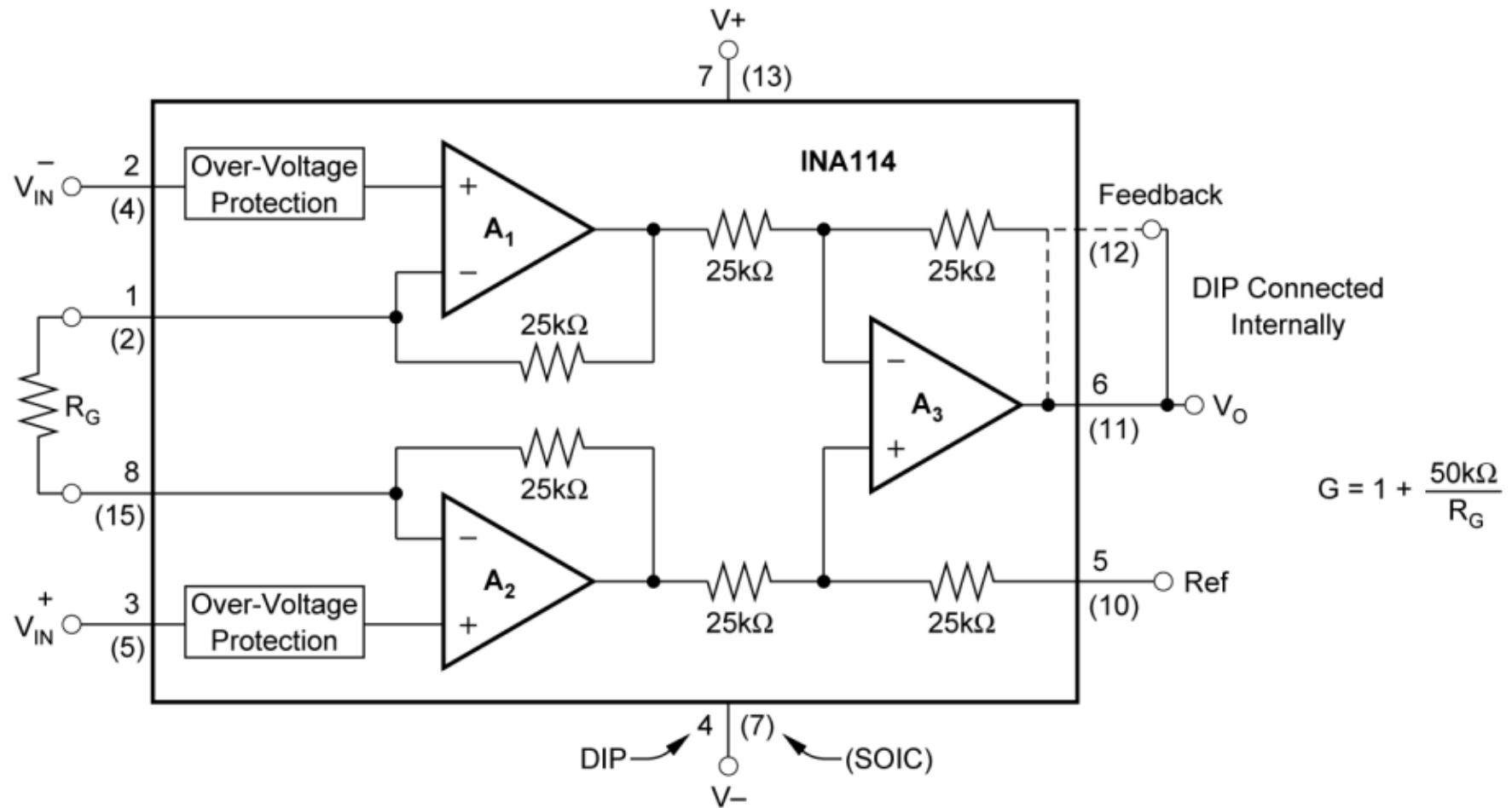
Ejecutar

	Aud.Stim	I ms	III ms	V ms
11	65nHL		3,88	5,76
12	60nHL		4,18	5,88
13	55nHL		4,42	6,00
14	50nHL		4,44	6,08
15	30nHL		5,28	6,70
16	20nHL		5,58	7,22



F1 Siguiente F2 Menú del test F3 Siguiente lado F4 Setup Adq F5 Impedancia F6 Setup de estím F7 Resultados F8 Autocomp. F9 S. Imponer F10 Imprimir

INA 114 (esquema del IC)



INA 114 (DRL circuit, CM)

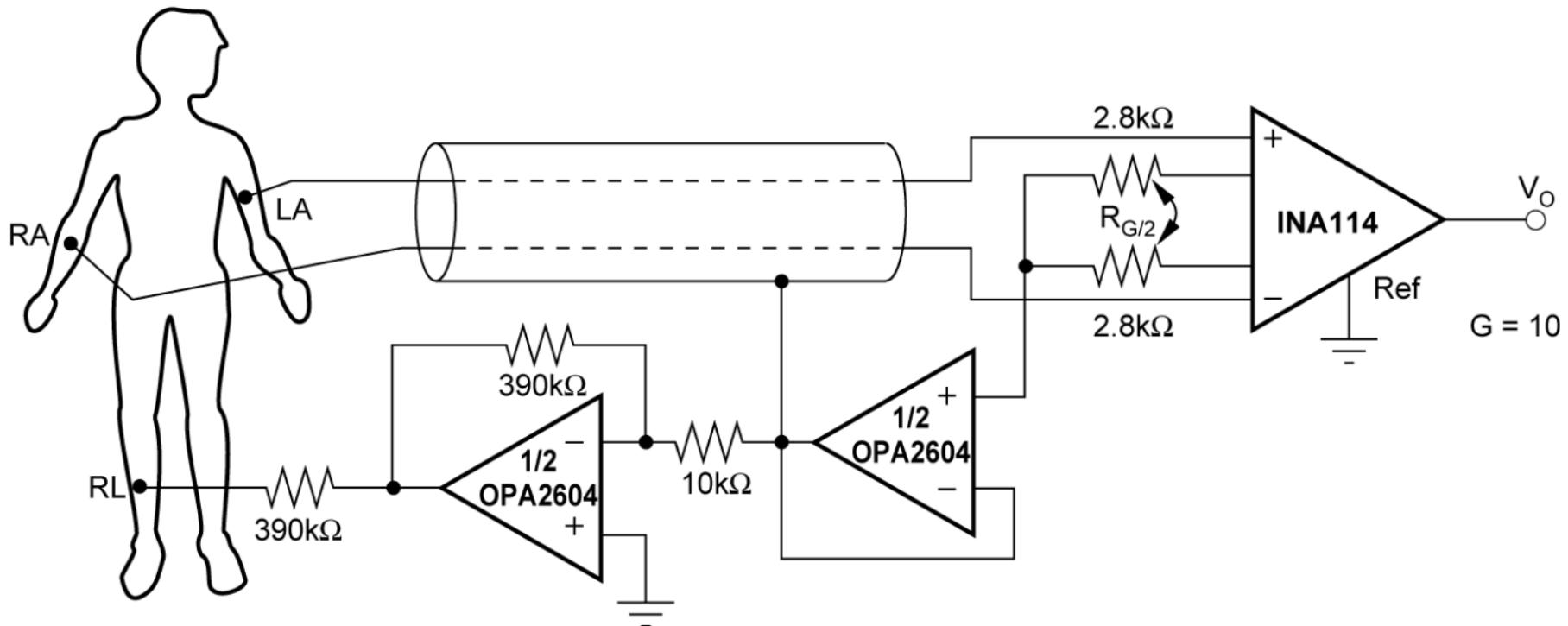
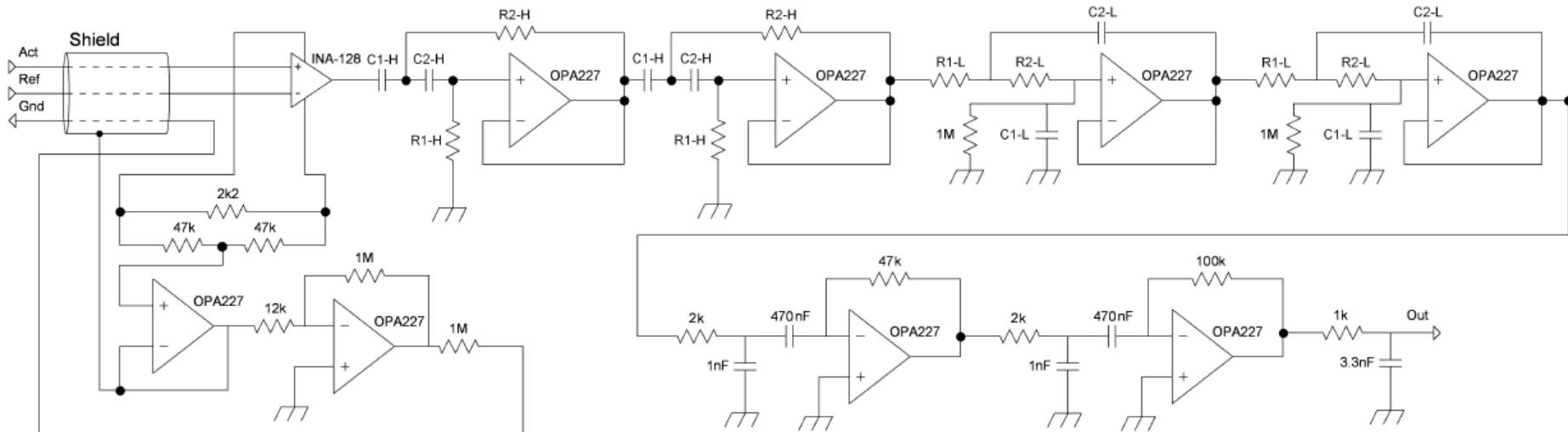
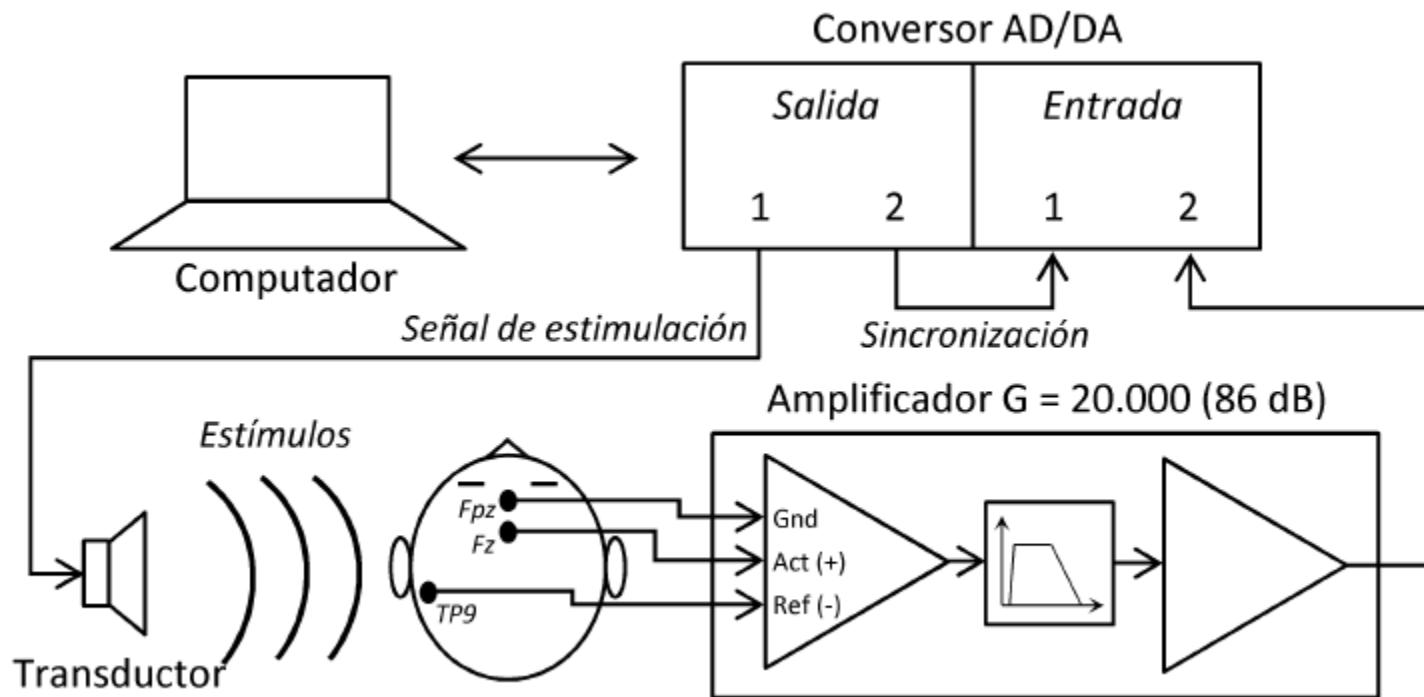


Figure 7-4. ECG Amplifier with Right-Leg Drive

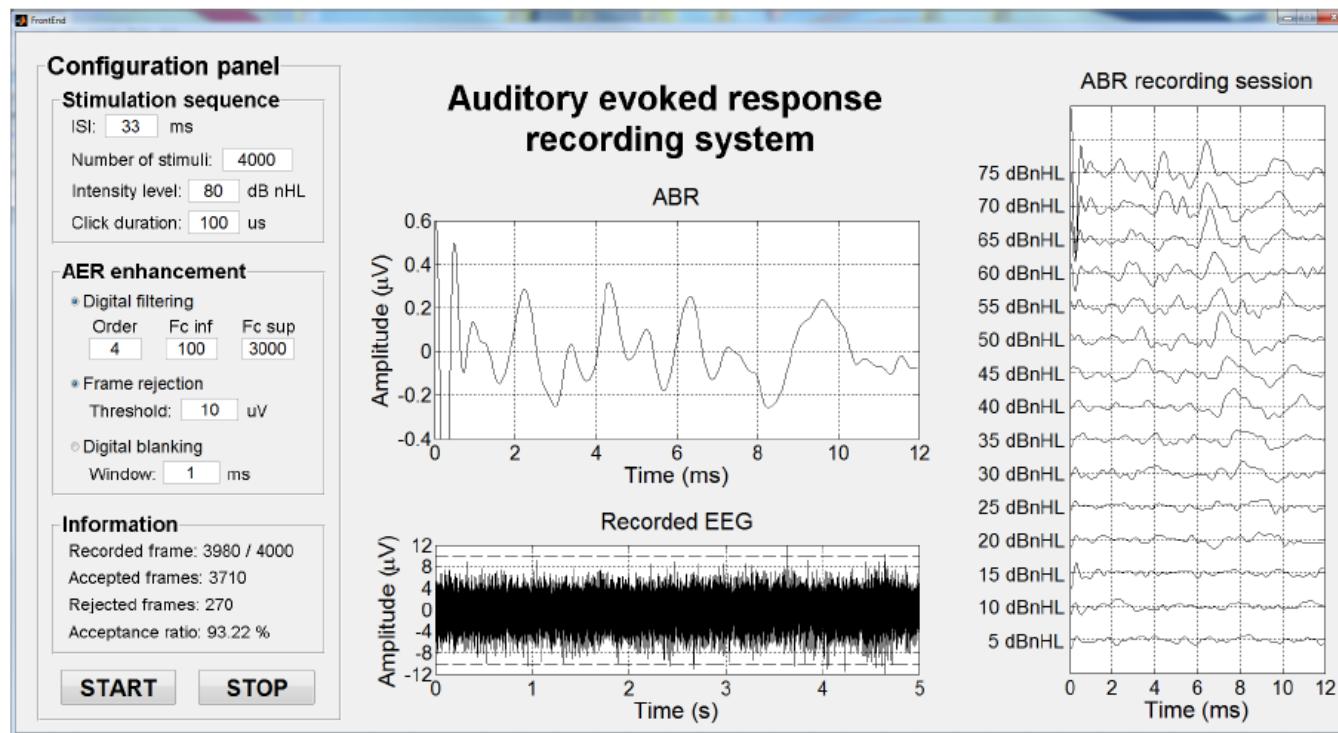
Preamplificador (INA 128)



Sistema de registro desarrollado



Sistema de registro desarrollado



Dificultades

- Ruido PLI (modo común)
 - Red eléctrica 50 Hz (60 Hz)
 - Origen:
 - Búcles 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

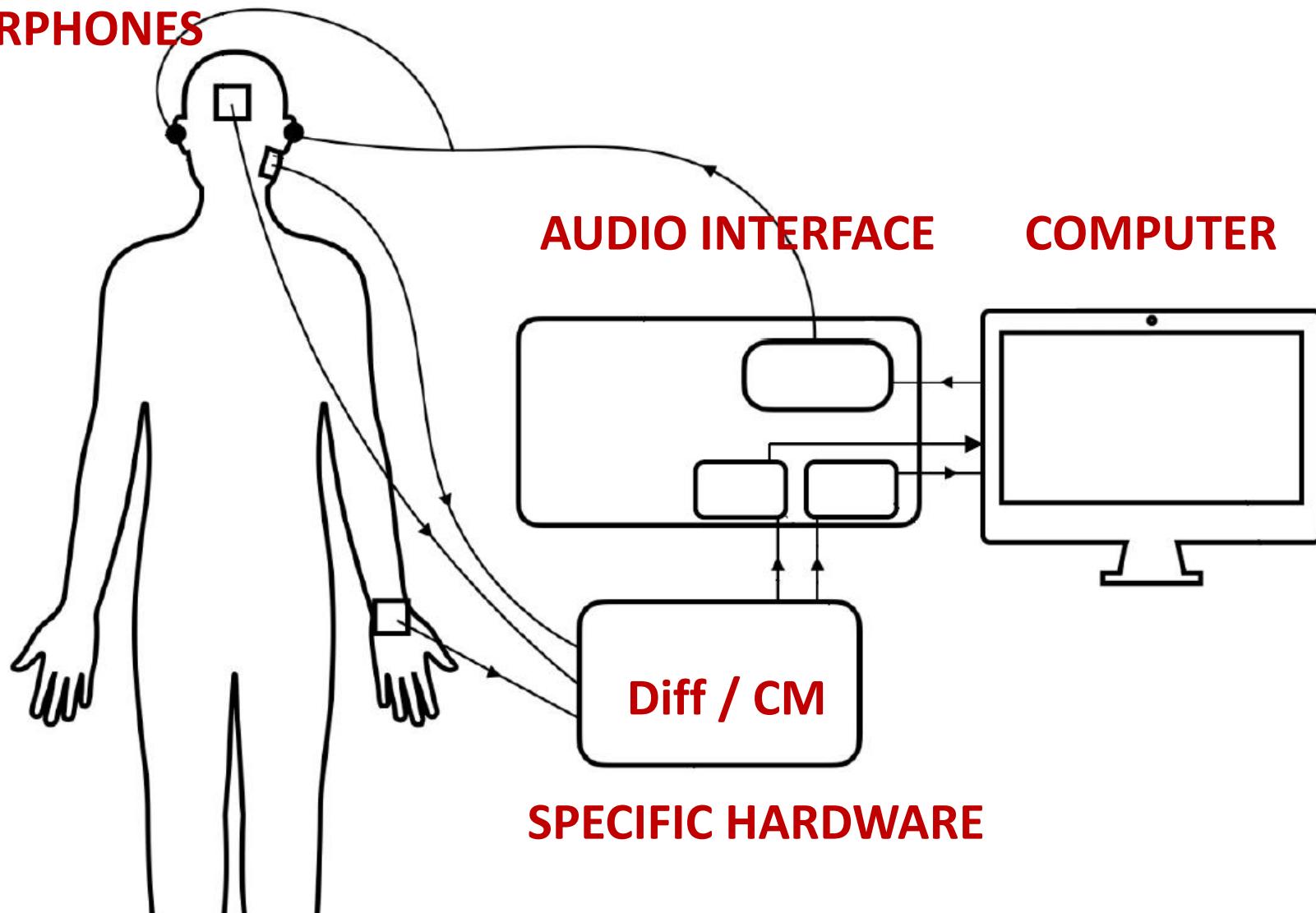
- Biosemi: 2018
 - Electrodos autoamplificados
 - Solo investigación
- Equipos comerciales (uso clínico / investig.):
 - Intelligent Hearing Systems (Duet): 2023
 - Interacoustics
 - GSI audera...

Cambio de paradigma

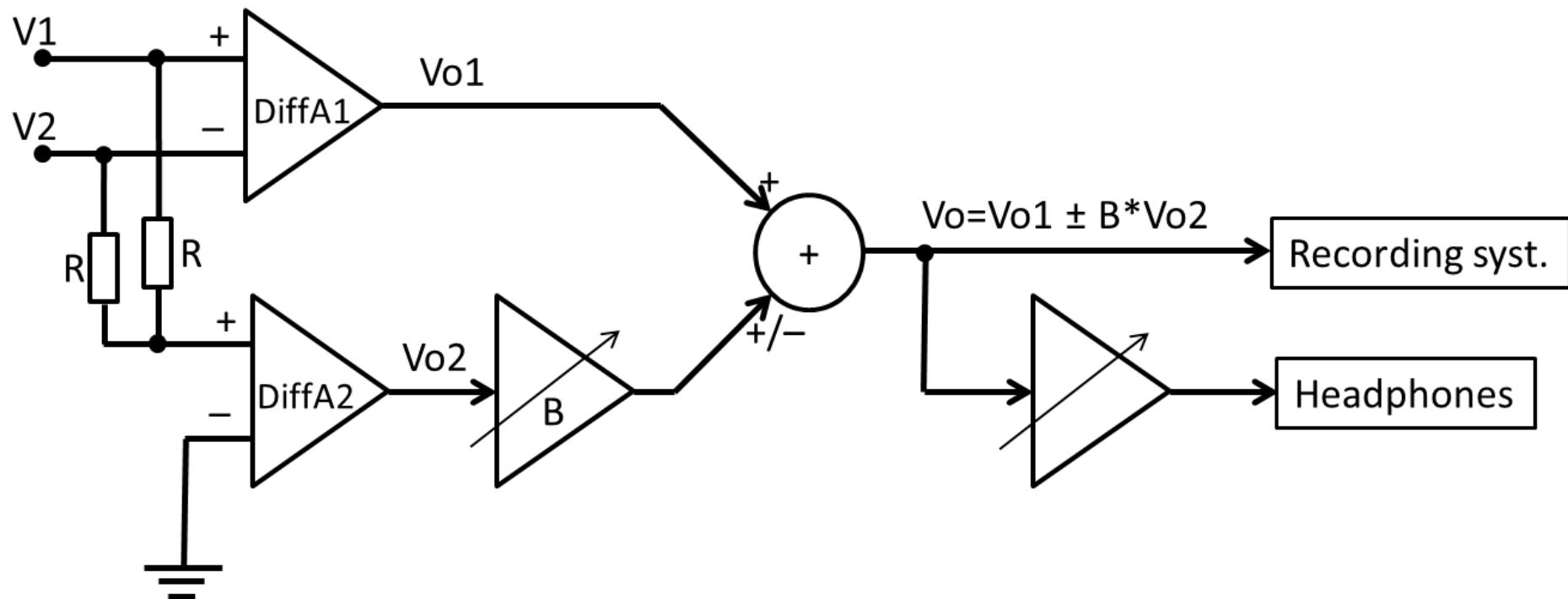
- Dic-2022: Estudio de componentes de electrónica de consumo (audio)
- Preamplificadores para micrófono
 - Ancho de banda, distorsión, margen dinámico
 - Ruido equivalente a entrada
- Interfaces de audio
 - Sincronización, preamplificadores,
 - Conversión AD/DA, entrada/salida

The AEP recording system

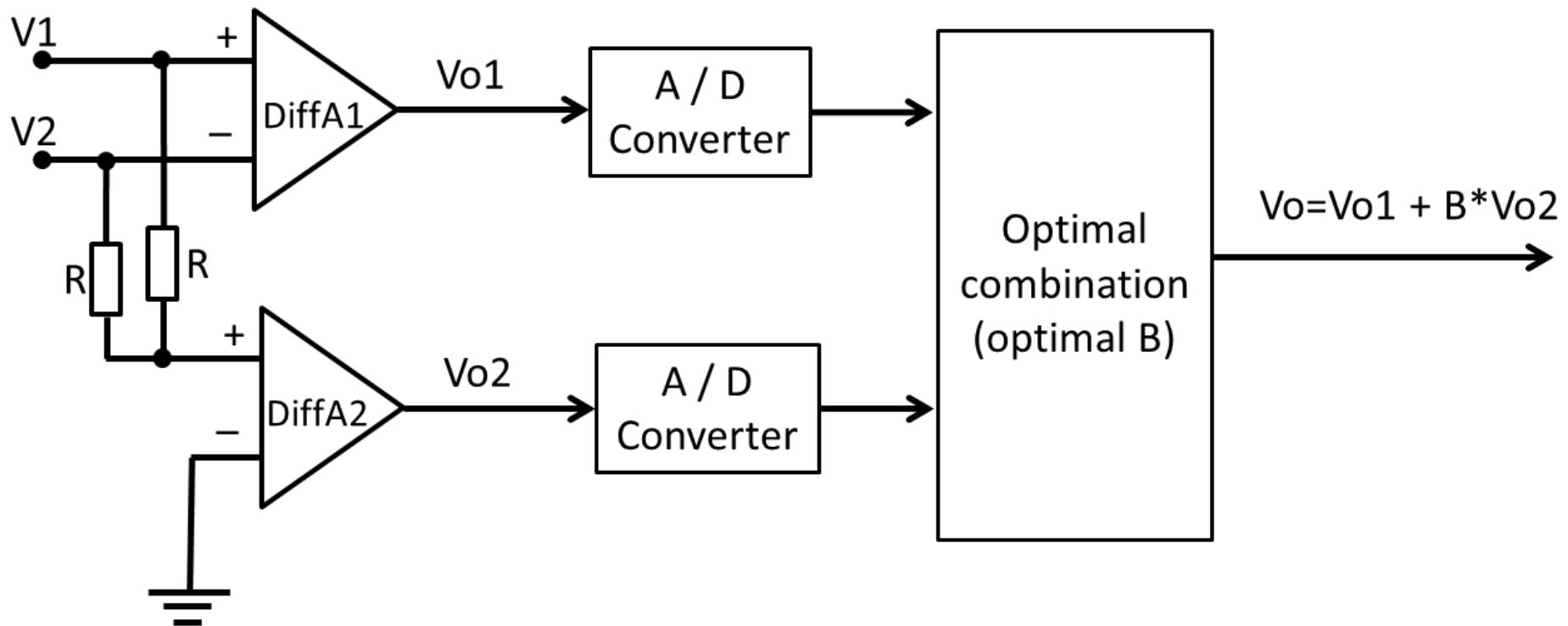
ELECTRODES
AND
EARPHONES



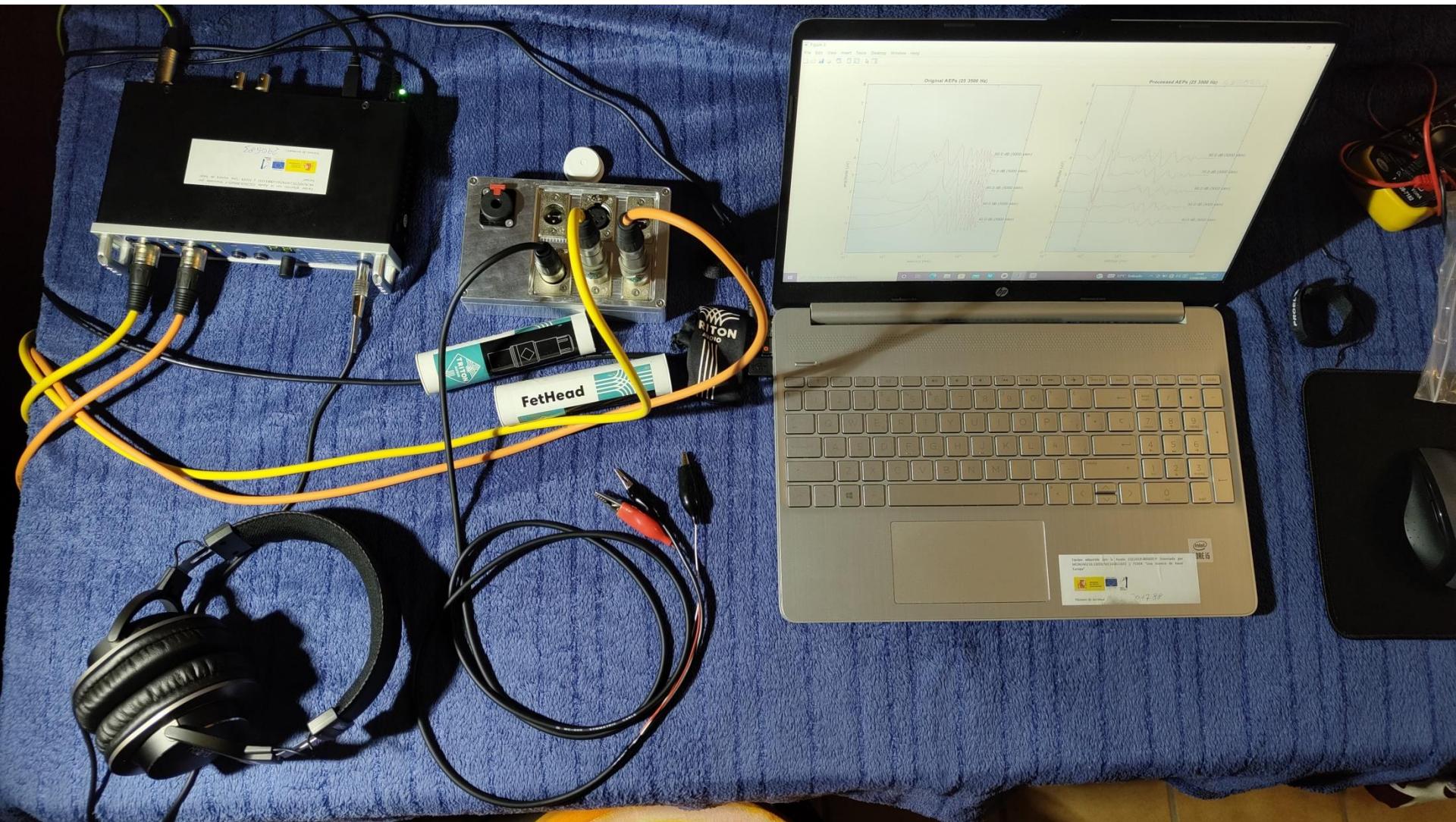
Reduction of CM component (manual)



Reduction of CM component (numerical procedure based on statistics)



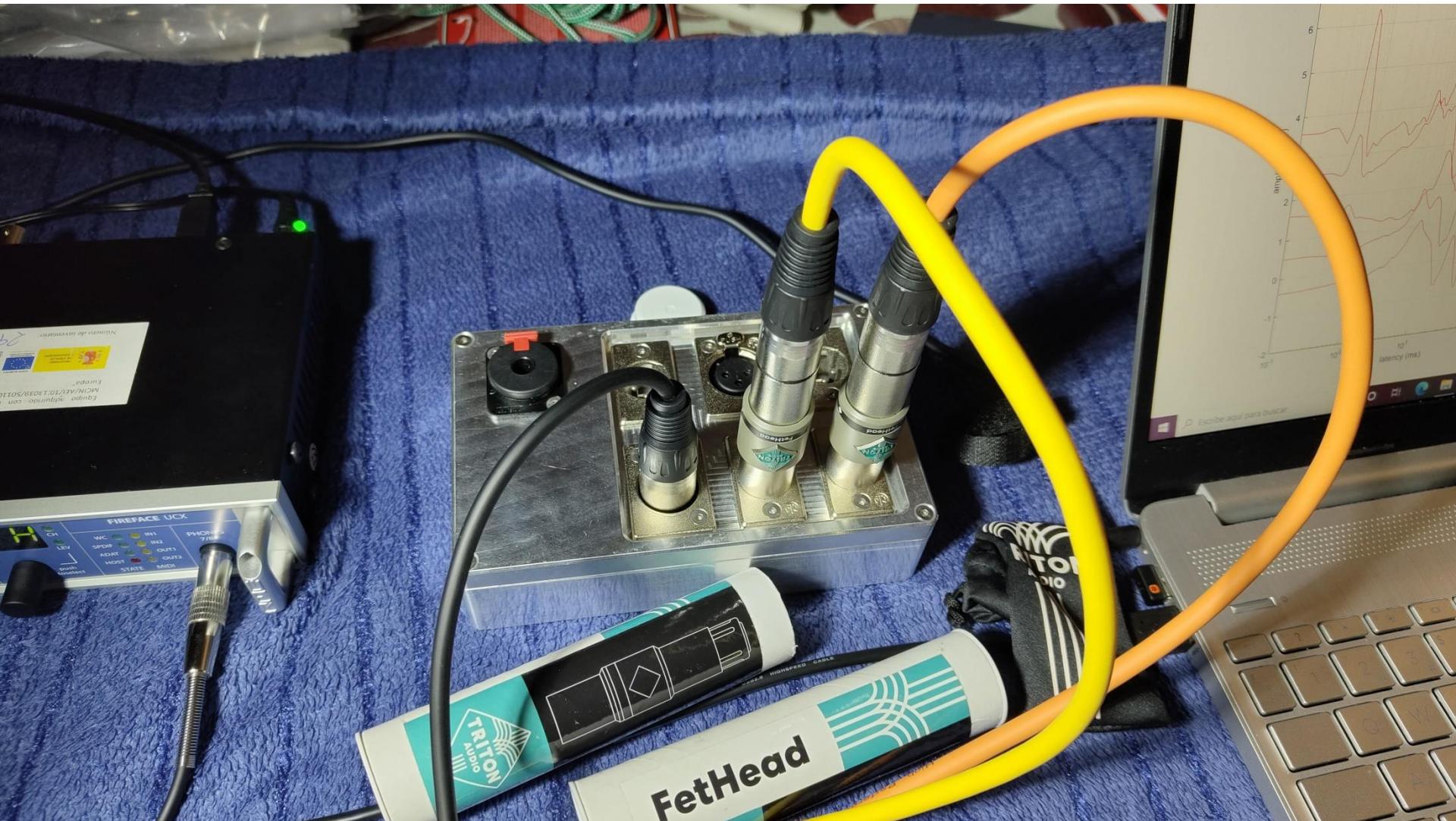
The AEP recording system



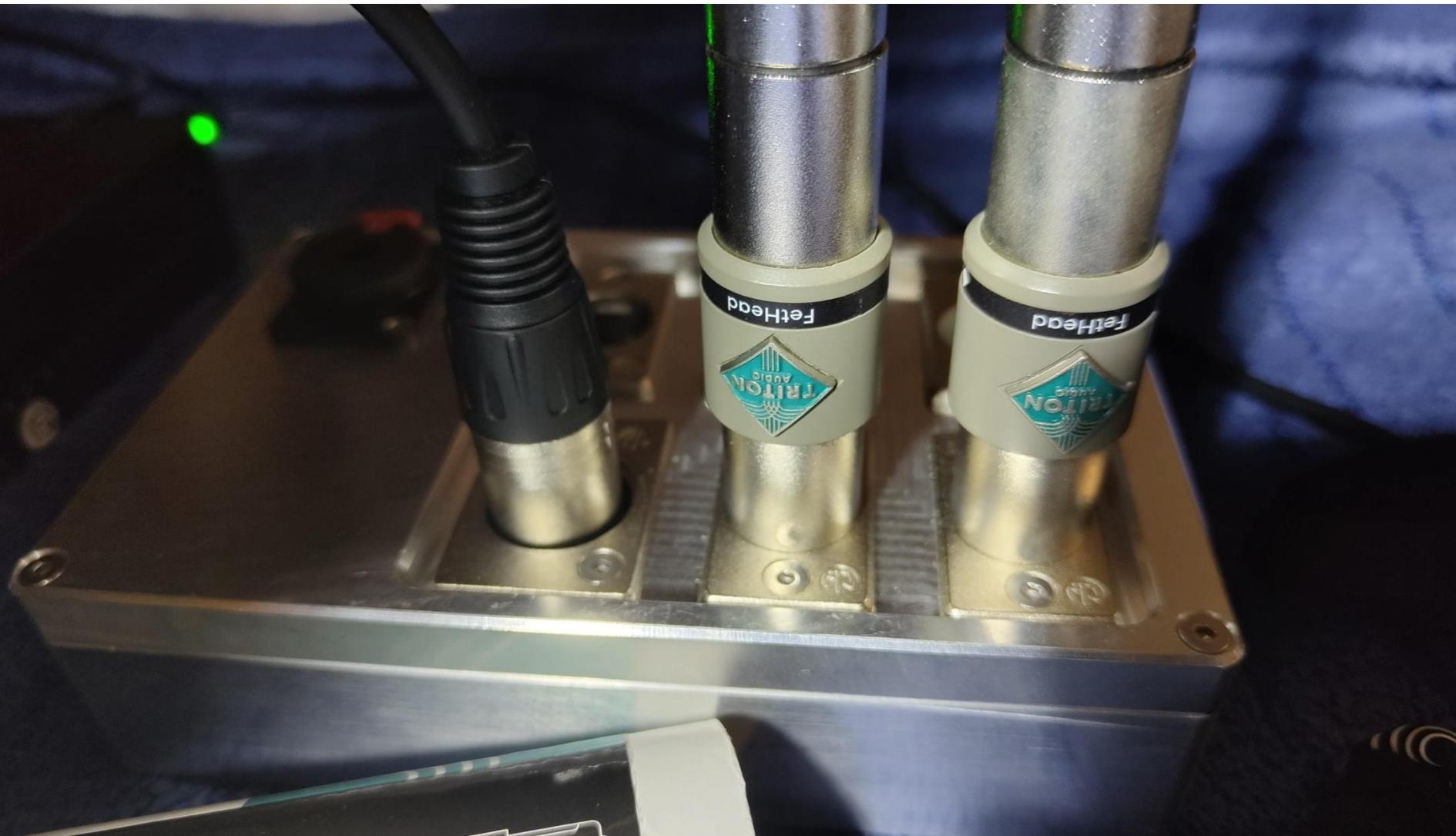
The AEP recording system (headphones and electrodes)



The AEP recording system (interface and preamplifiers)



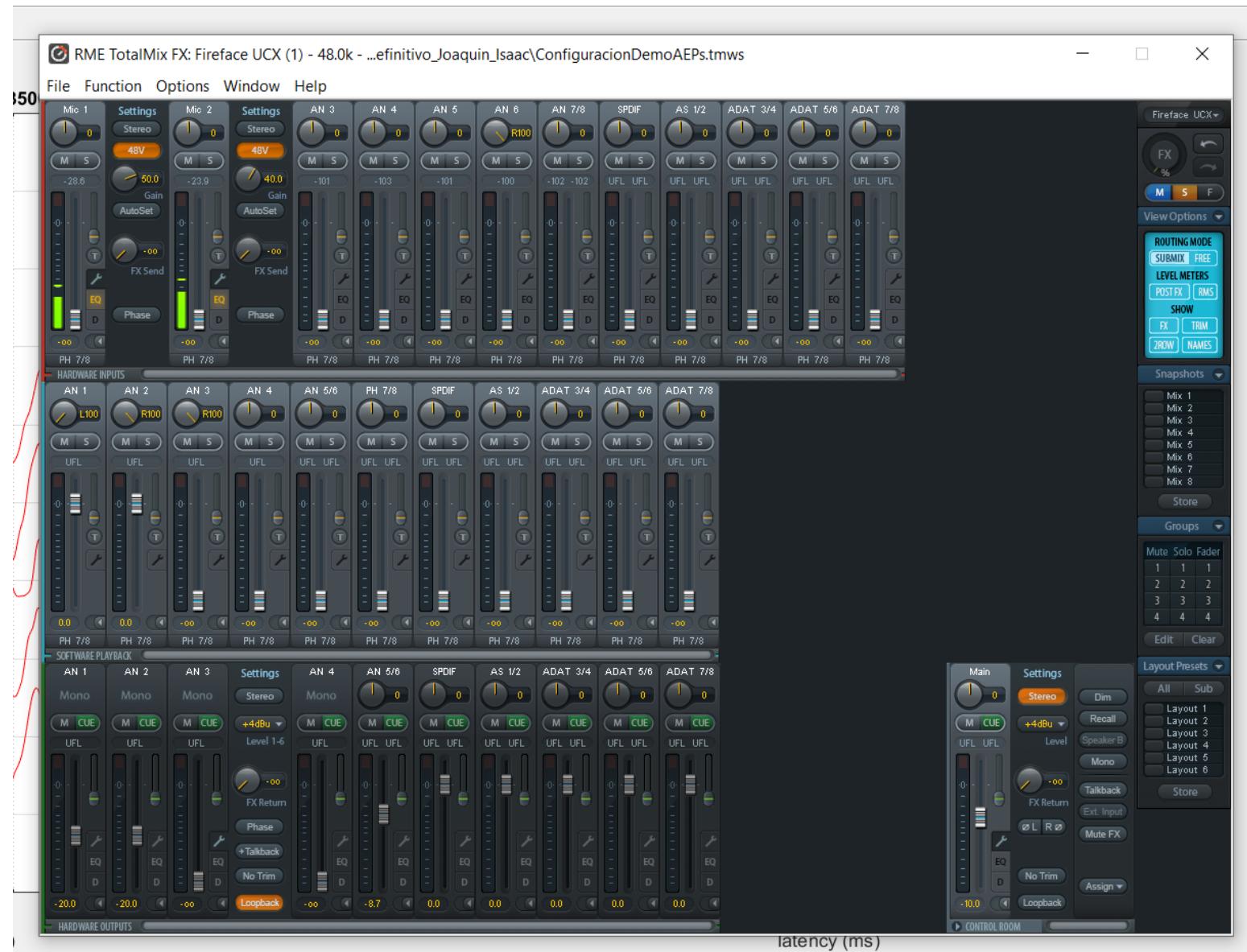
The AEP recording system (interface and preamplifiers)



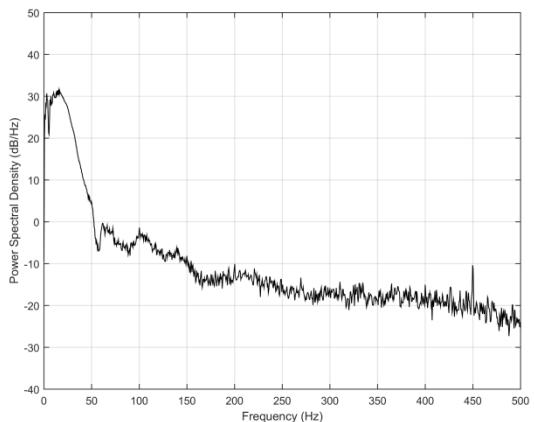
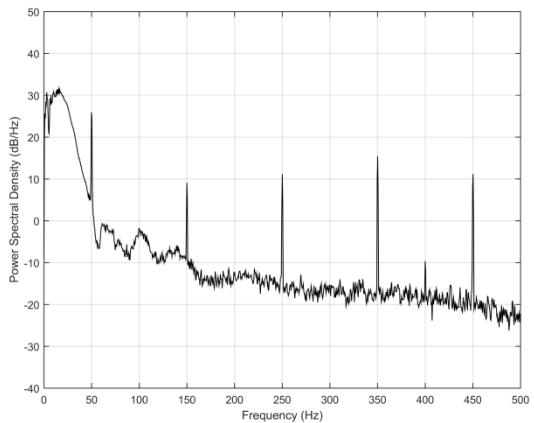
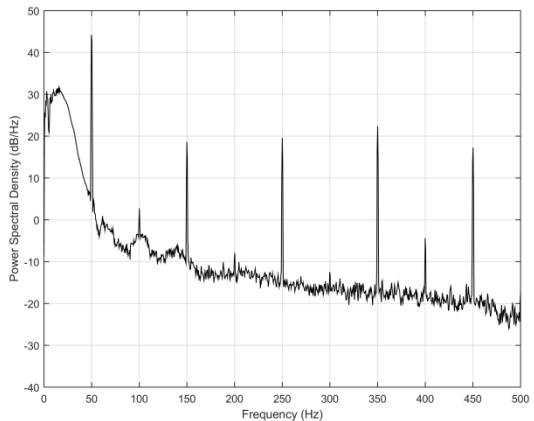
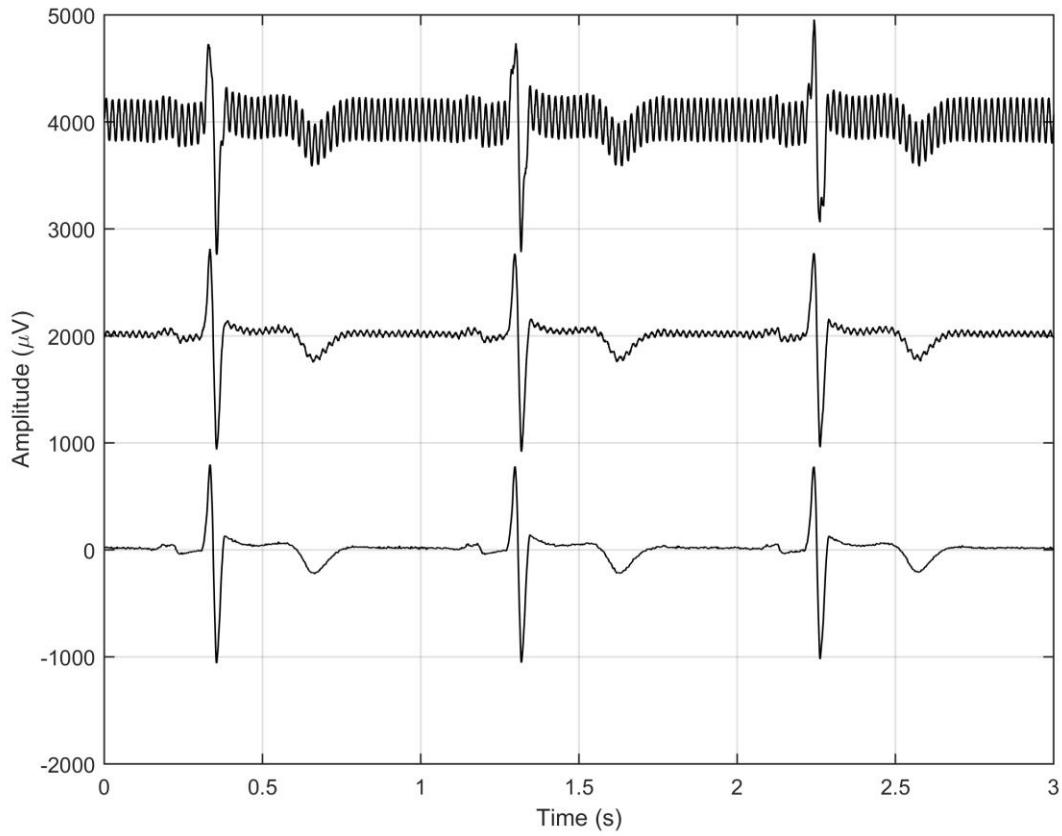
The AEP recording system (audio interface)



The AEP recording system (configuration of the audio interface)



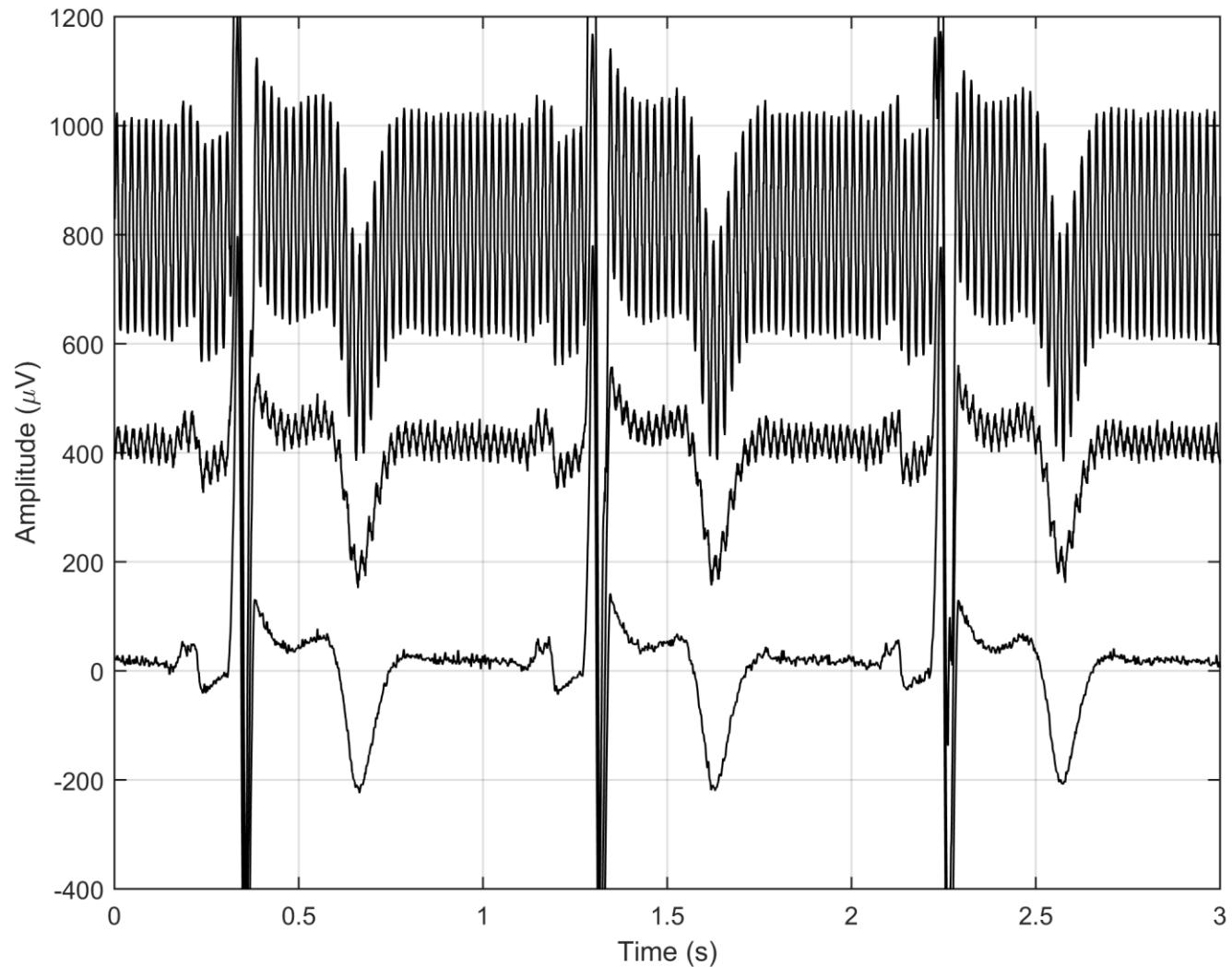
ECG recording (out of lab)



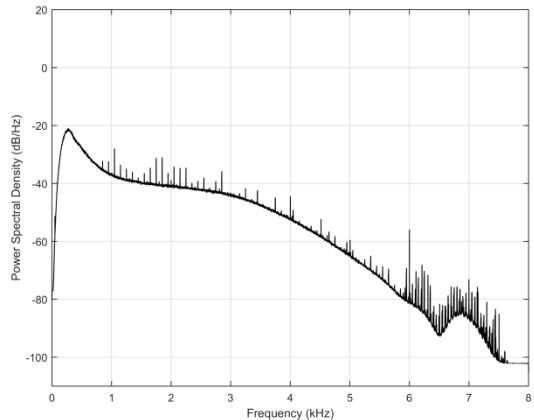
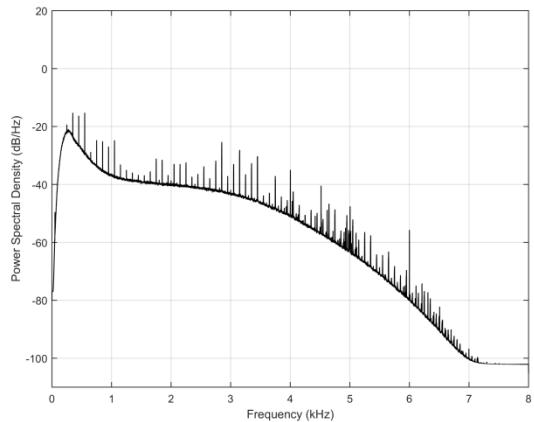
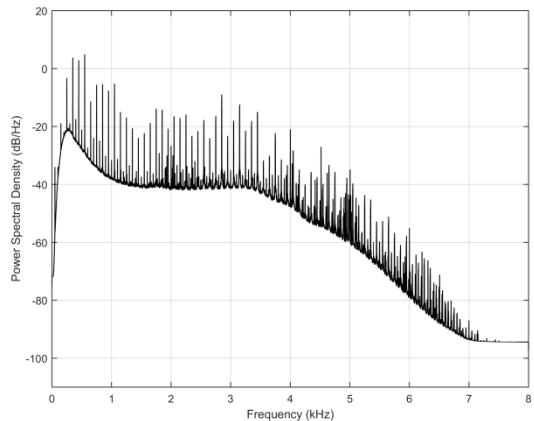
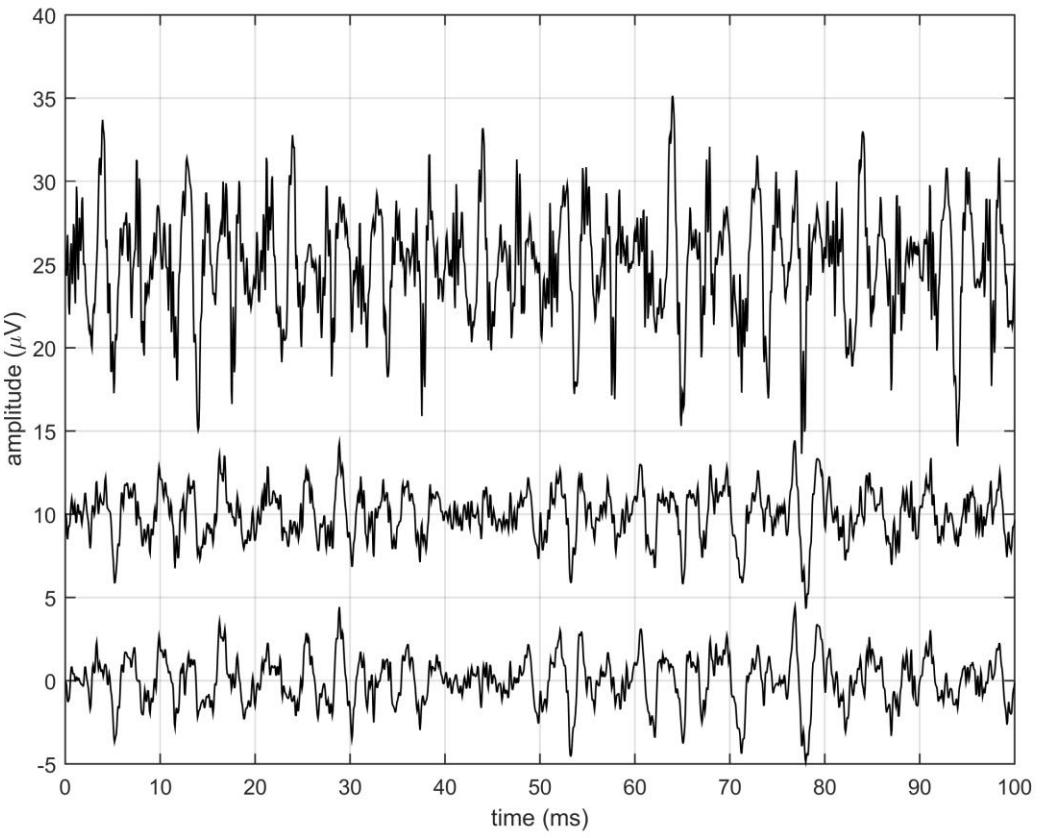
**Without
CM-removing**

**CM-removing
basic**

**CM-removing
advanced**

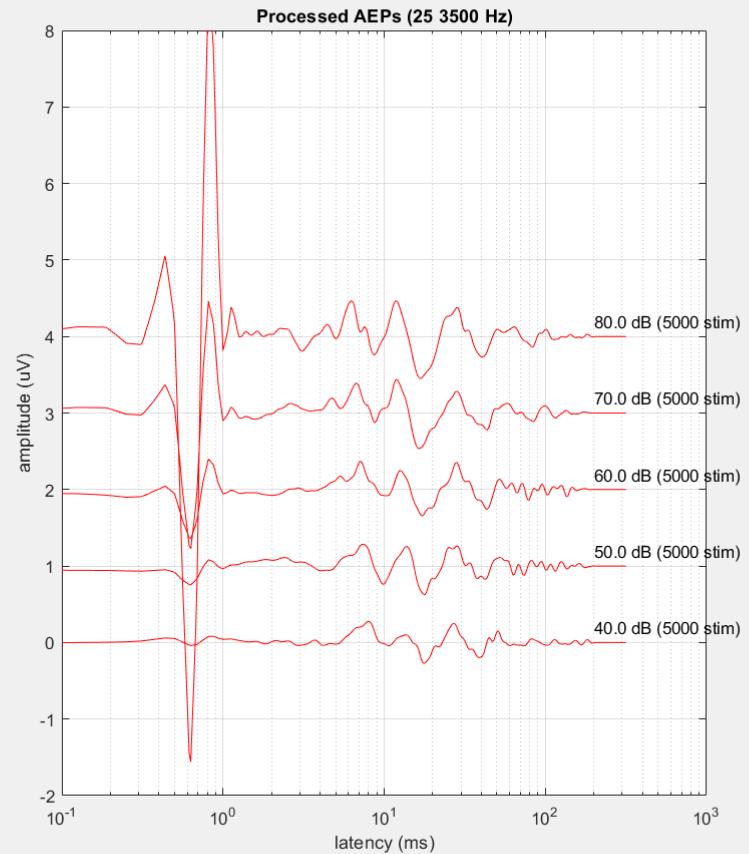
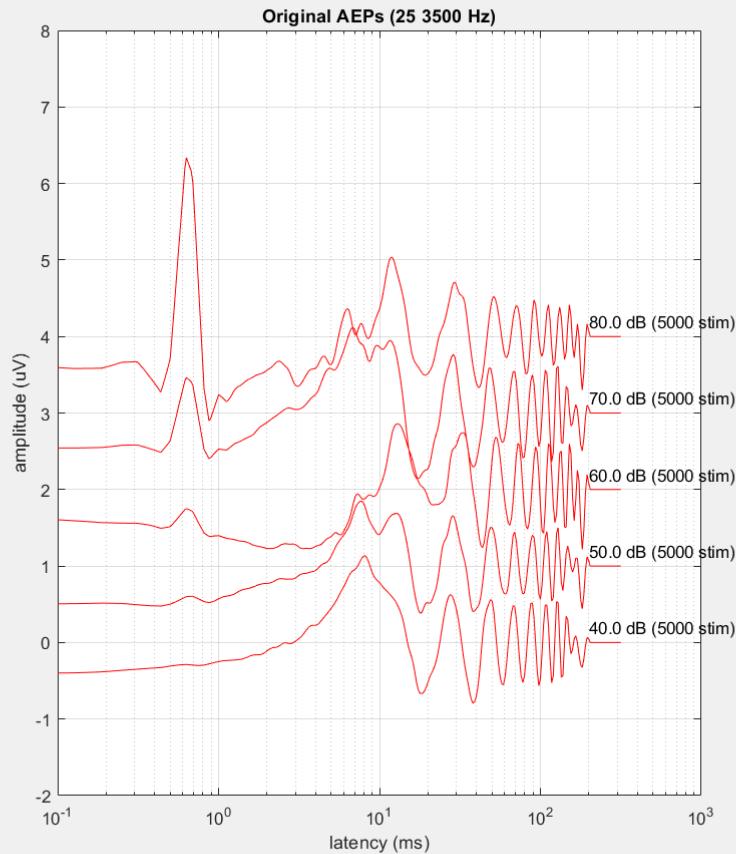
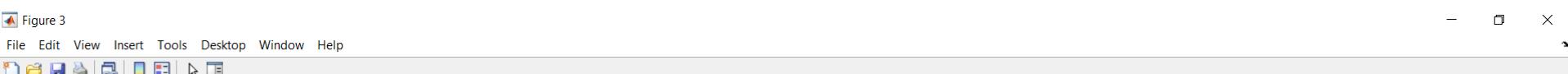


AEP recording (out of lab)



The AEP recording system

(MatLab application for AEP recording - demo)

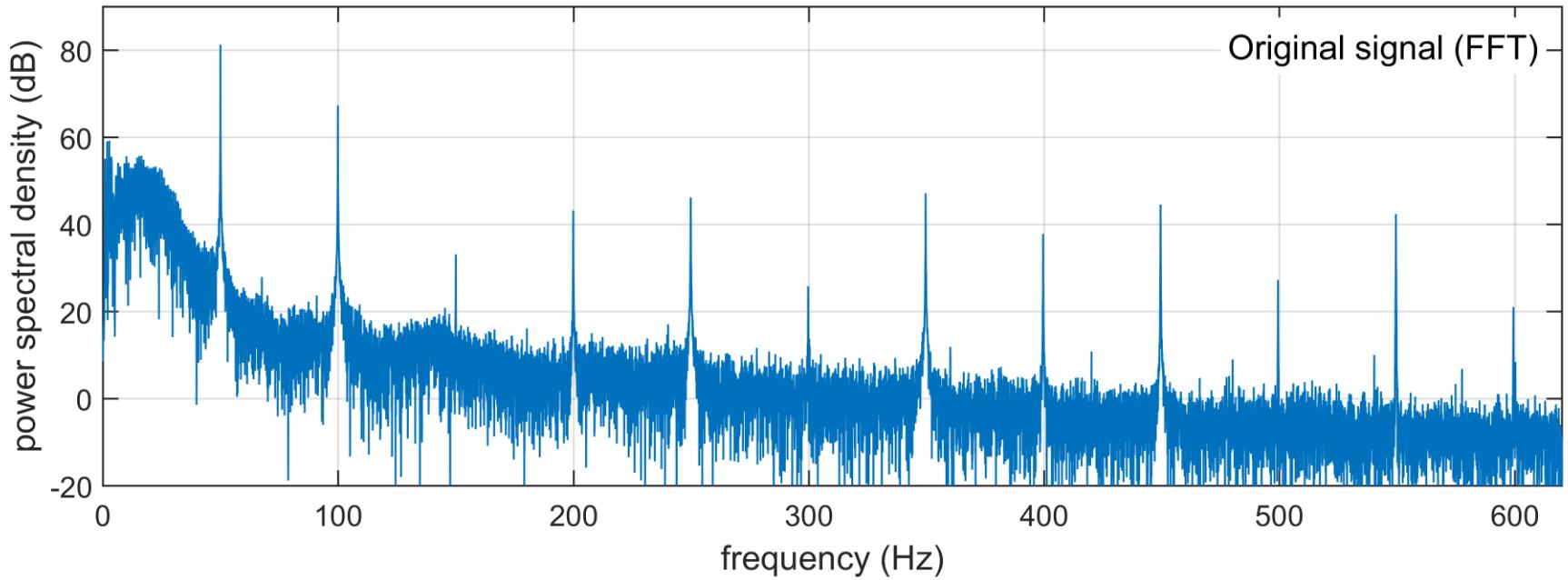
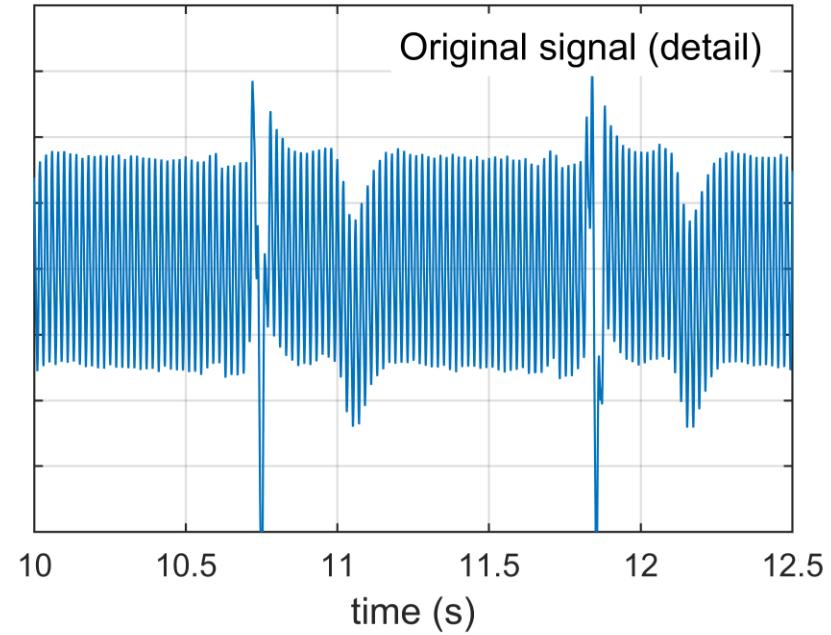
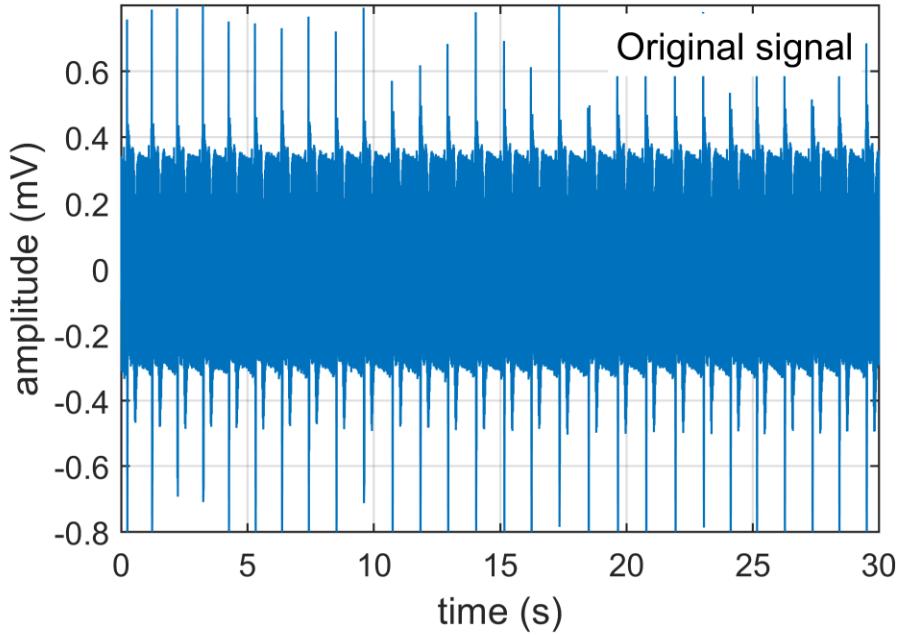


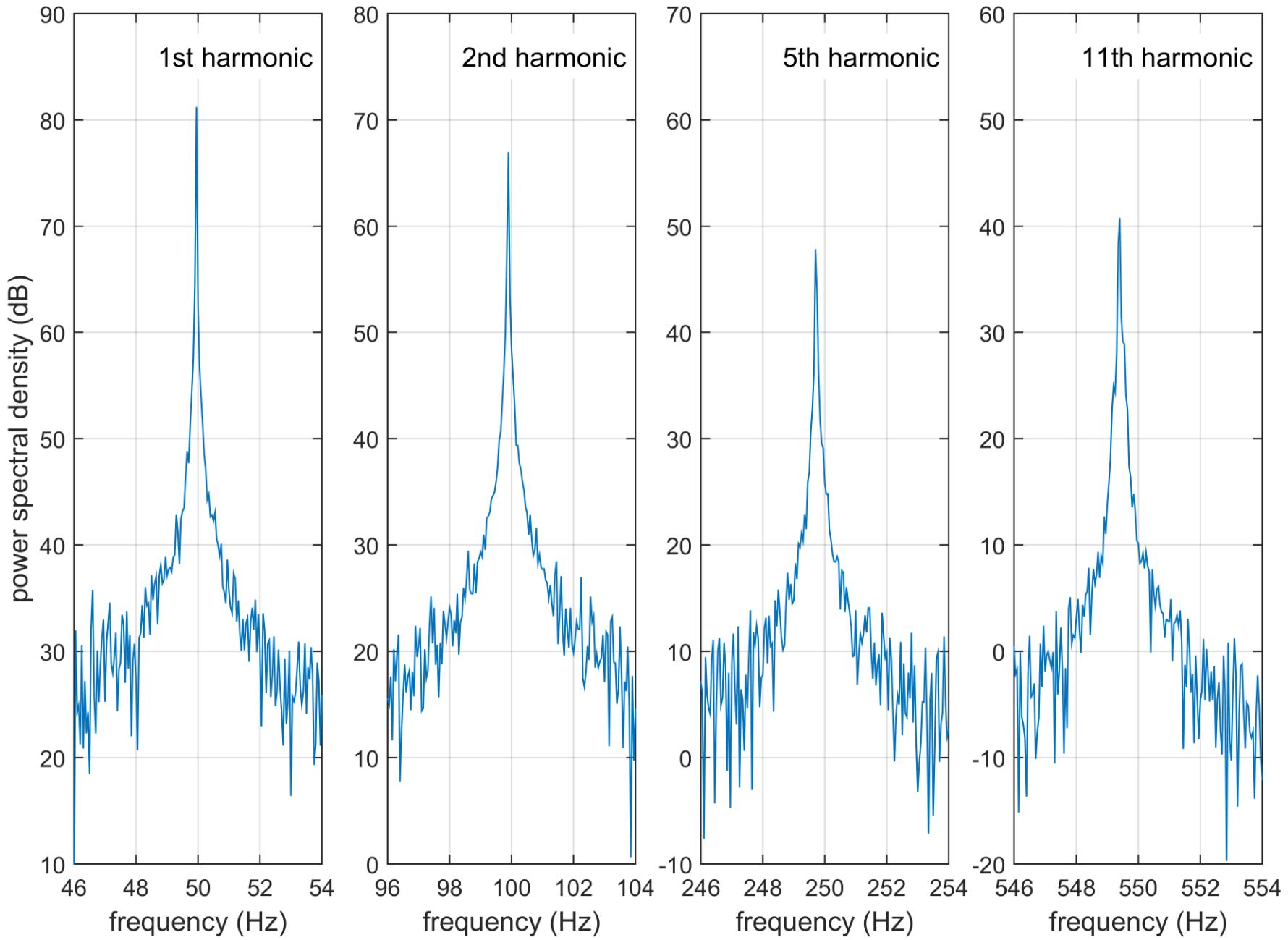
Ventajas e inconvenientes

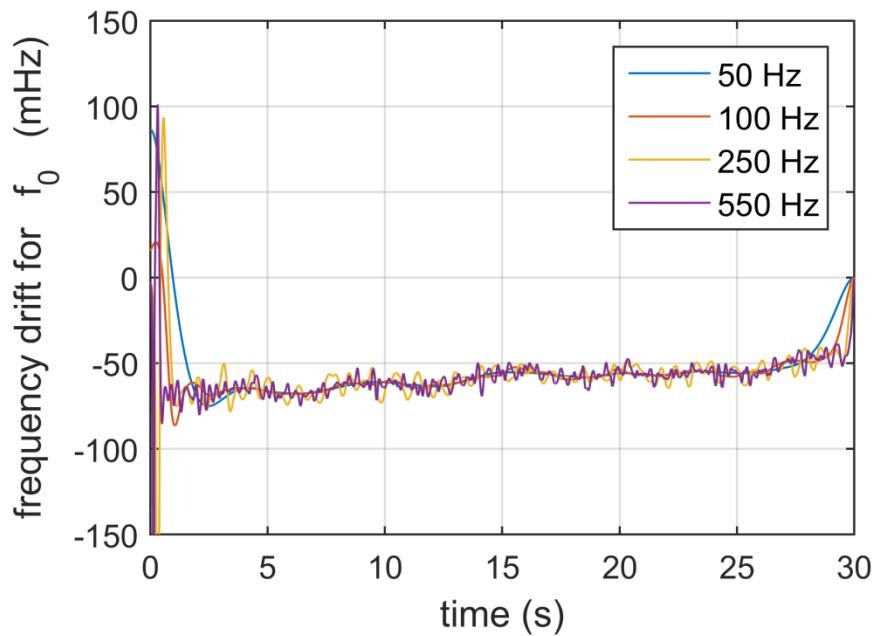
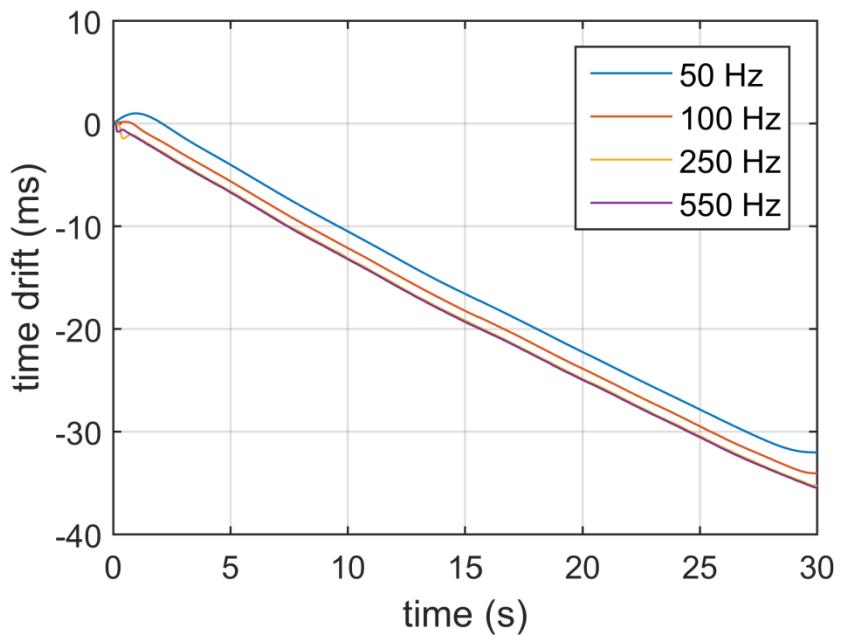
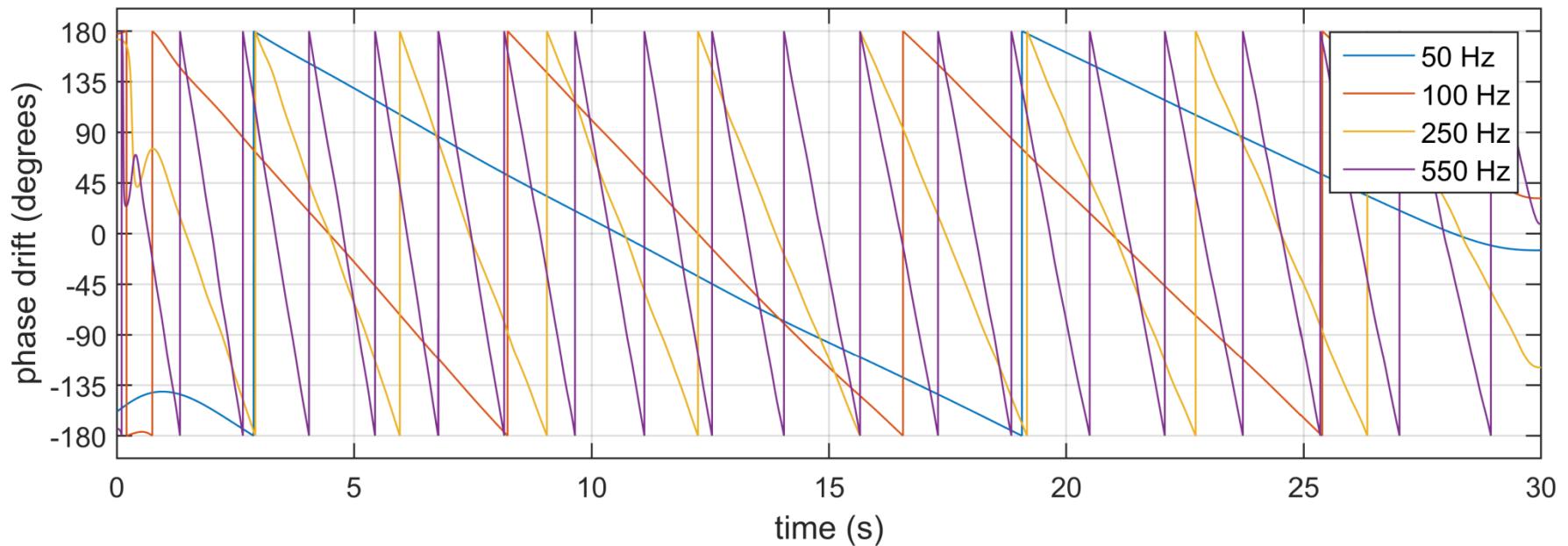
- Asequible (electrónica de consumo)
 - Flexible
 - Quitamos PLI
 - Registros fuera de laboratorio
-
- Registro de dos señales (diff / CM)
 - Distorsión señal de interés (?)
 - Hardware específico

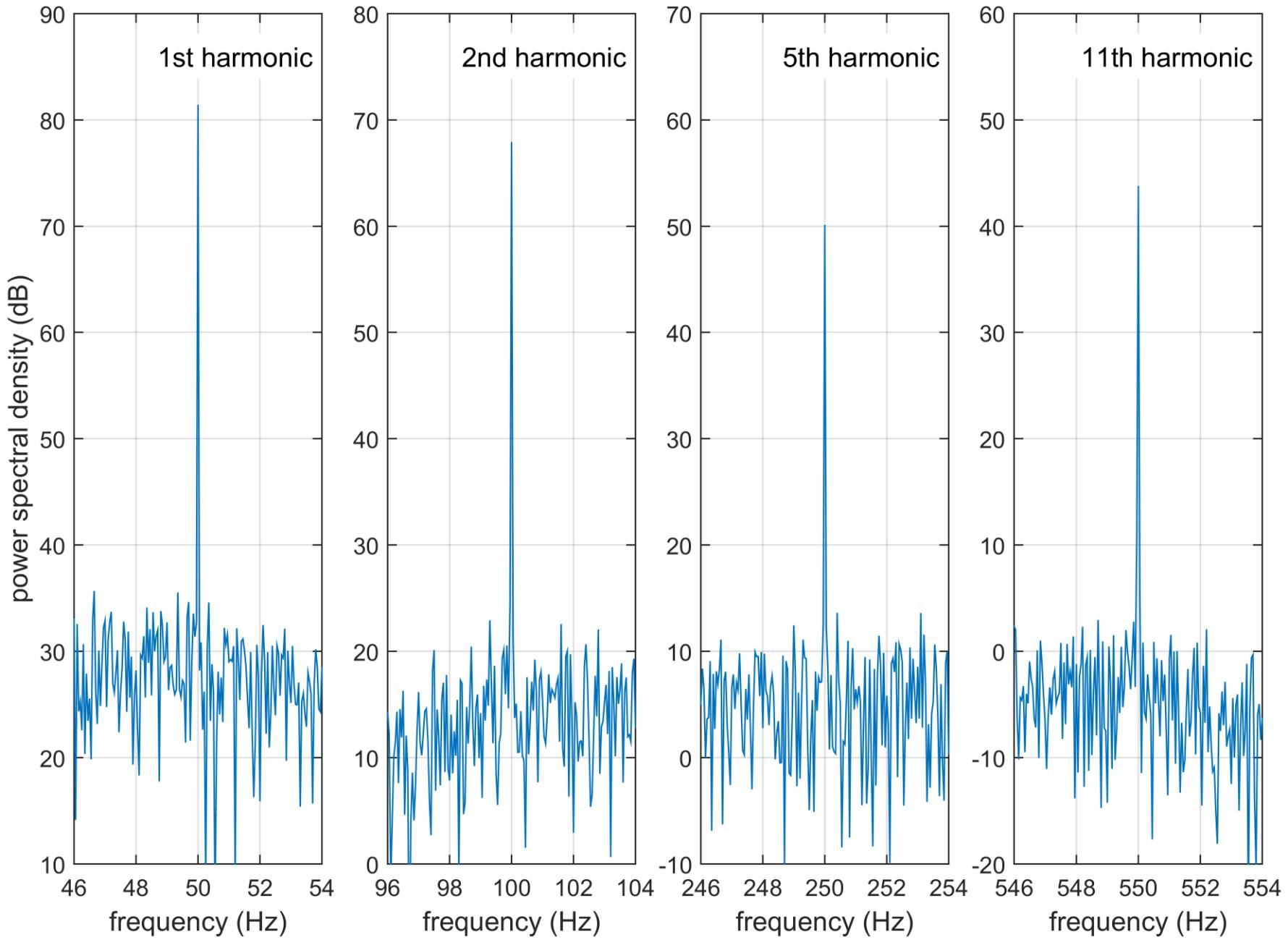
Aproximación PLI algoritmo

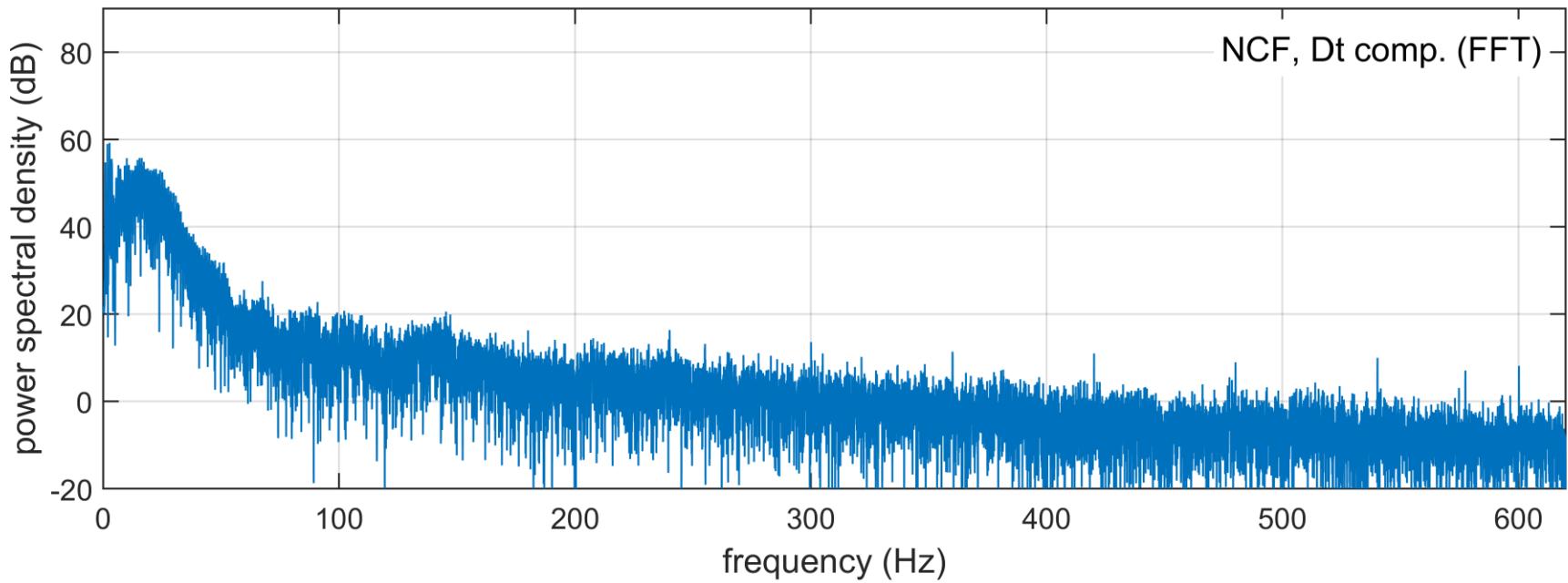
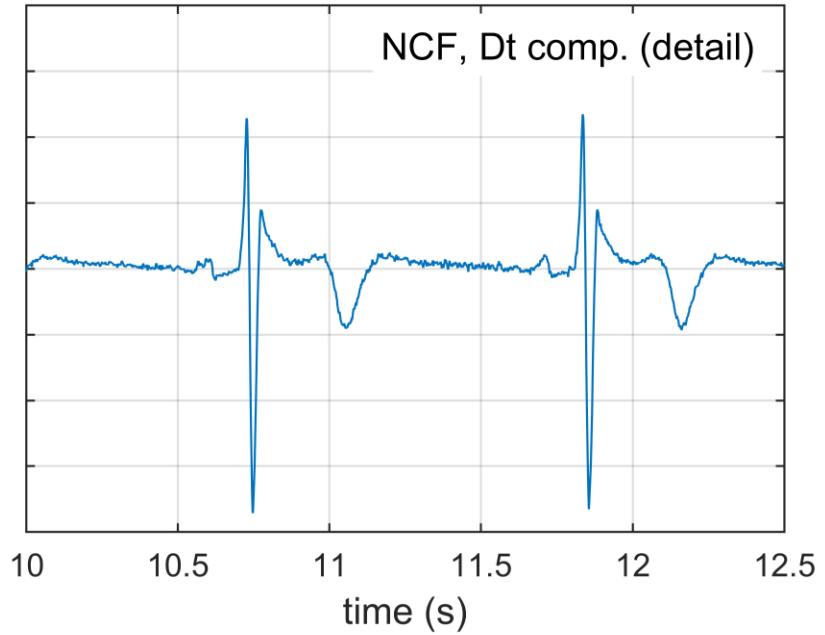
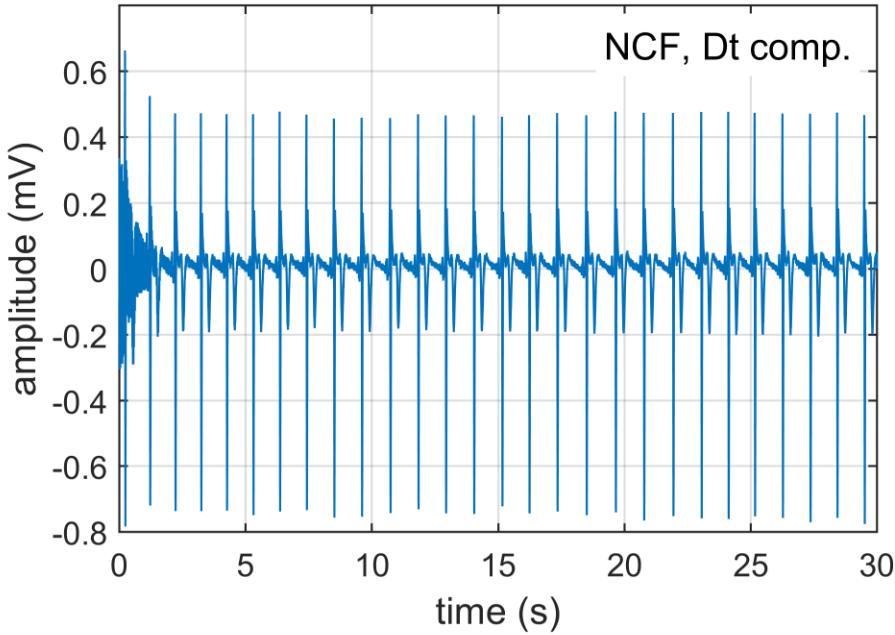
- Desarrollado verano 2024 – primavera 2025
- Estudio PLI
- Causa
- Solución: demodulación
- Corrección error de tiempo
- Sustracción del ruido
- Resultados con ECG y con AEPs

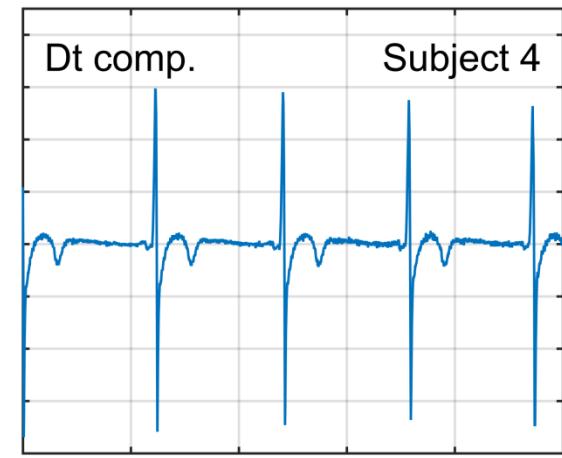
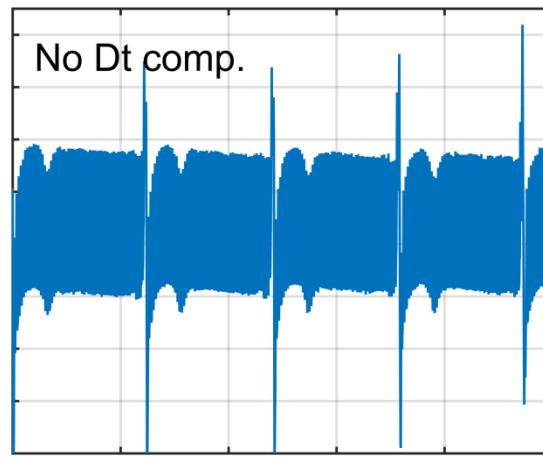
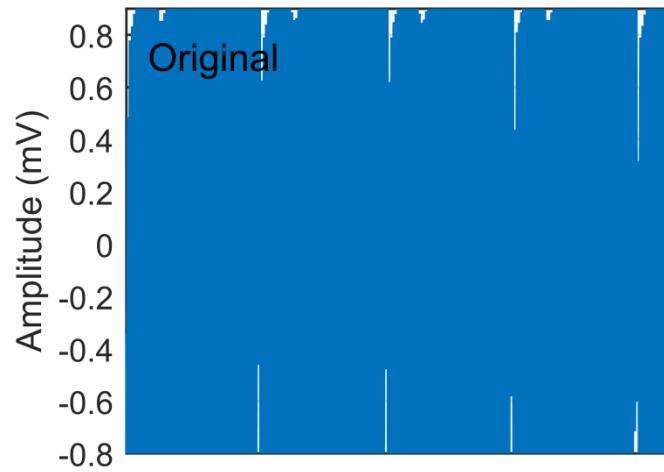
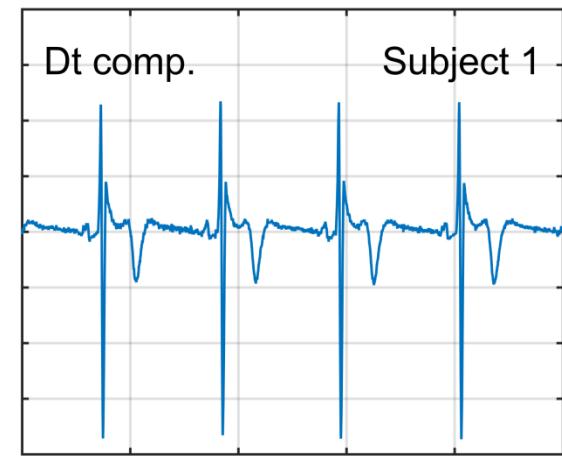
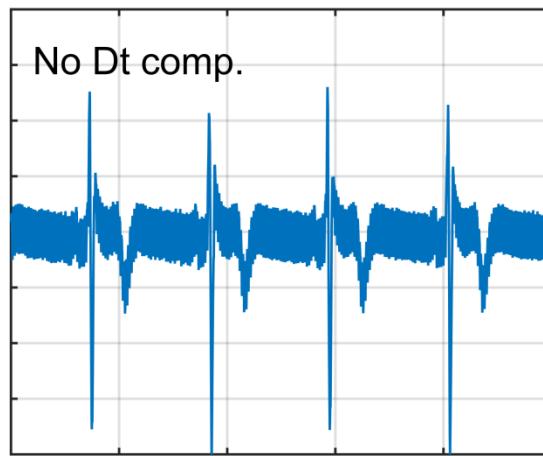
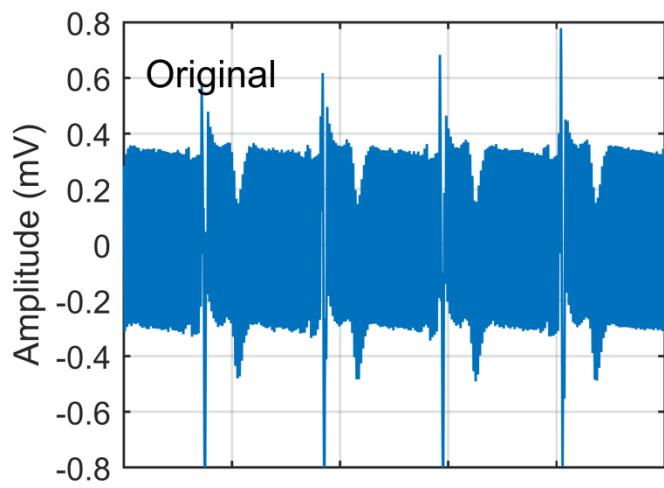




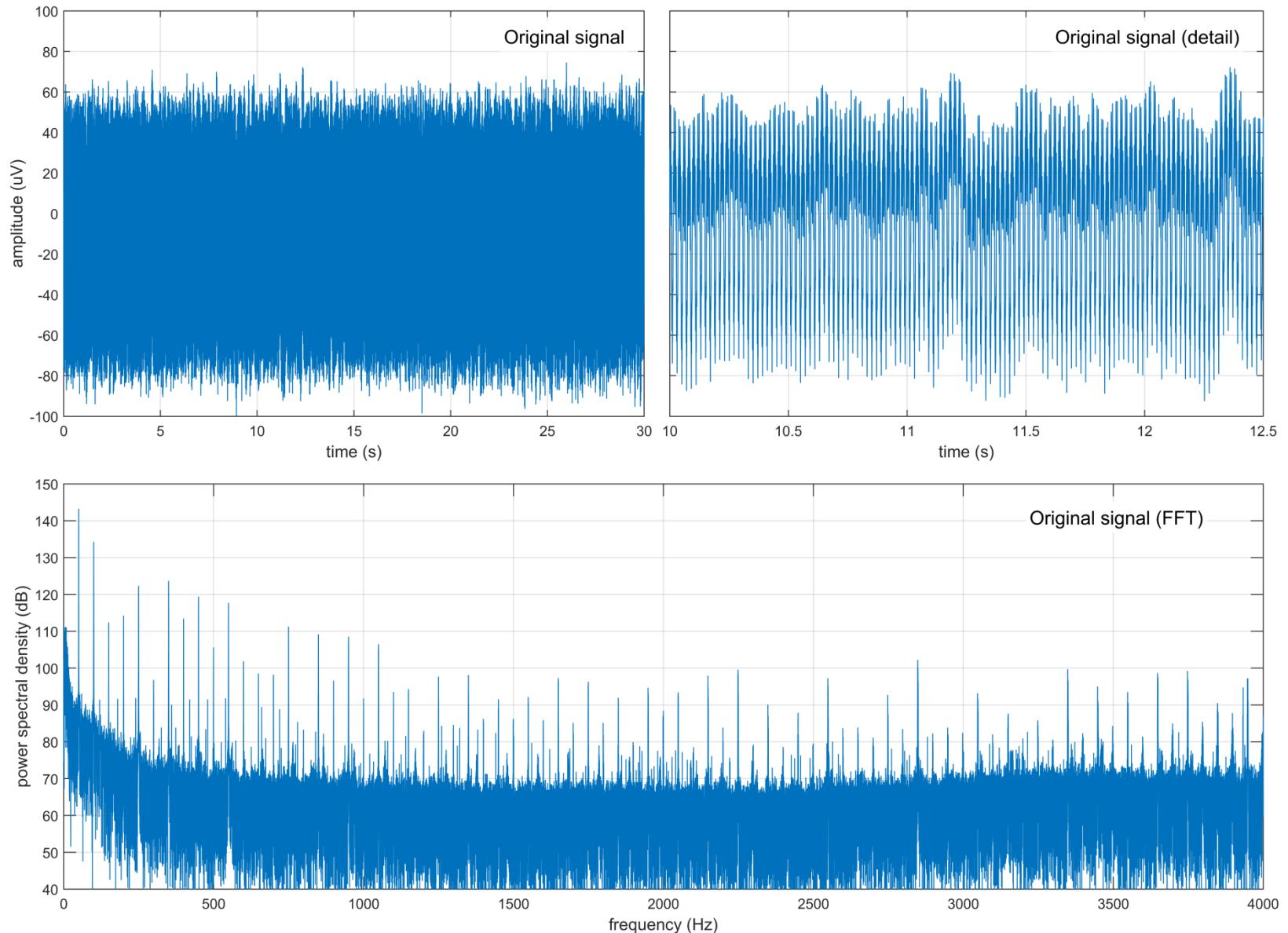




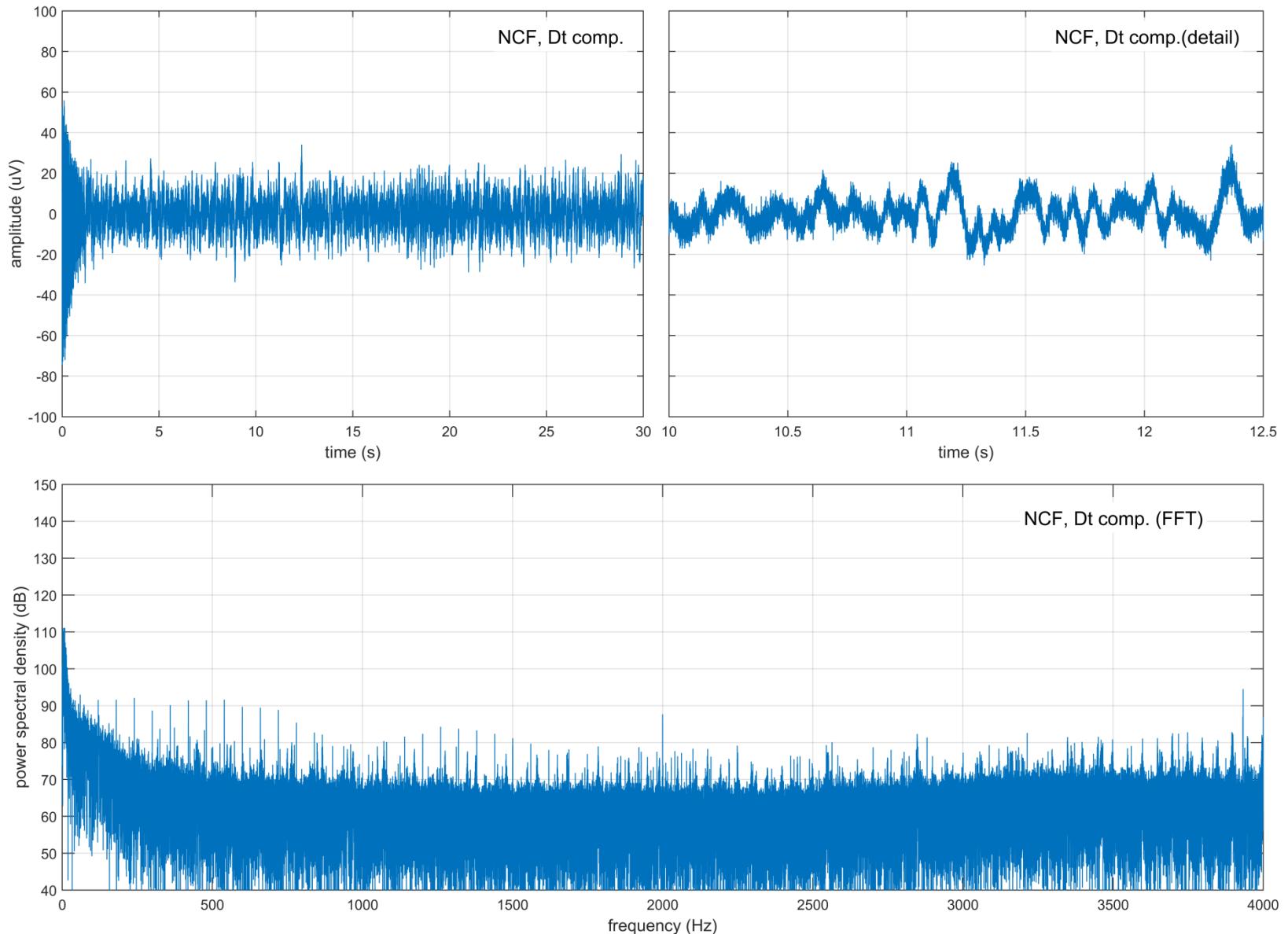




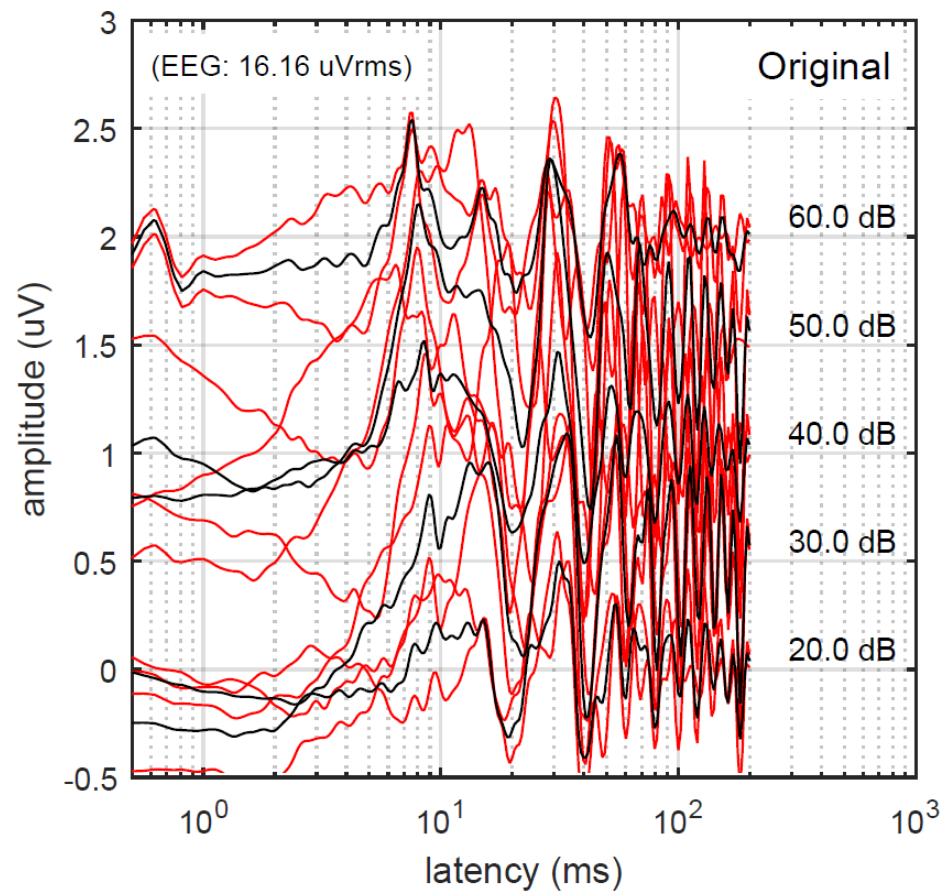
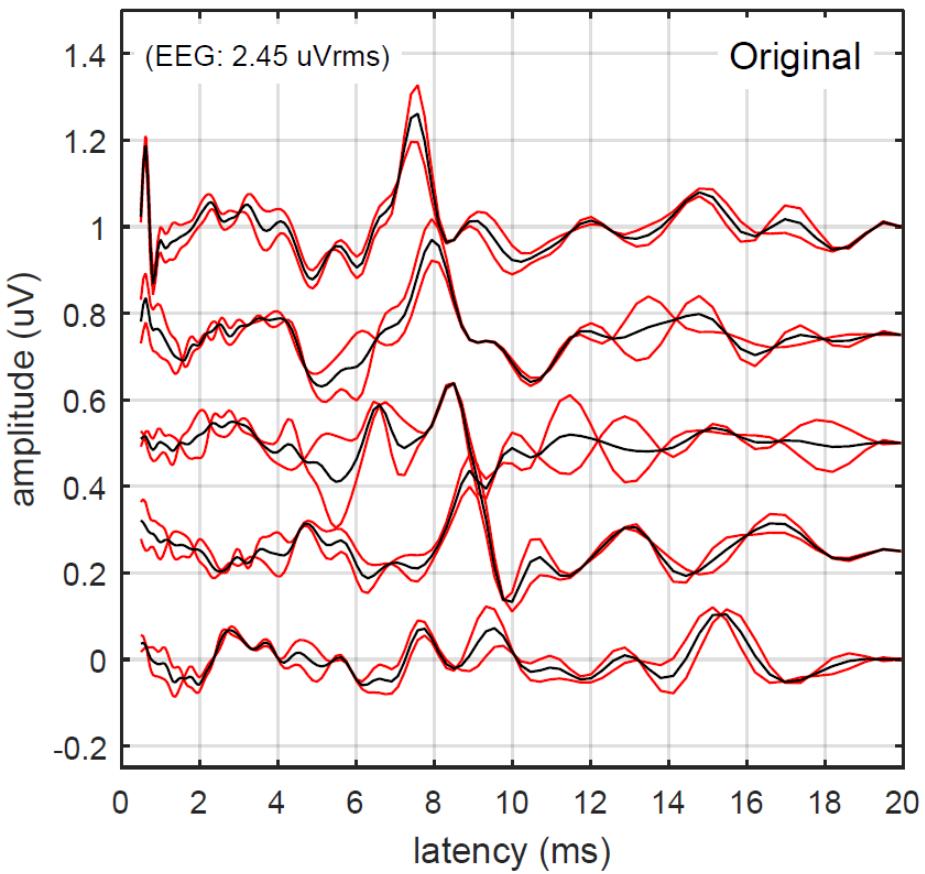
Ruido red eléctrica (PLI) EEG antes



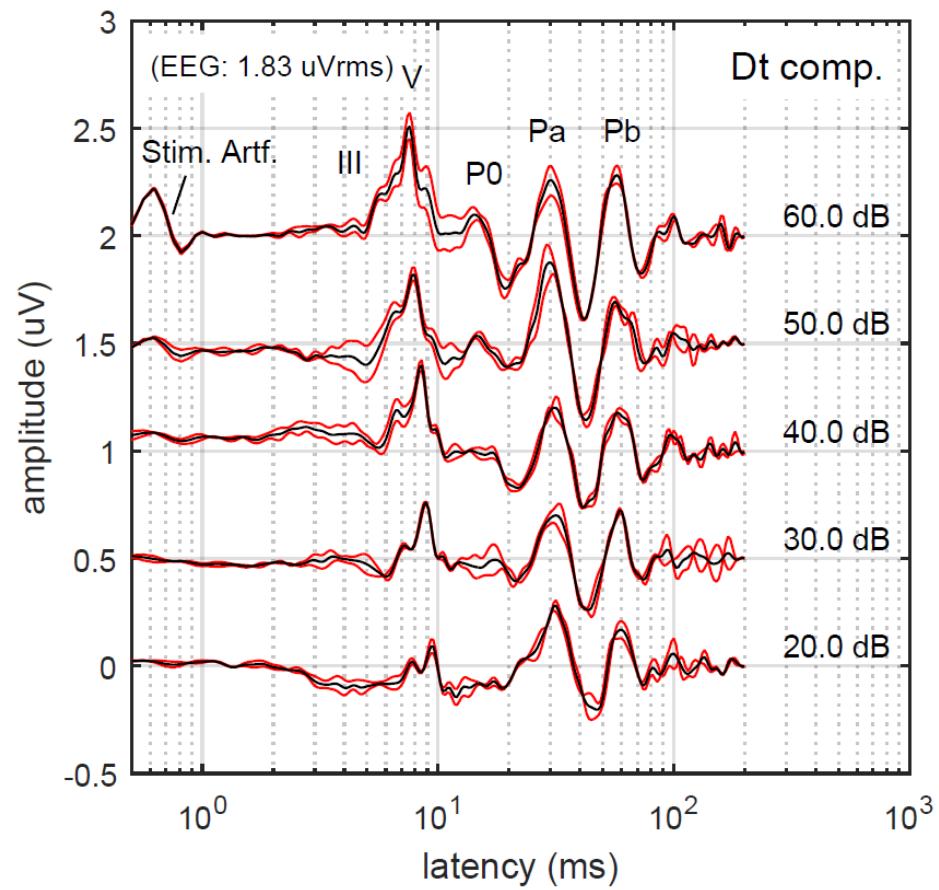
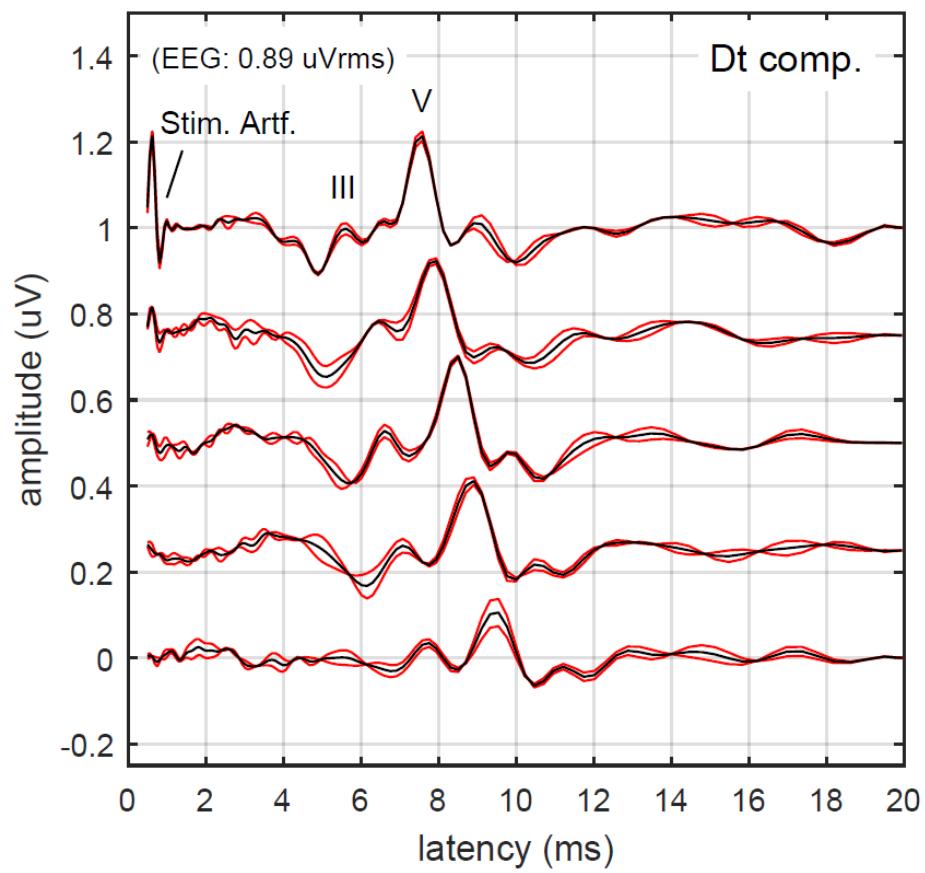
Ruido red eléctrica (PLI) EEG después



Ejemplo respuesta con PLI



Ejemplo respuesta sin PLI





UNIVERSIDAD
DE GRANADA



TALLER 1: ¿Cómo estás, corazón? Taller de biopotenciales cardiacos

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



Proyecto P21.00152

Junta de Andalucía
Consejería de Universidad, Investigación e Innovación



Objetivo del taller

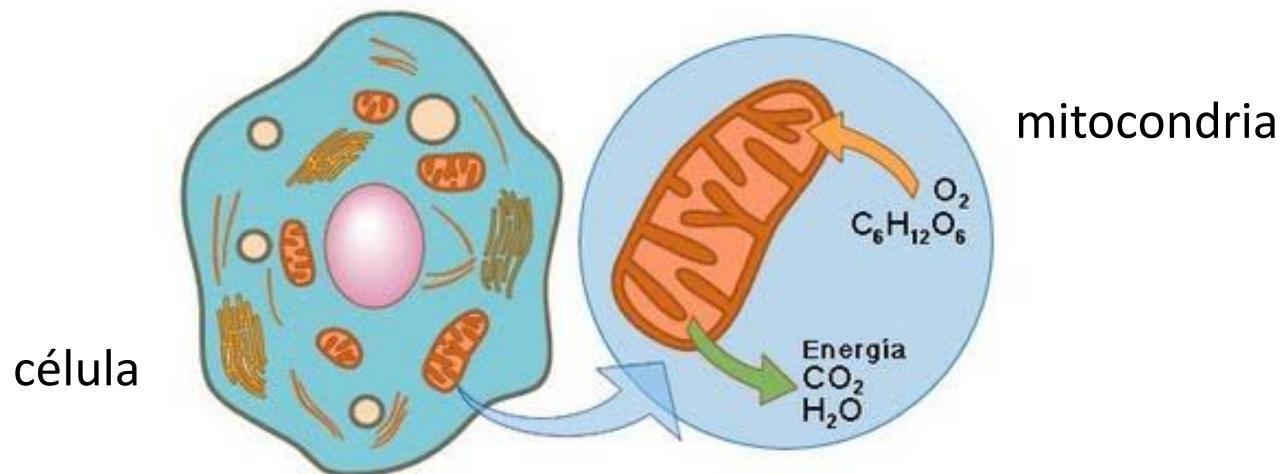
- Teoría de señal y comunicaciones
- Instrumentación, biopotenciales
- Instrumentación y procesamiento de señal asequible
- Vocación hacia ciencia y tecnología:
 - Multidisciplinaridad
 - Proyectos científicos, tecnológicos, educativos

Importancia del corazón

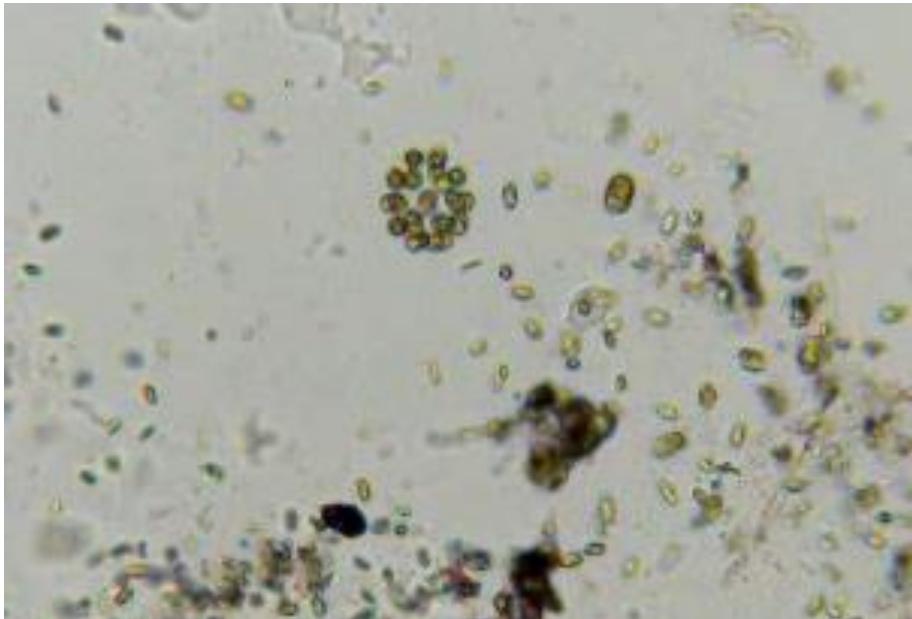
- Funciones de la vida:
 - Nutrición
 - Relación
 - Reproducción
- Para las funciones de la vida se necesita....

ENERGÍA

Respiración celular



Respiración celular en unicelulares



Colonia de algas unicelulares

Paramecio



Sistemas pluricelulares

El problema del transporte

Solución:

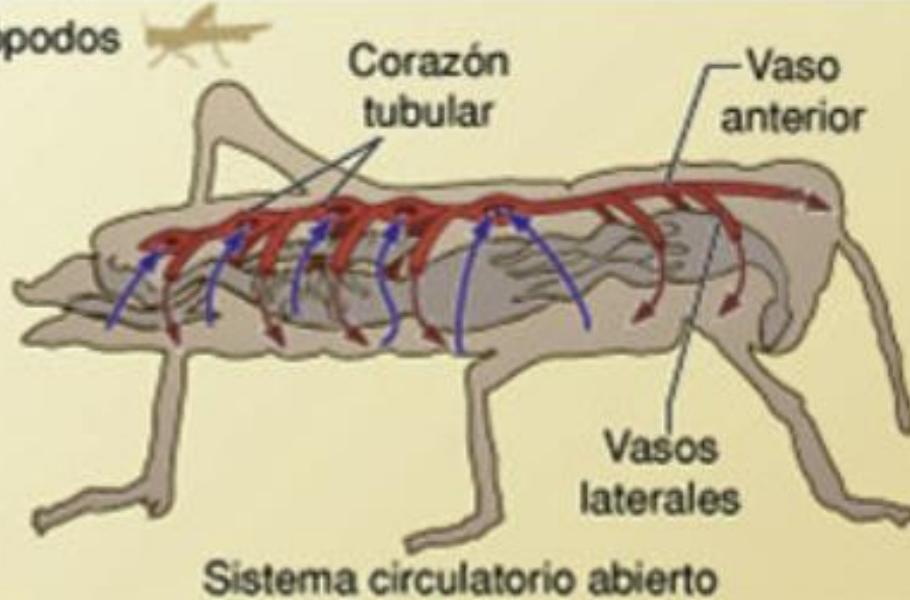
El sistema circulatorio - corazón

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

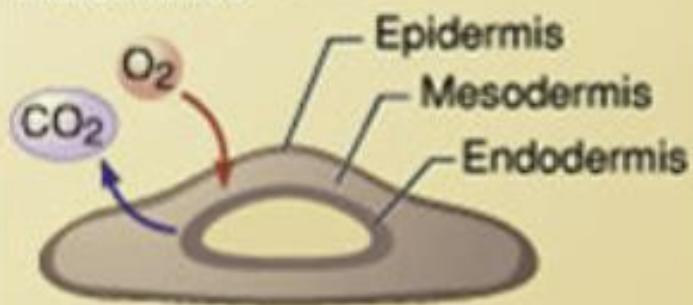
(a) Poríferos



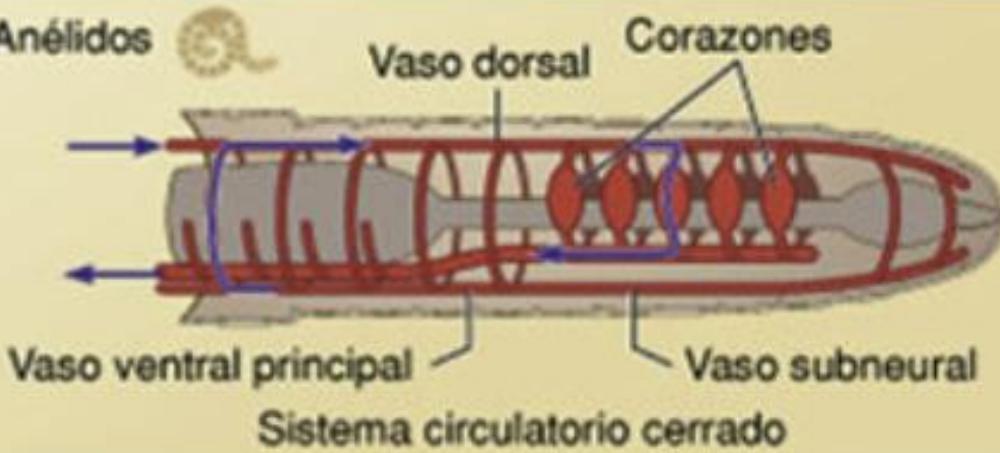
(b) Artrópodos



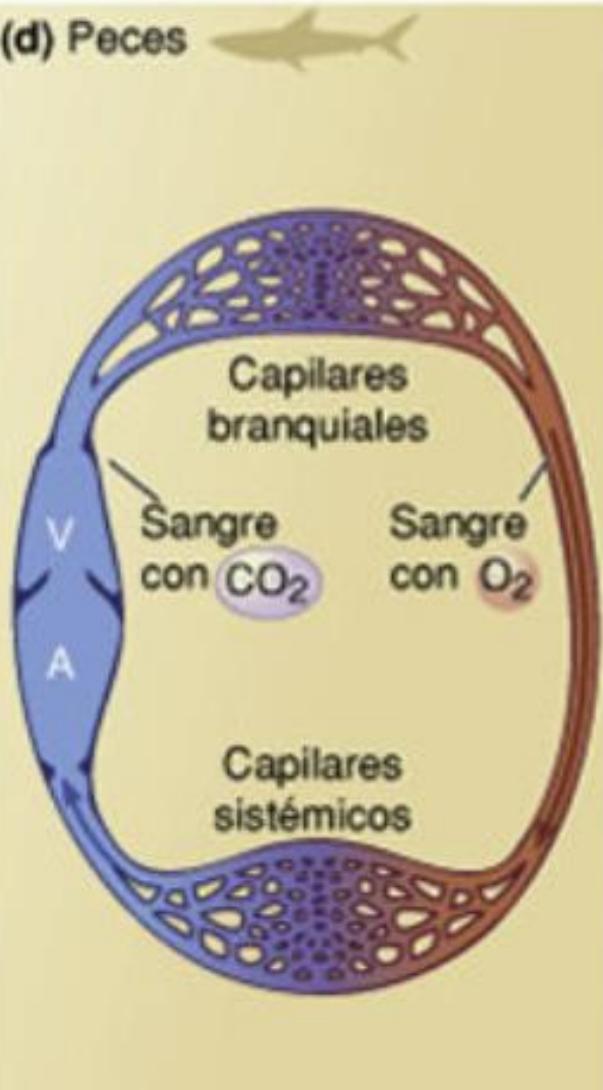
Platelmintos



(c) Anélidos



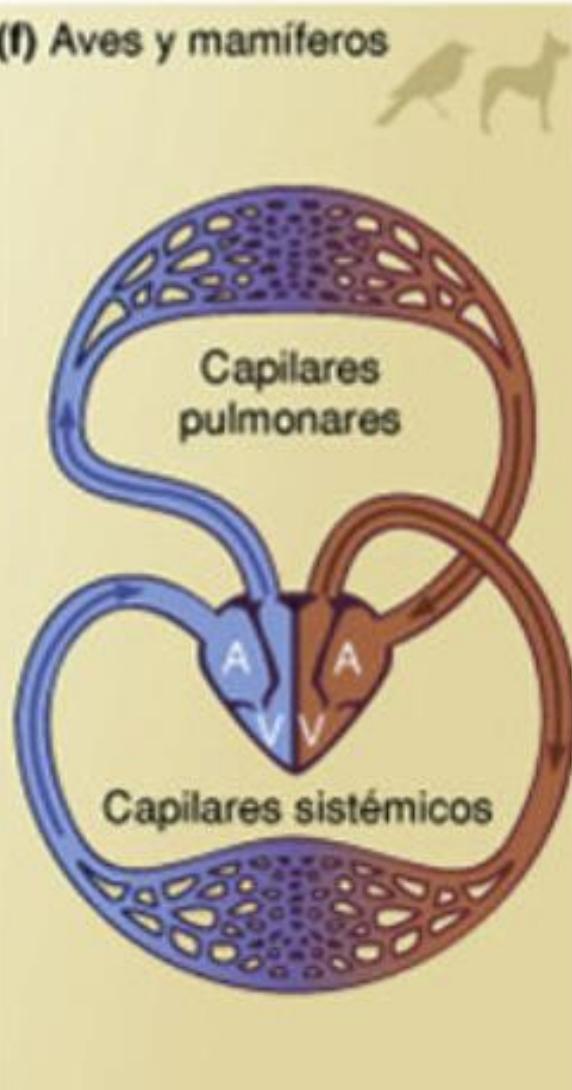
(d) Peces

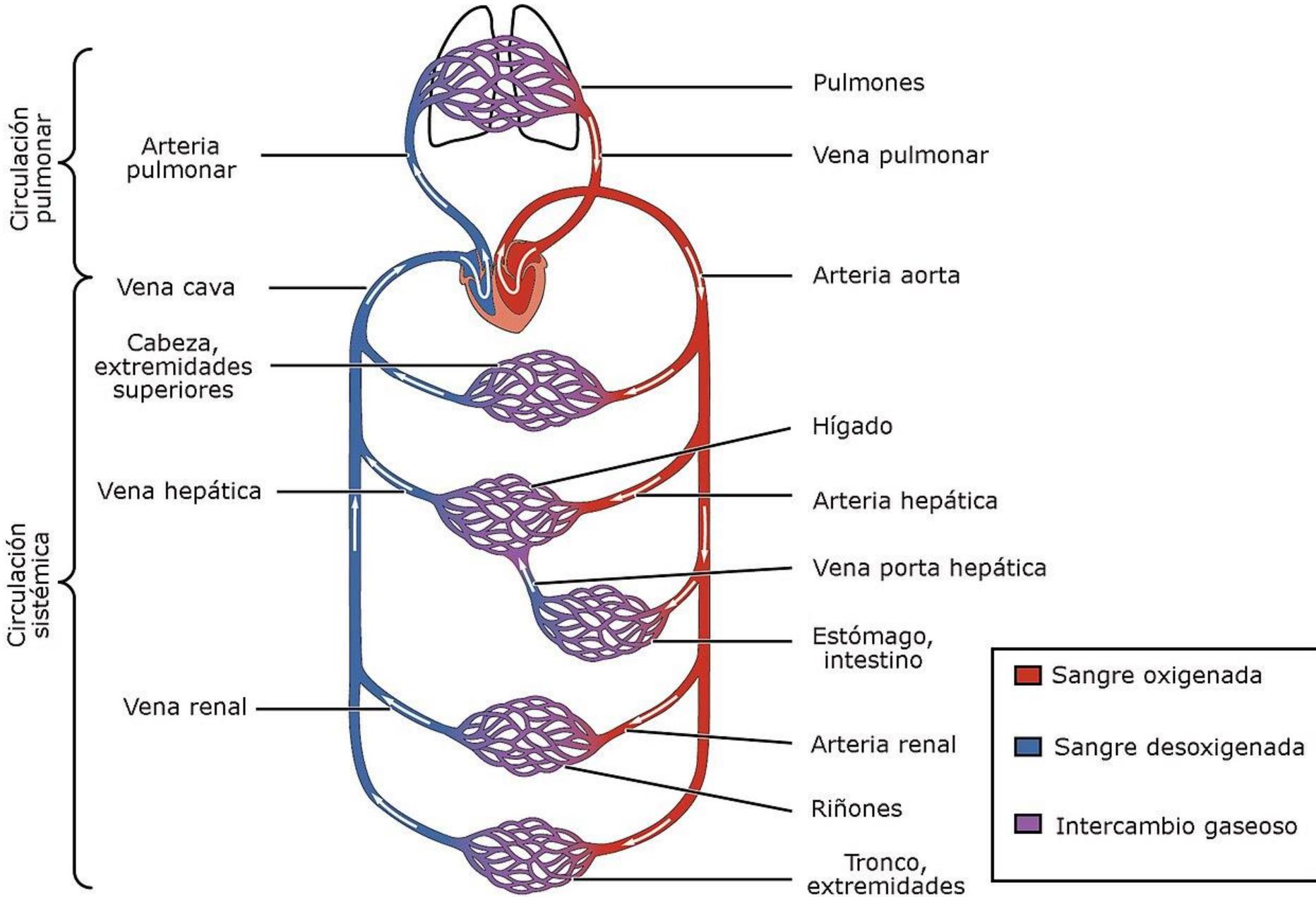


(e) Anfibios y reptiles



(f) Aves y mamíferos



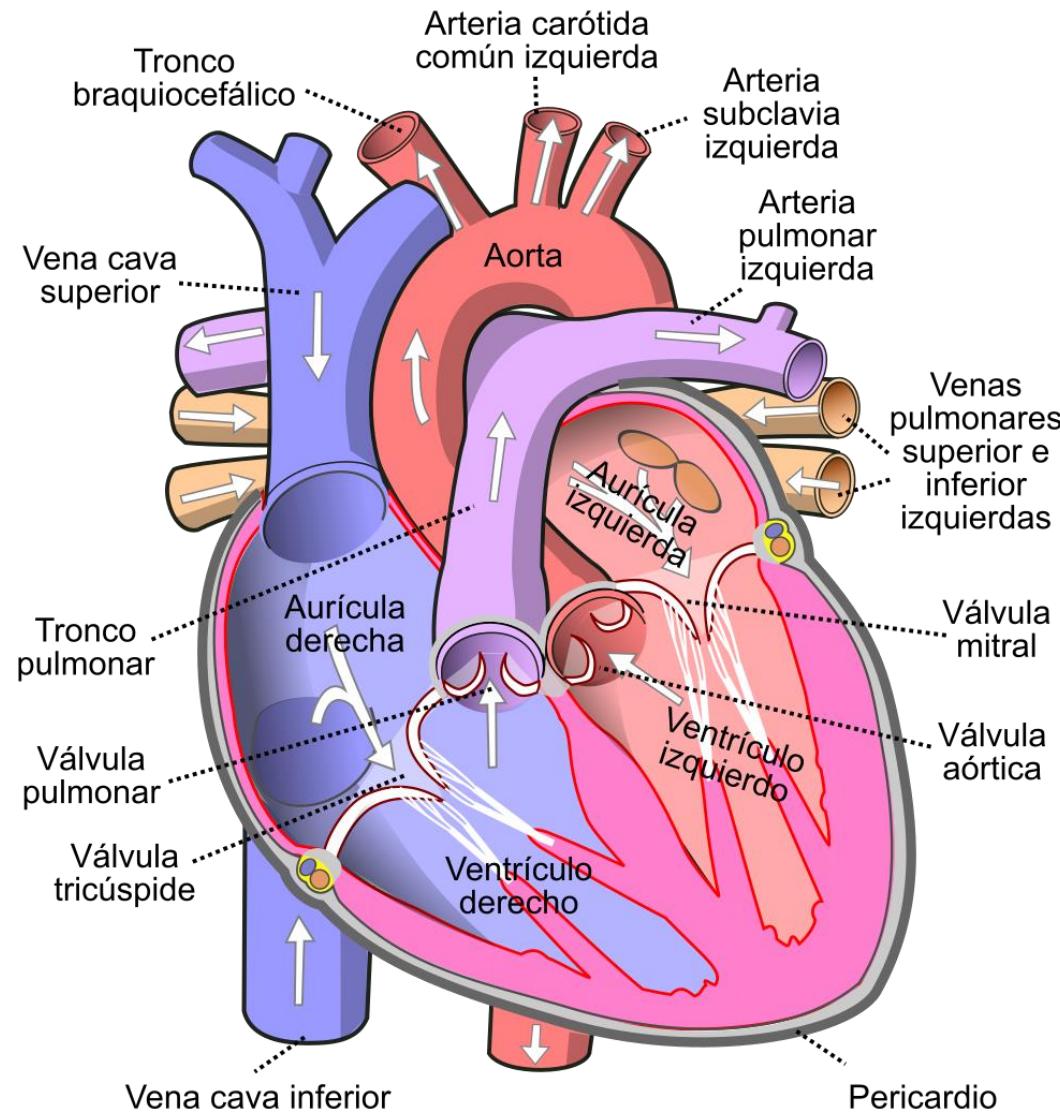


A
♥

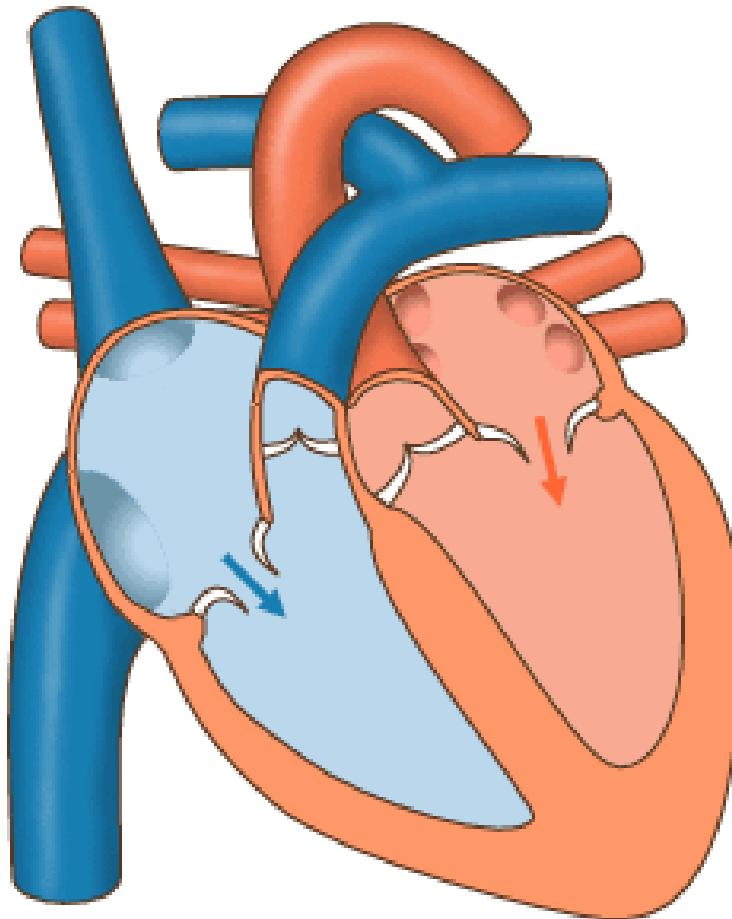


A
♦

El «as» de corazones



El «as» de corazones



Vasos sanguíneos:

- Arterias
- Venas
- Capilares

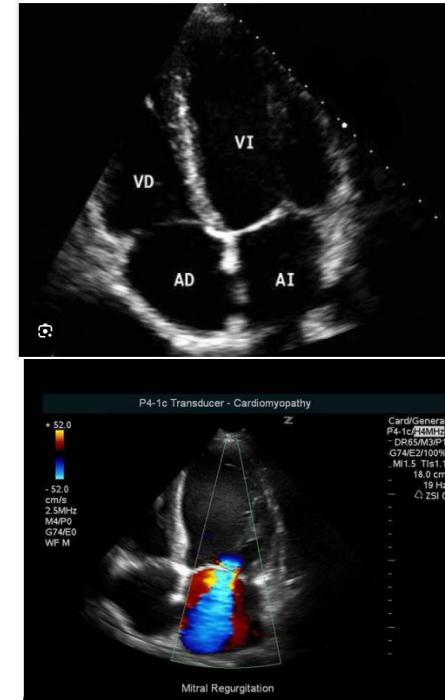
Modulación transporte

- Ritmo cardiaco
- Vasodilatación

Exploración del corazón

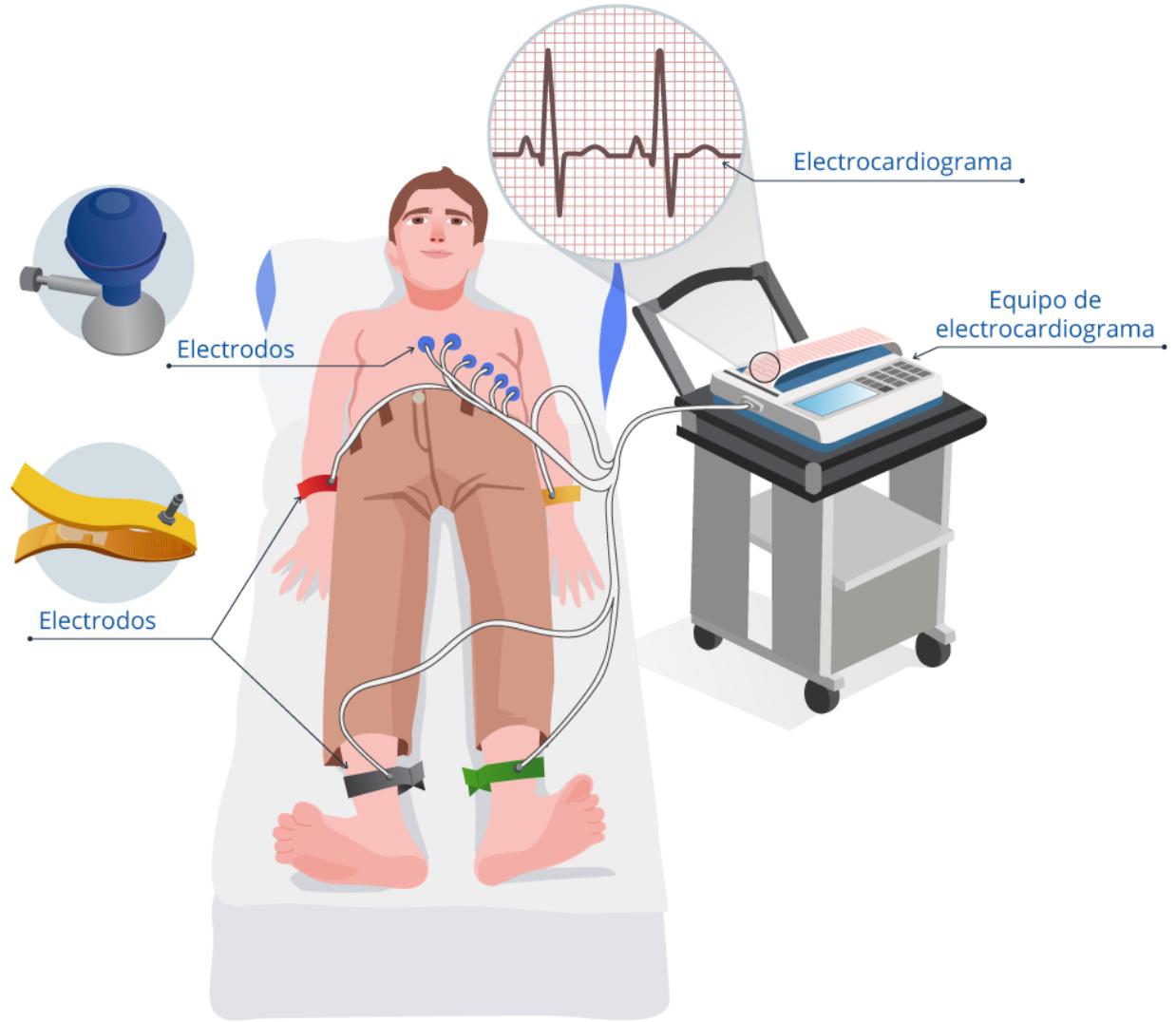


- Actividad mecánica
 - Sin instrumentos (oído, tacto, vista)
 - Fonendo (sonido)
 - Ecografía (imagen)
 - Ecografía doppler (movimiento sangre)
 - Pulsioxímetro
- Actividad eléctrica
 - Electrocardiografía
 - Biopotenciales cardiacos

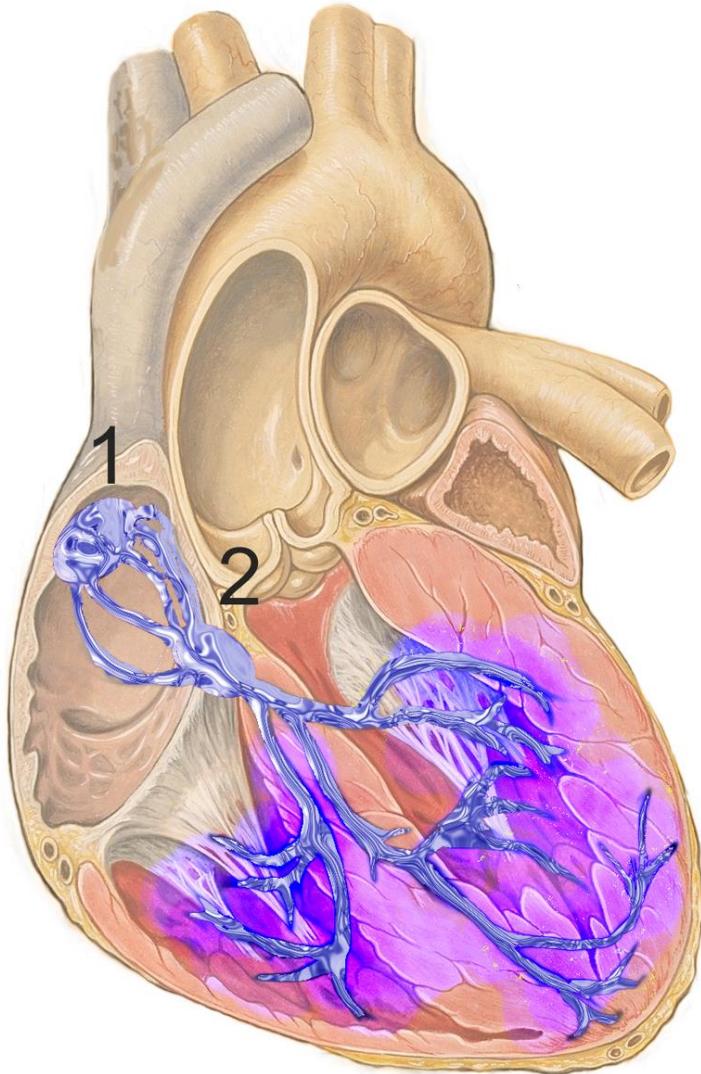


Electrocardiografía

- Actividad eléctrica asociada a actividad neuromuscular del corazón



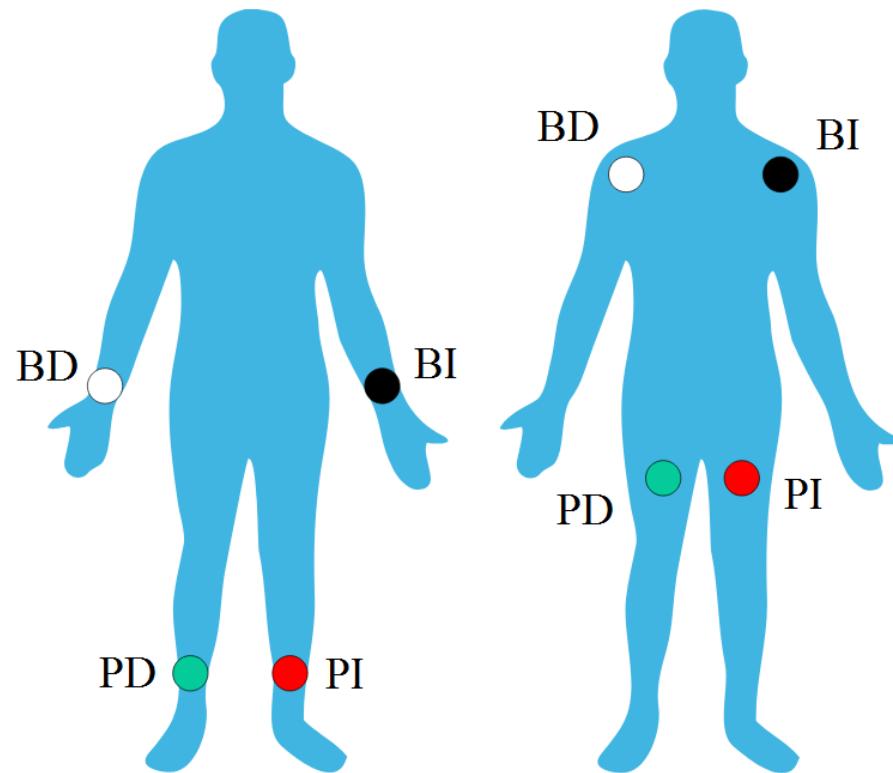
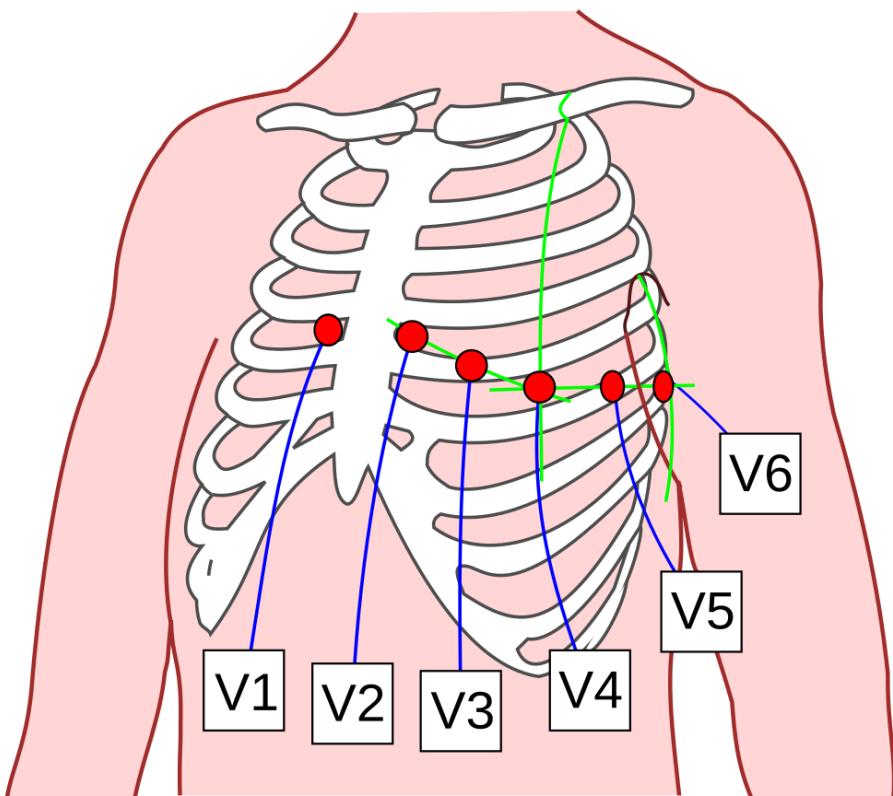
Inervación del corazón



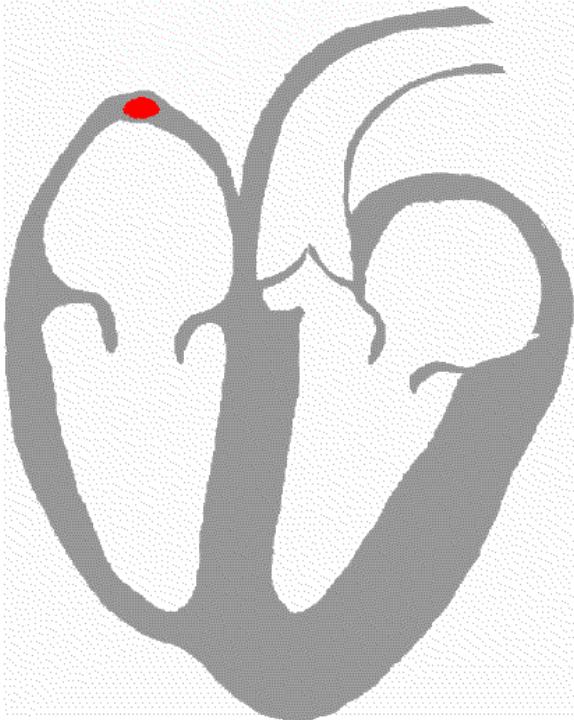
1. Nodo sinoauricular
2. Nodo auriculoventricular

Electrodos ECG

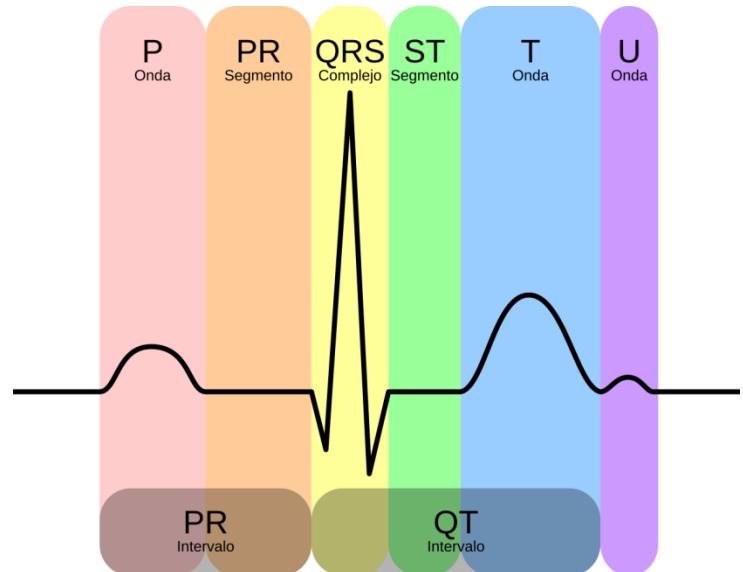
- 6 precordiales + 4 periféricos (12 derivaciones)



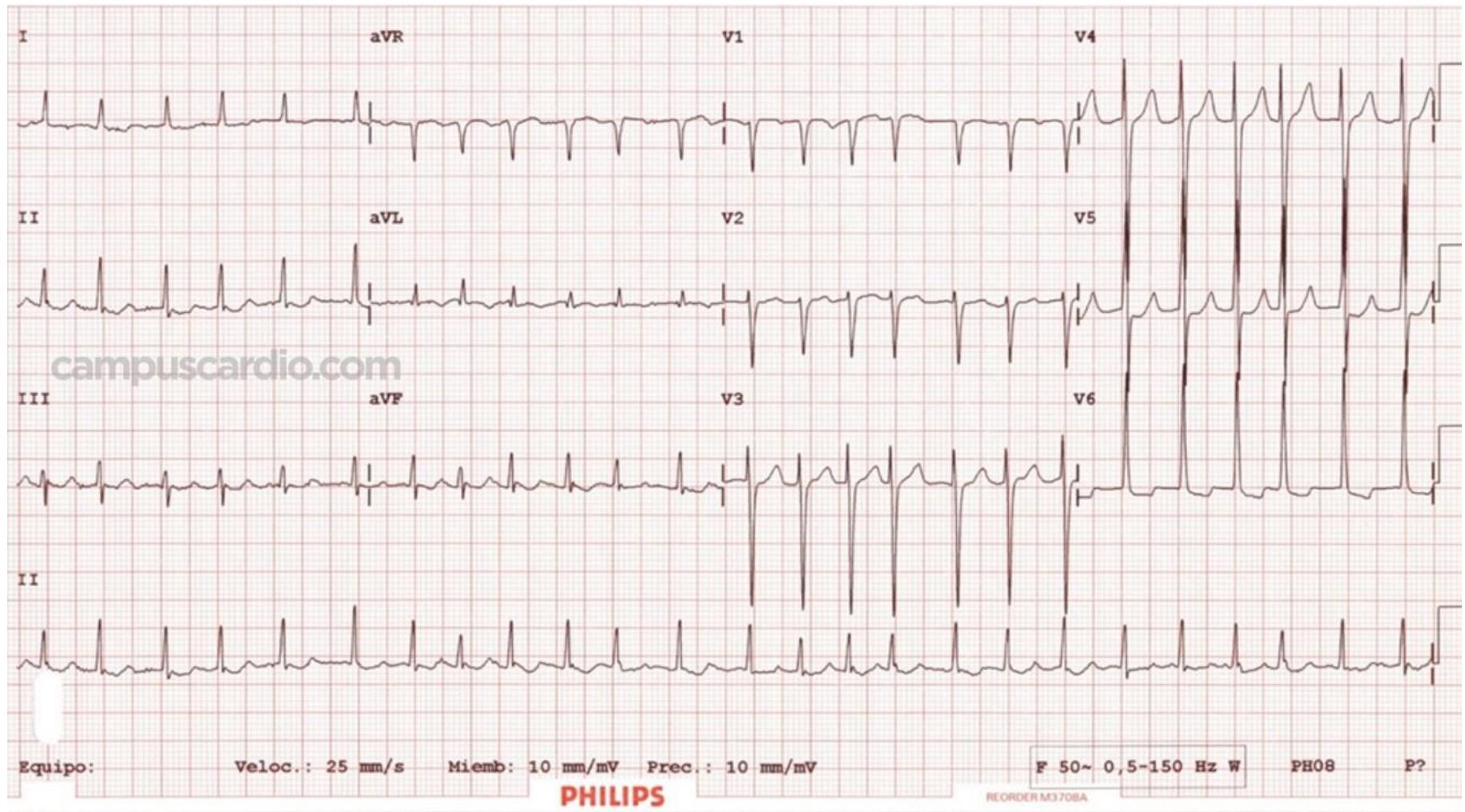
Señal ECG



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



ECG de 12 derivaciones



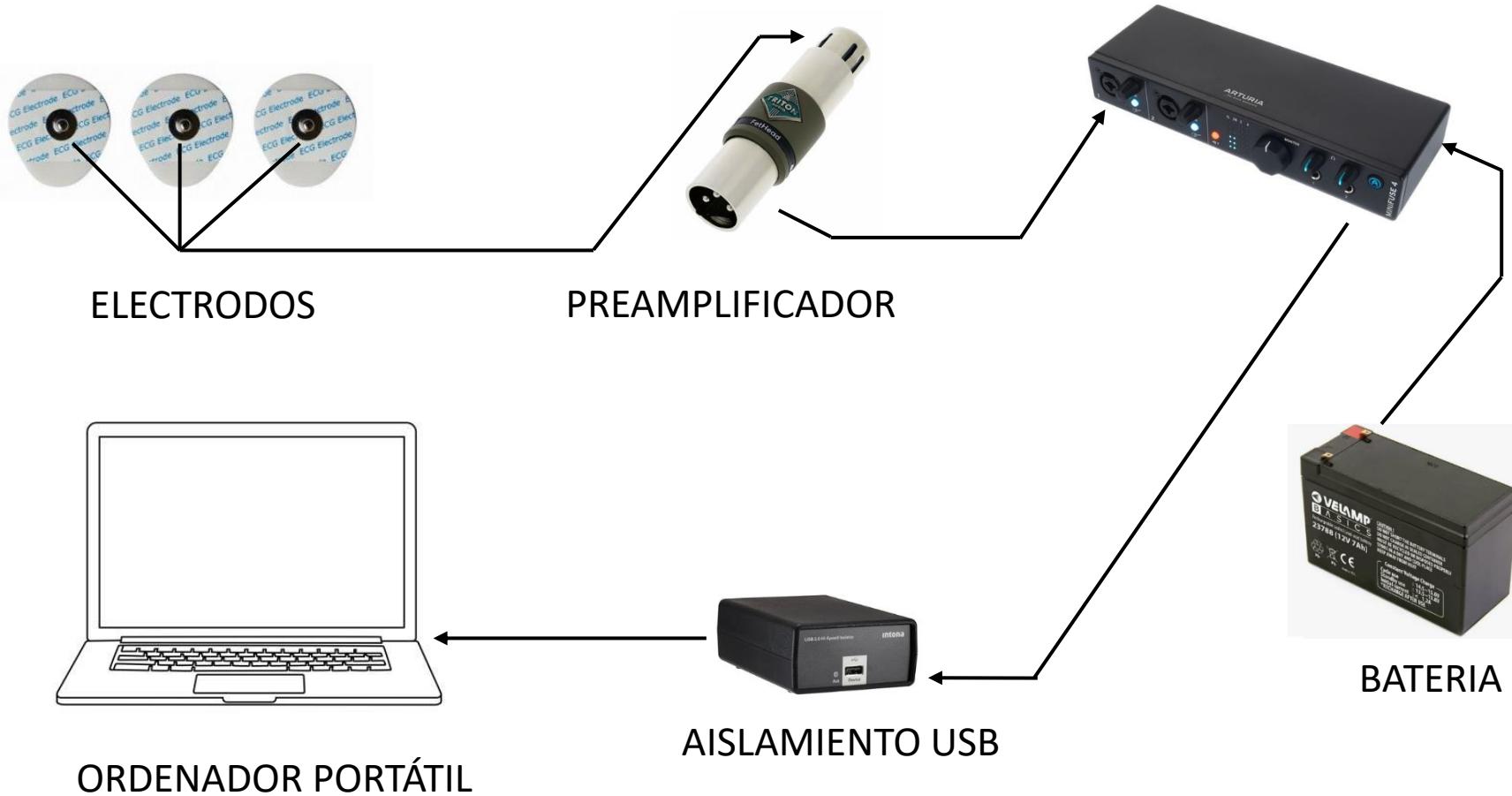
Biopotenciales cardiacos

- 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...)

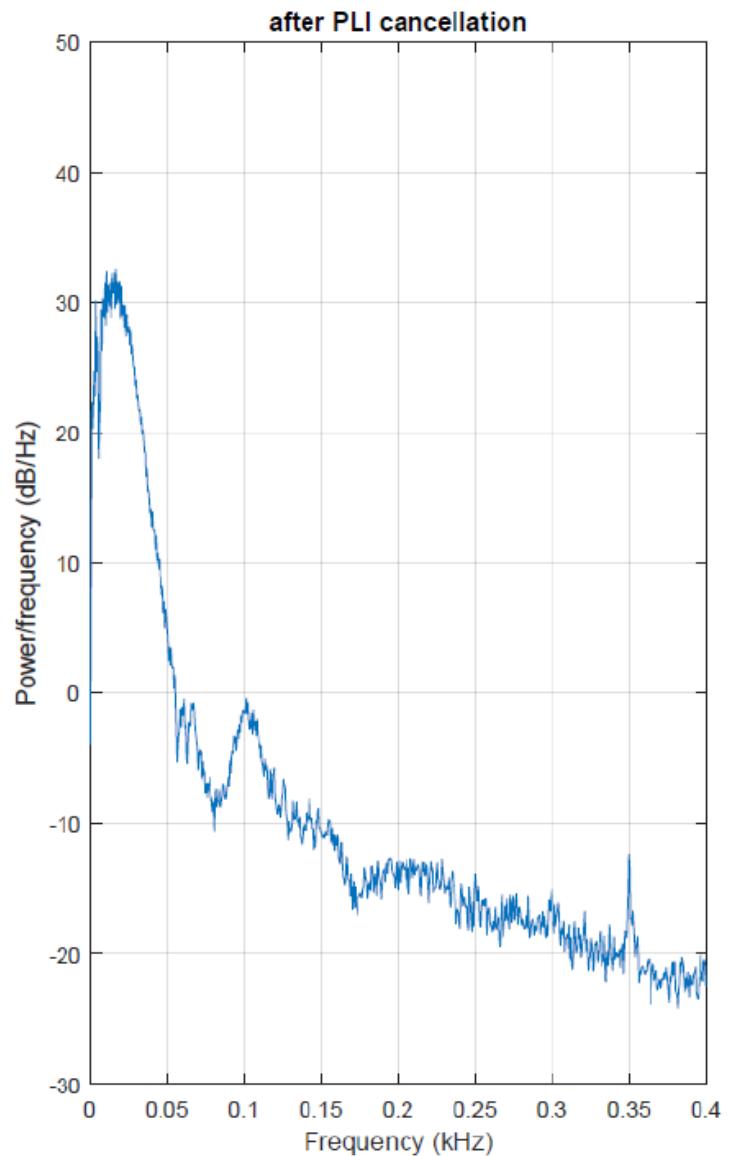
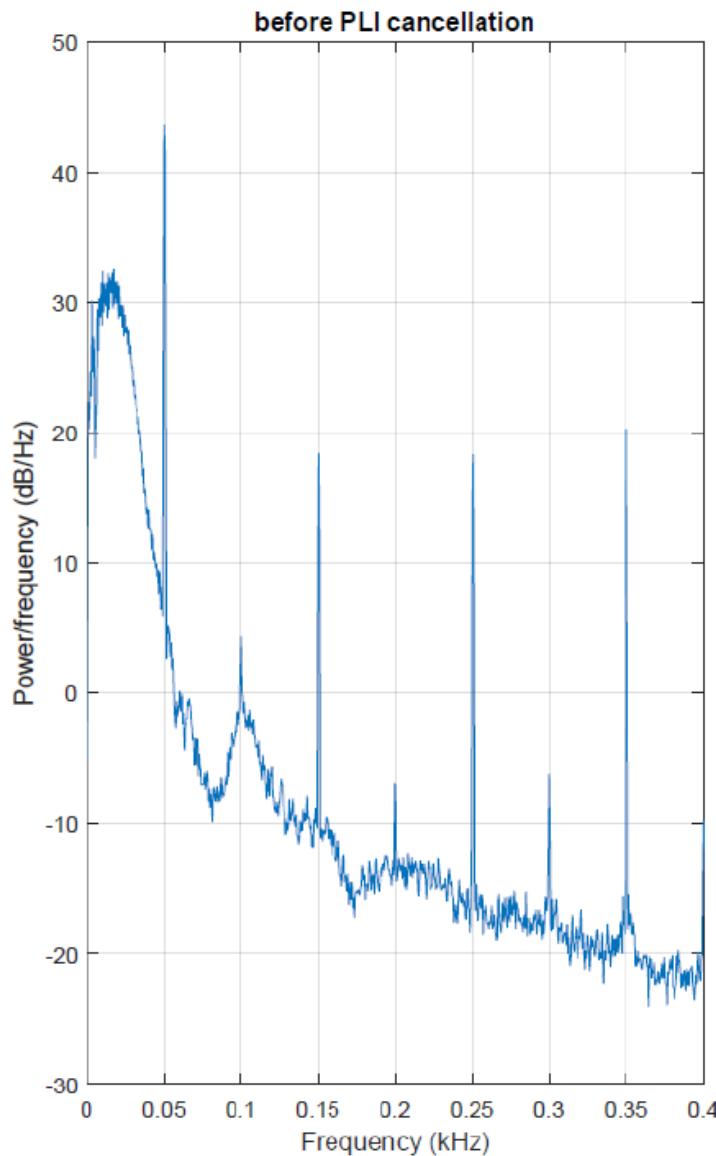
CARECE DE VALOR DIAGNÓSTICO

Equipo registro

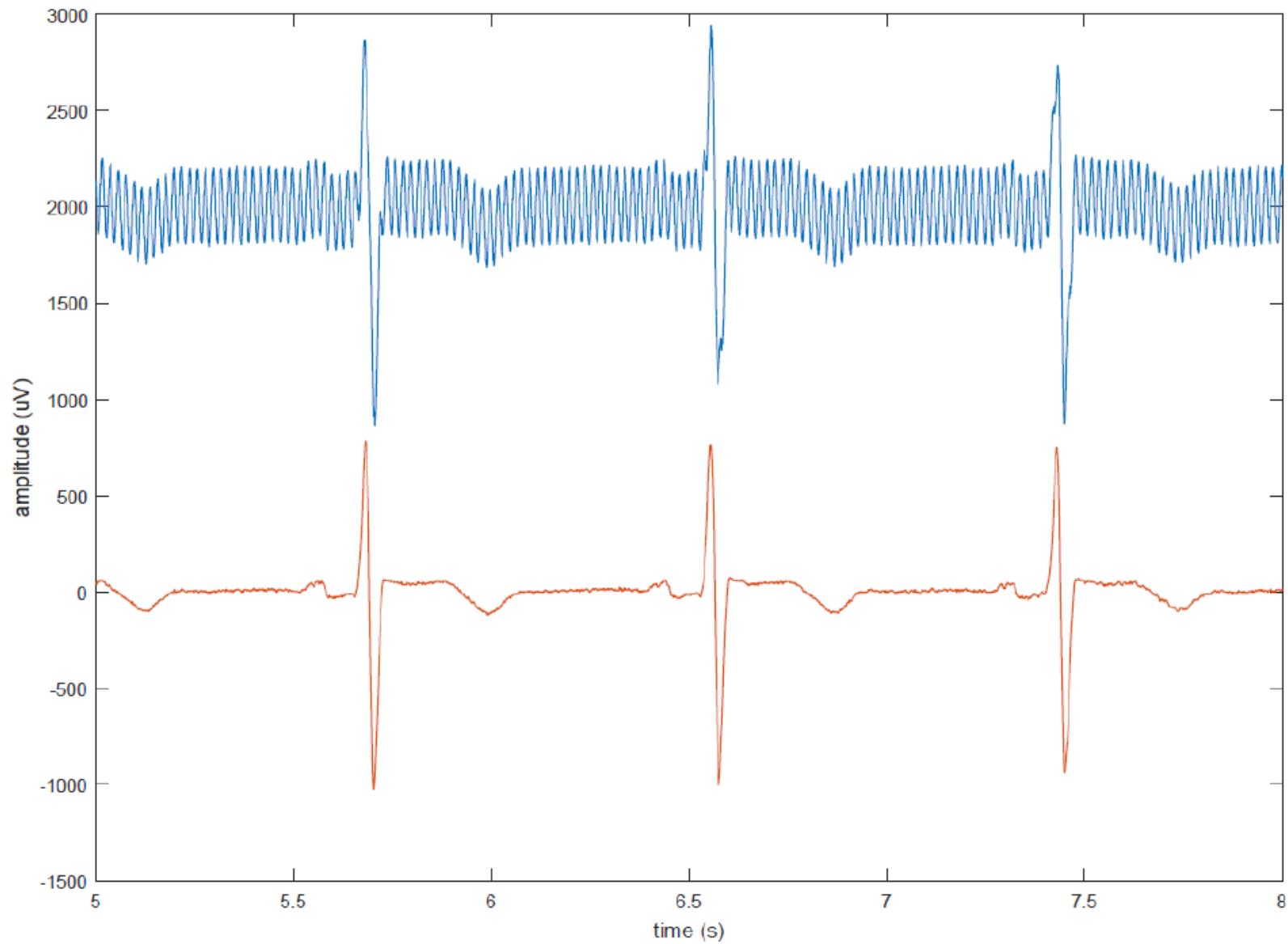
INTERFAZ AUDIO AD/DA



Ruido red eléctrica (PLI)



Ruido red eléctrica (PLI)

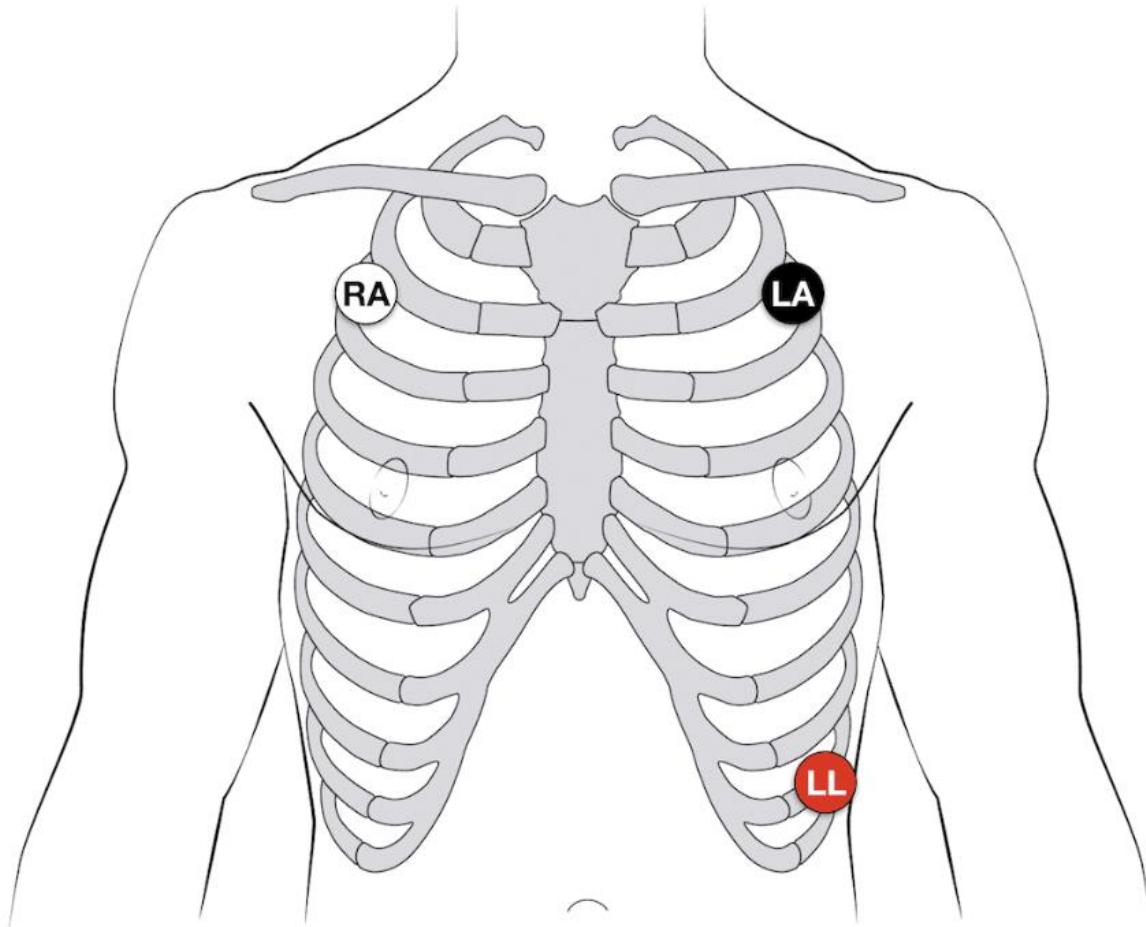


Taller de biopotenciales cardiacos

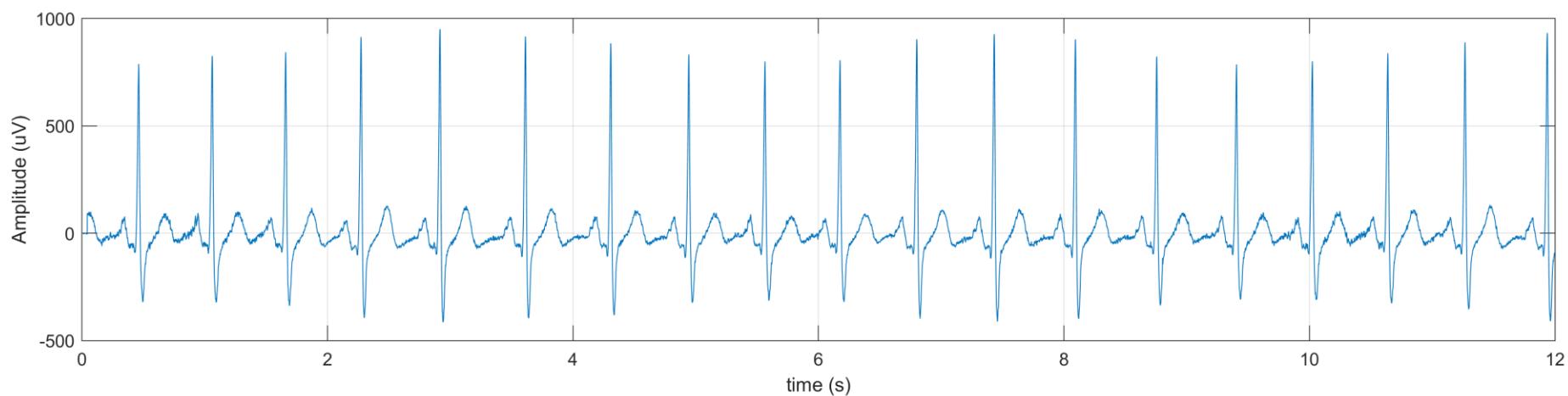
- Objetivos (educativo, divulgativo)
 - Observación P-QRS-T
 - Pulso cardiaco
 - Variaciones del pulso cardiaco según actividad
 - Actividad miogénica
- Experimentación con humanos
 - Información + consentimiento informado
- Carece de valor diagnóstico

Colocación electrodos

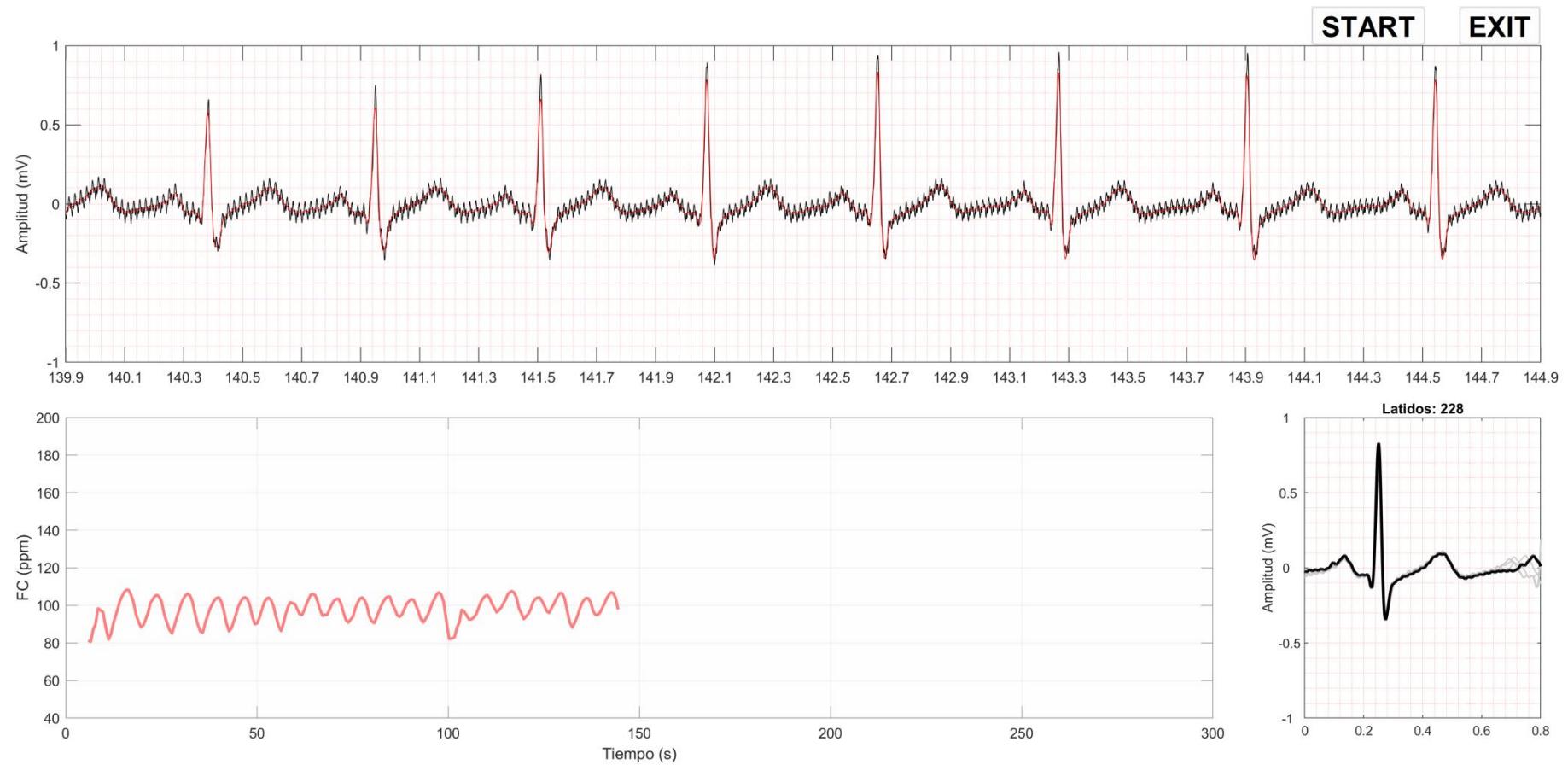
- Electrodos
 - Autoadhesivos
 - Desechables
 - Gel conductor
- Limpieza previa
 - Alcohol
- Posiciones
 - RA (-)
 - LL (+)
 - LA (GND)
- Indoloro (medida)



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>



UNIVERSIDAD
DE GRANADA



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

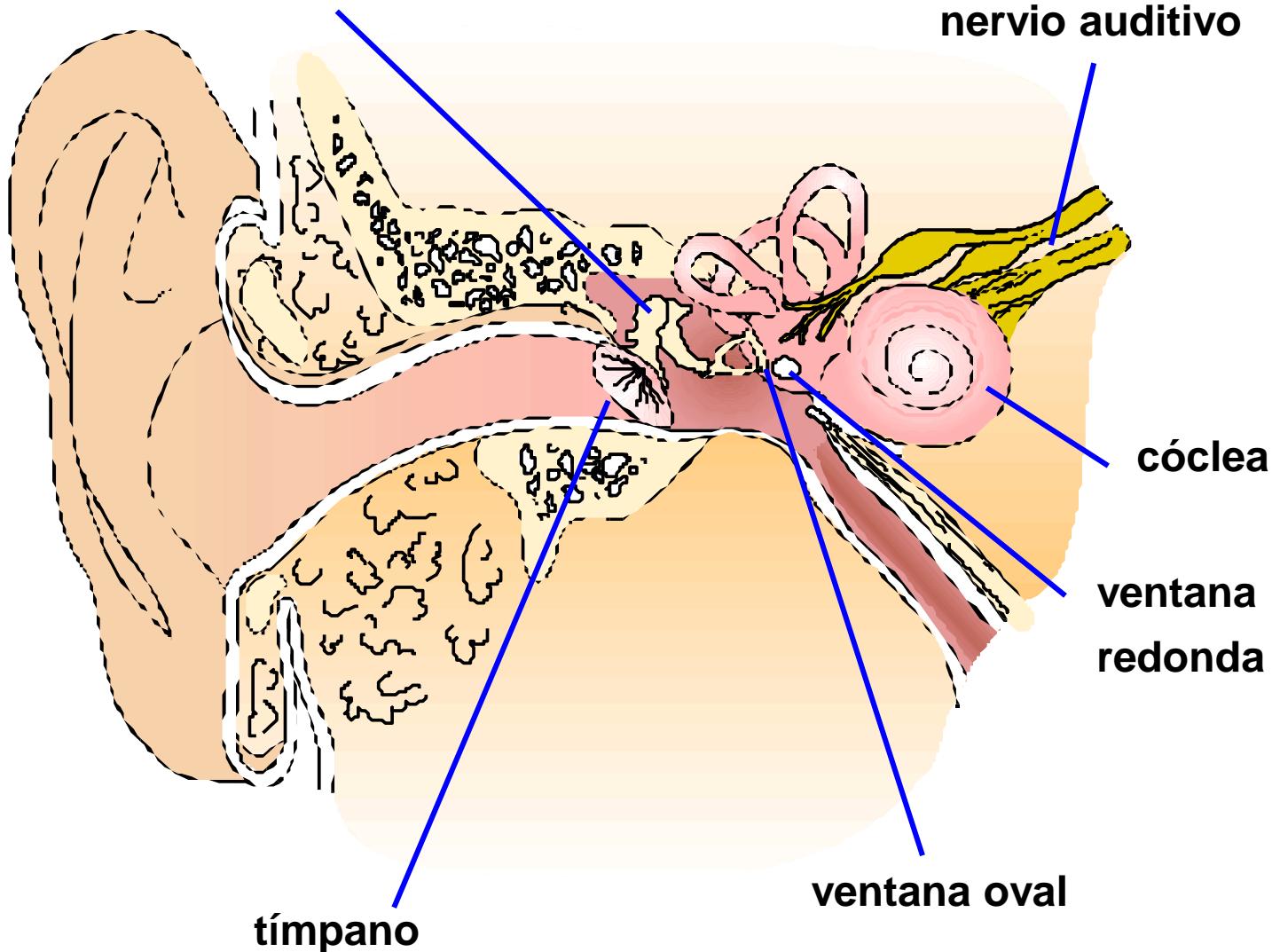


Objetivo del taller

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

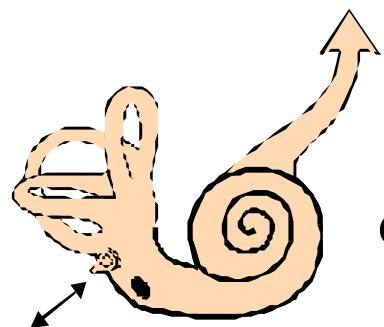
El oído humano

cadena de huesecillos



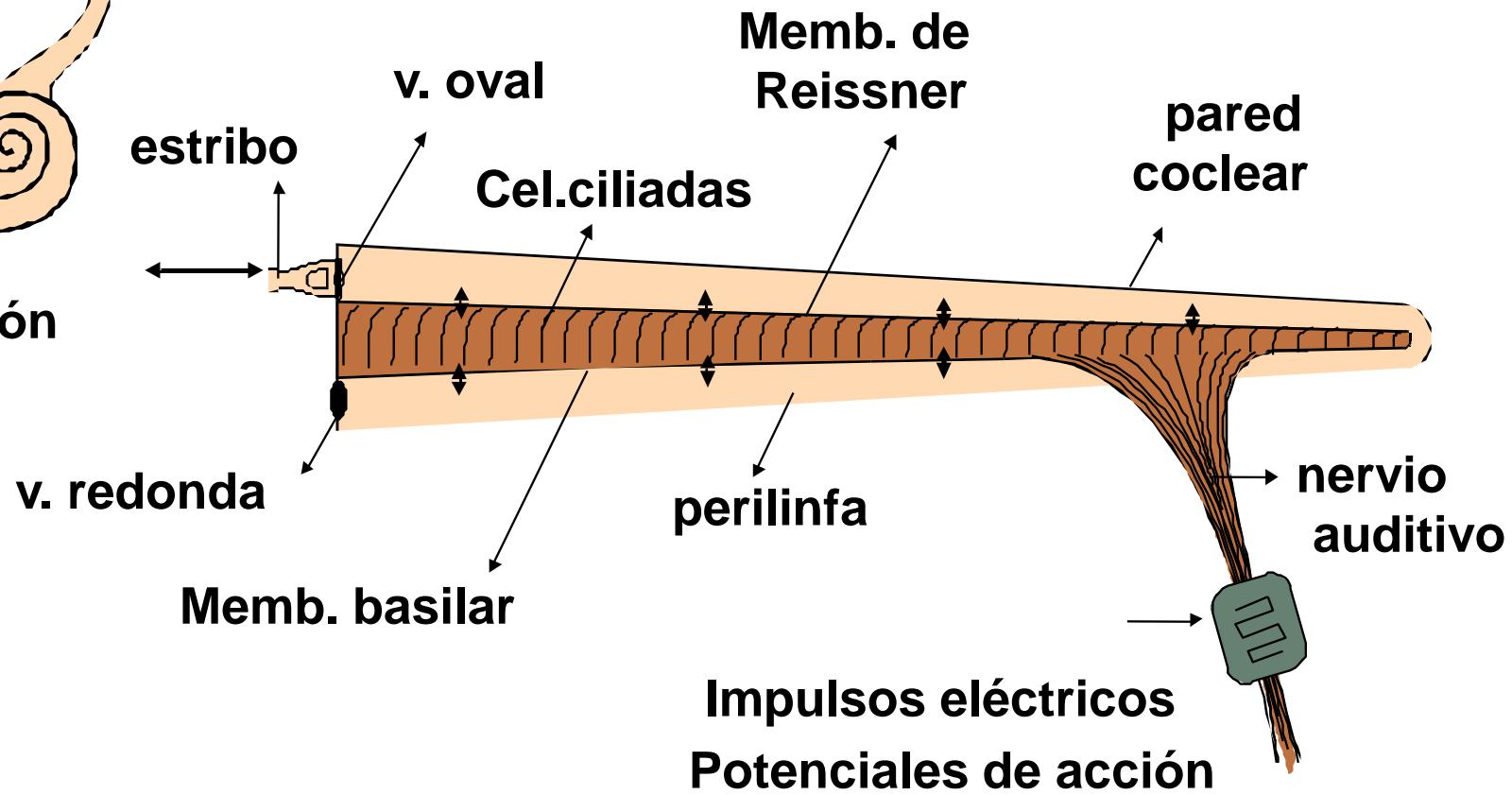
Transducción auditiva

cóclea



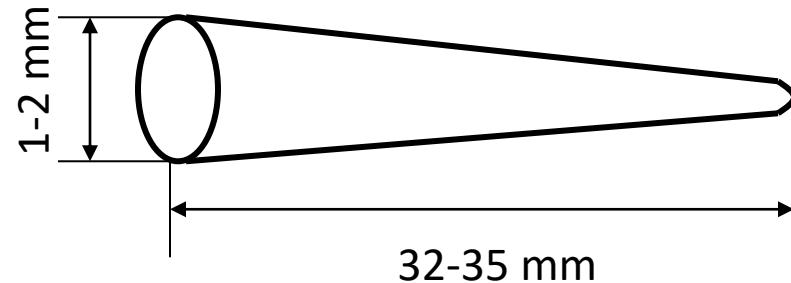
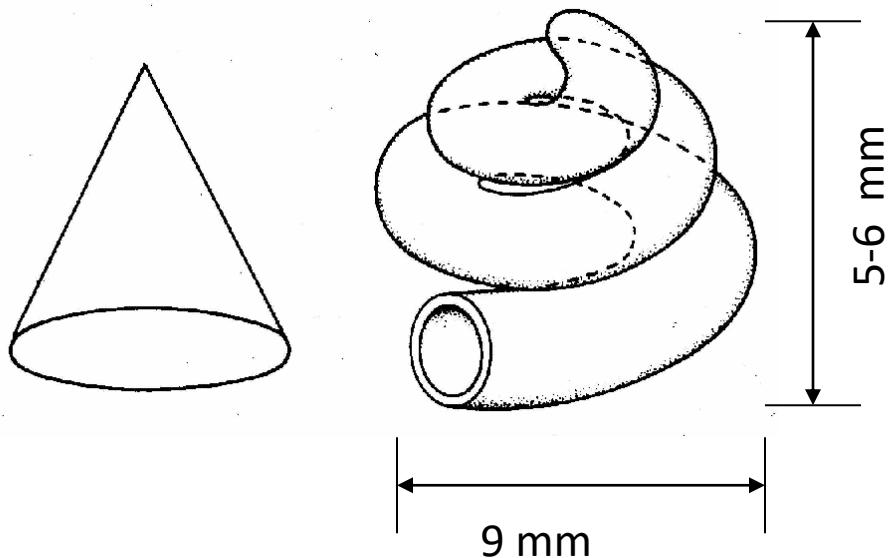
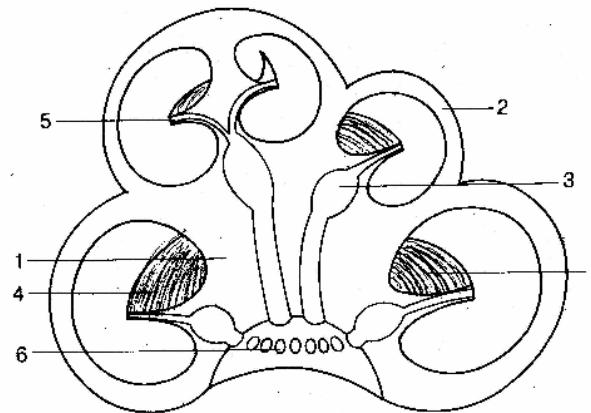
vibración

cóclea desenrollada

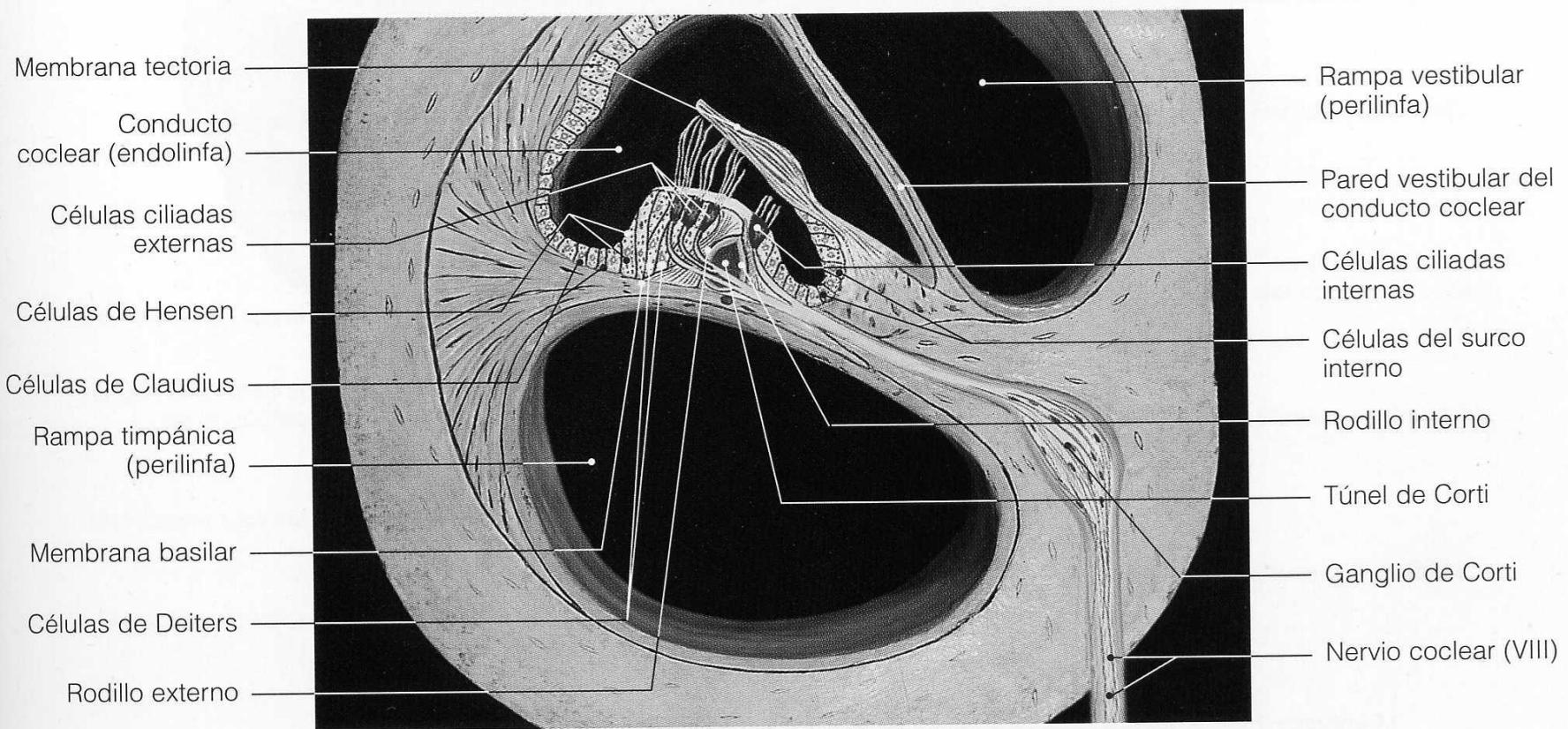


La cóclea: parte ósea

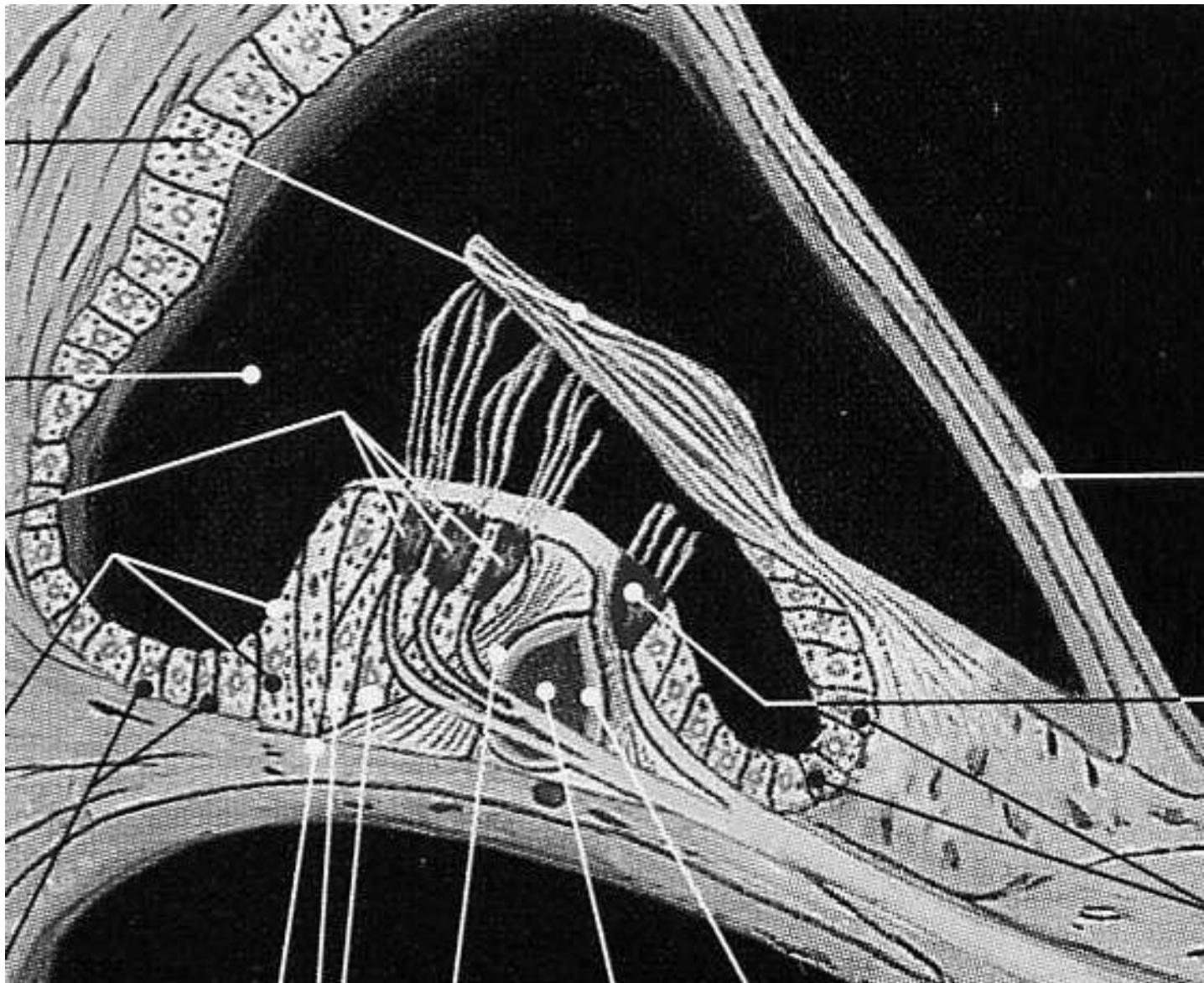
- Hueso compacto
- Formado en el 5º mes de vida embrionaria
- Tubo cónico, enrollado sobre cono que describe 2 vueltas y media



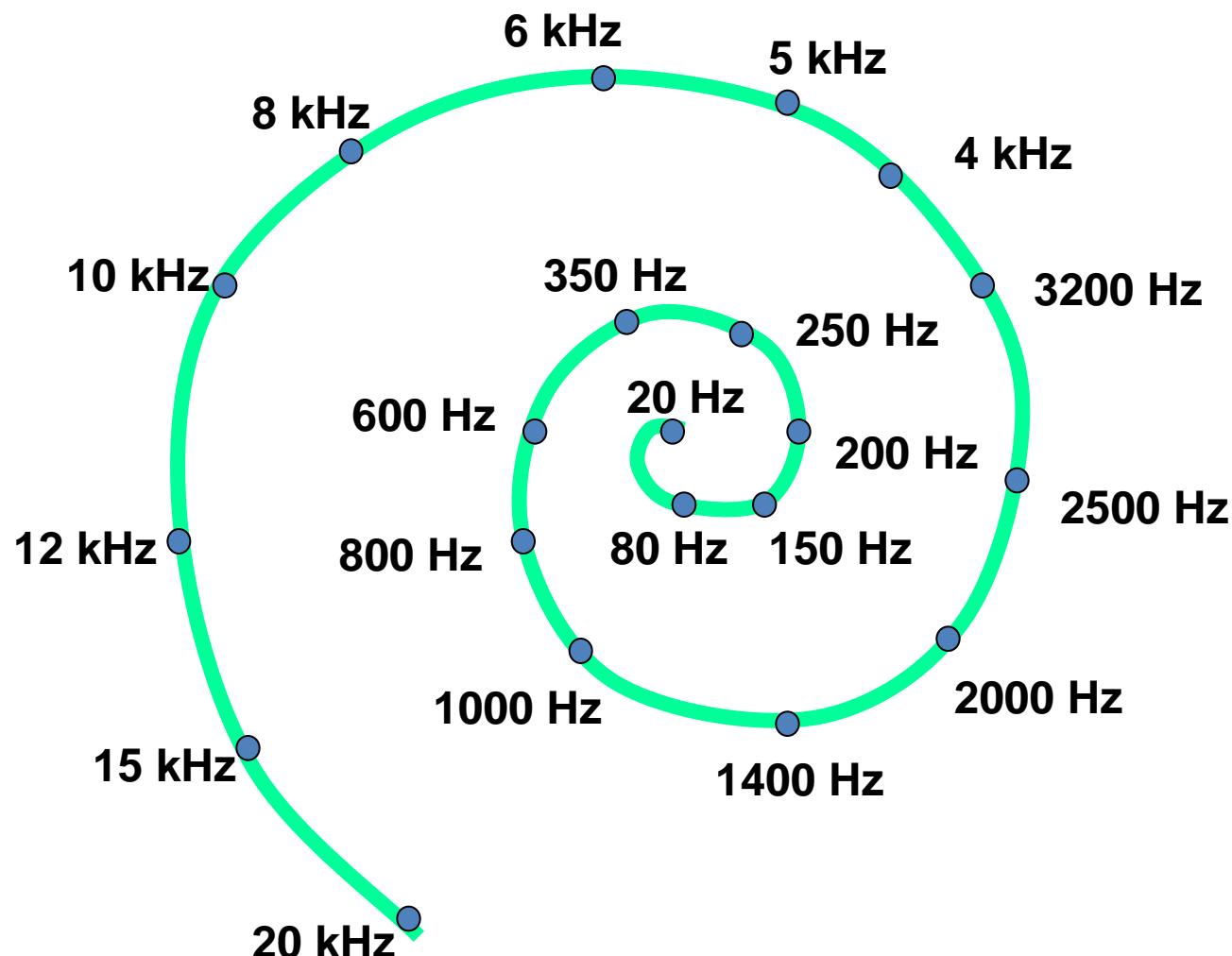
La cóclea: parte membranosa



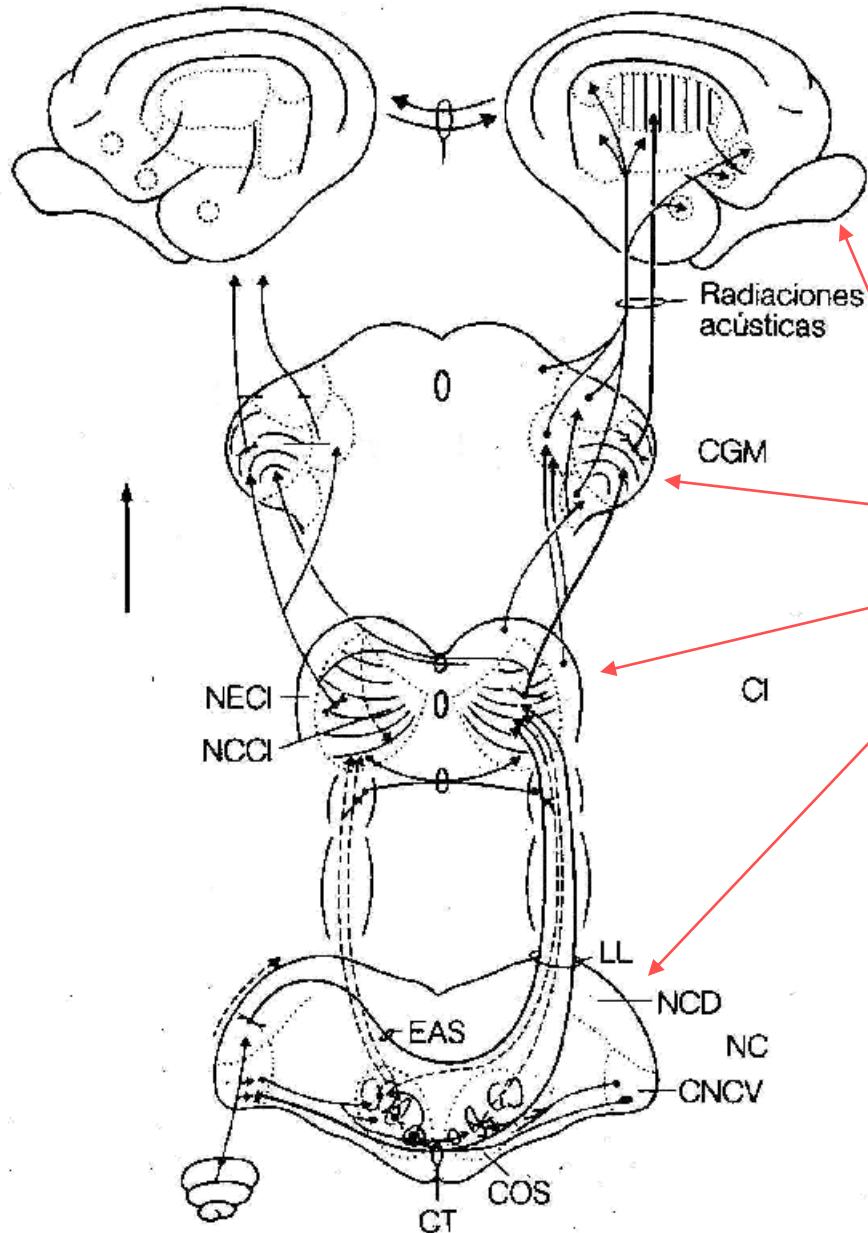
La cóclea: células ciliadas



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

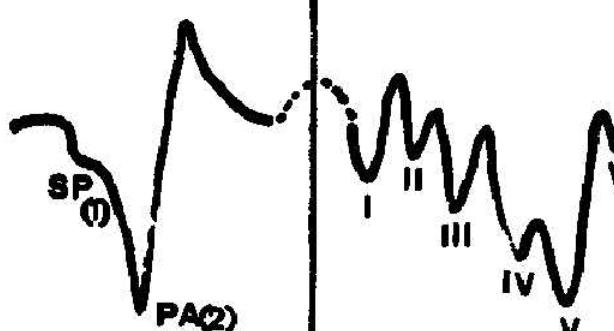
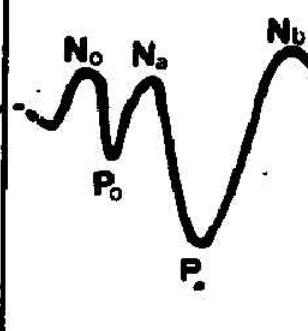
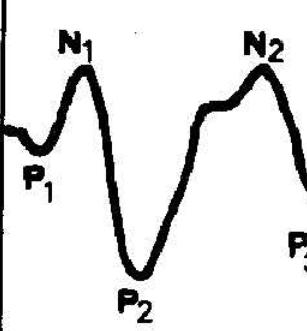
Consecuencias:

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

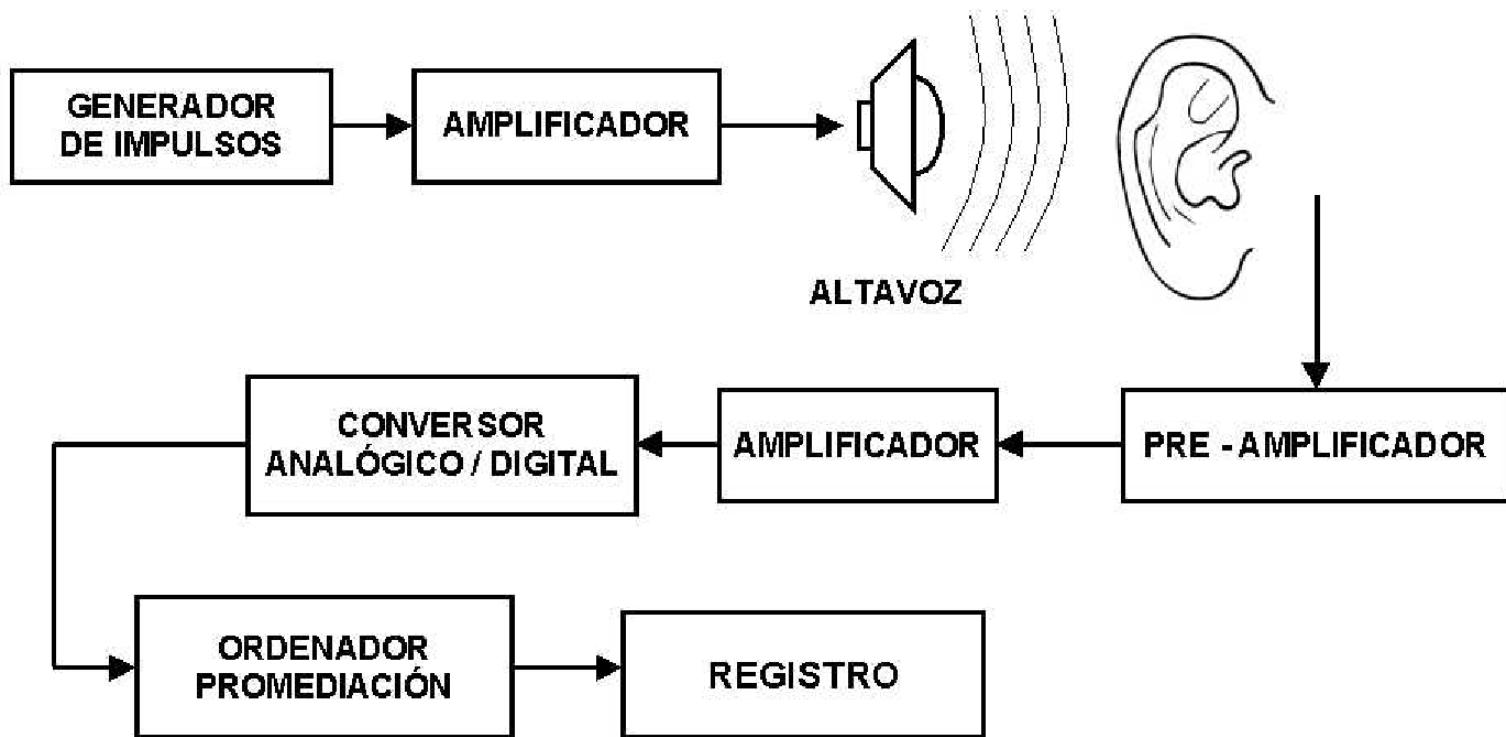
Exploraciones audiológicas

- 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 10 - 15 MSEG  TRONCO CEREBRAL	15 - 80 MSEG  TRONCO CEREBRAL-CORTEZA?	80 - 300 MSEG  AREAS CORTICALES PRIMARIAS	300 - 750 MSEG  AREAS CORTICALES SECUNDARIAS Y CENTROS DE ASOC.
RCP(4)	REGISTRO EN CAMPO	LEJANO	

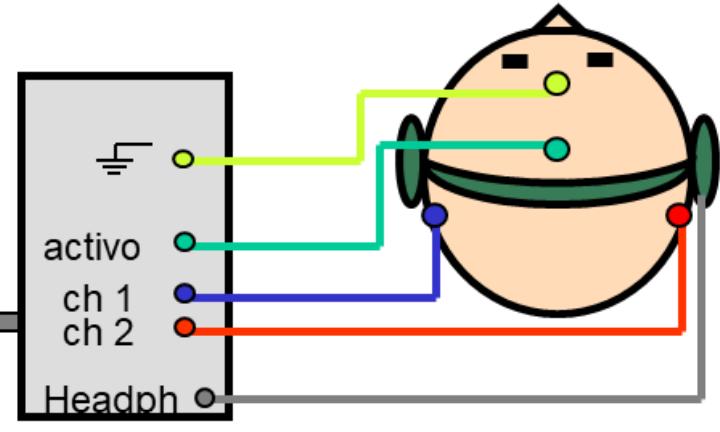
Registro AEPs



Registro AEPs

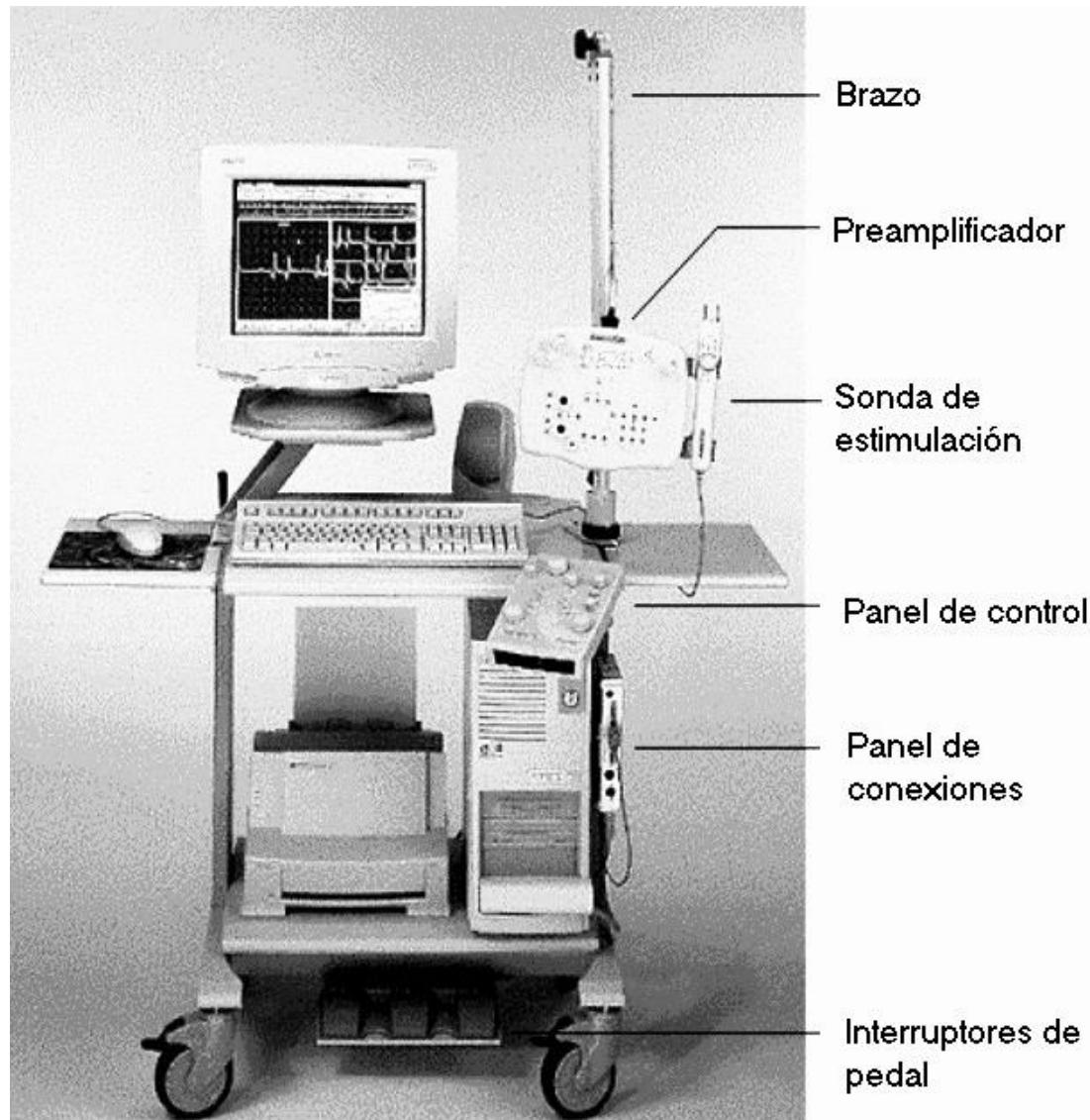


Ordenador para
registro de potenciales

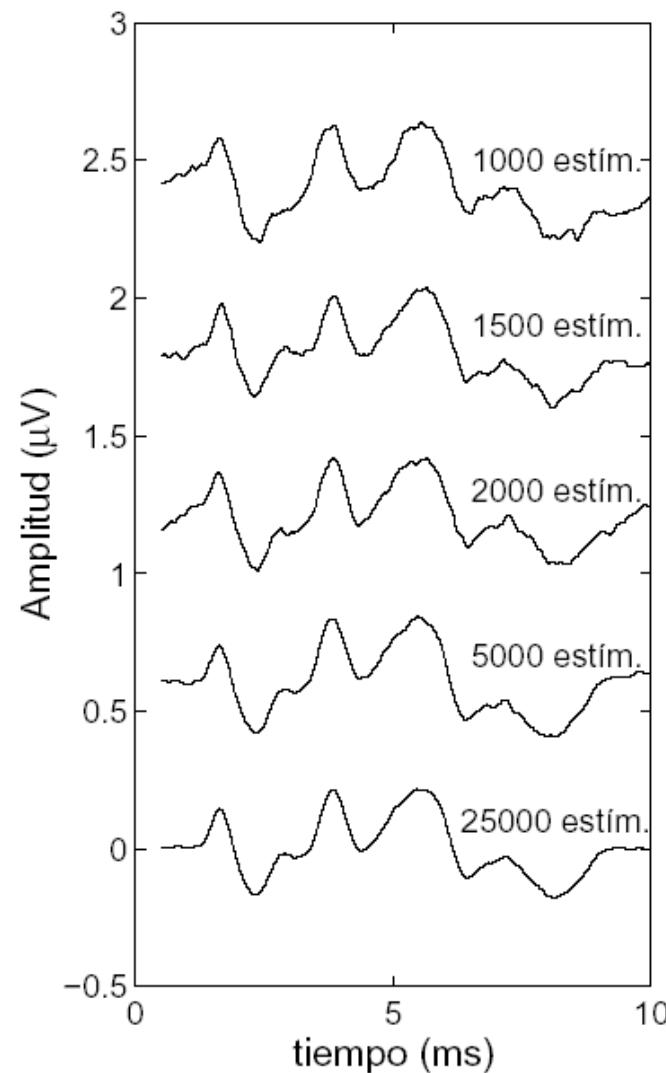
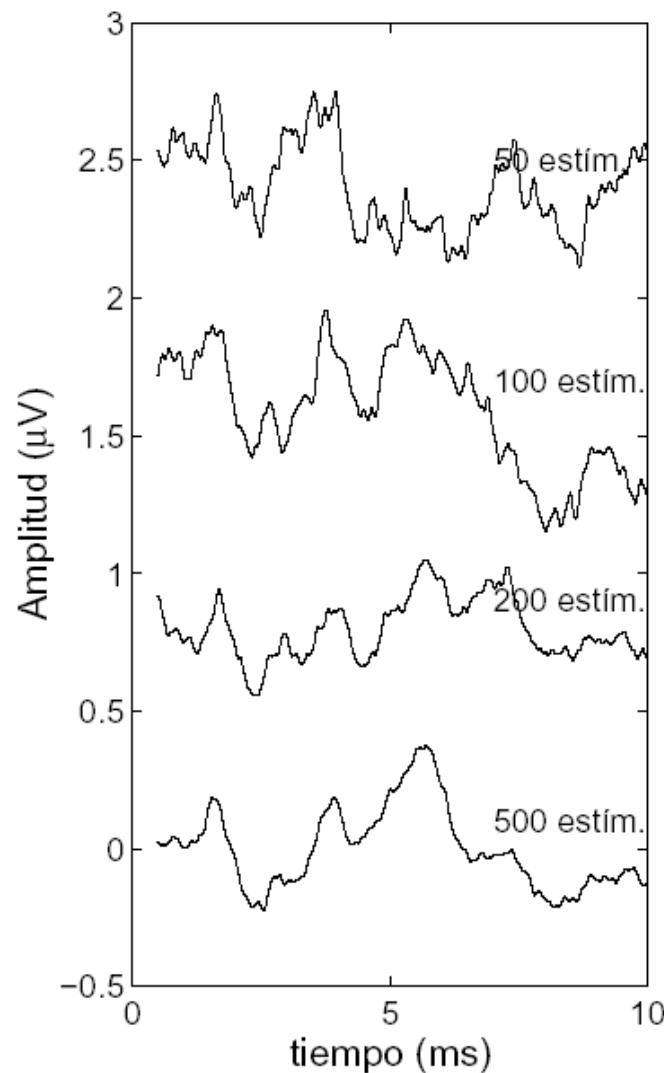


Preamplif.

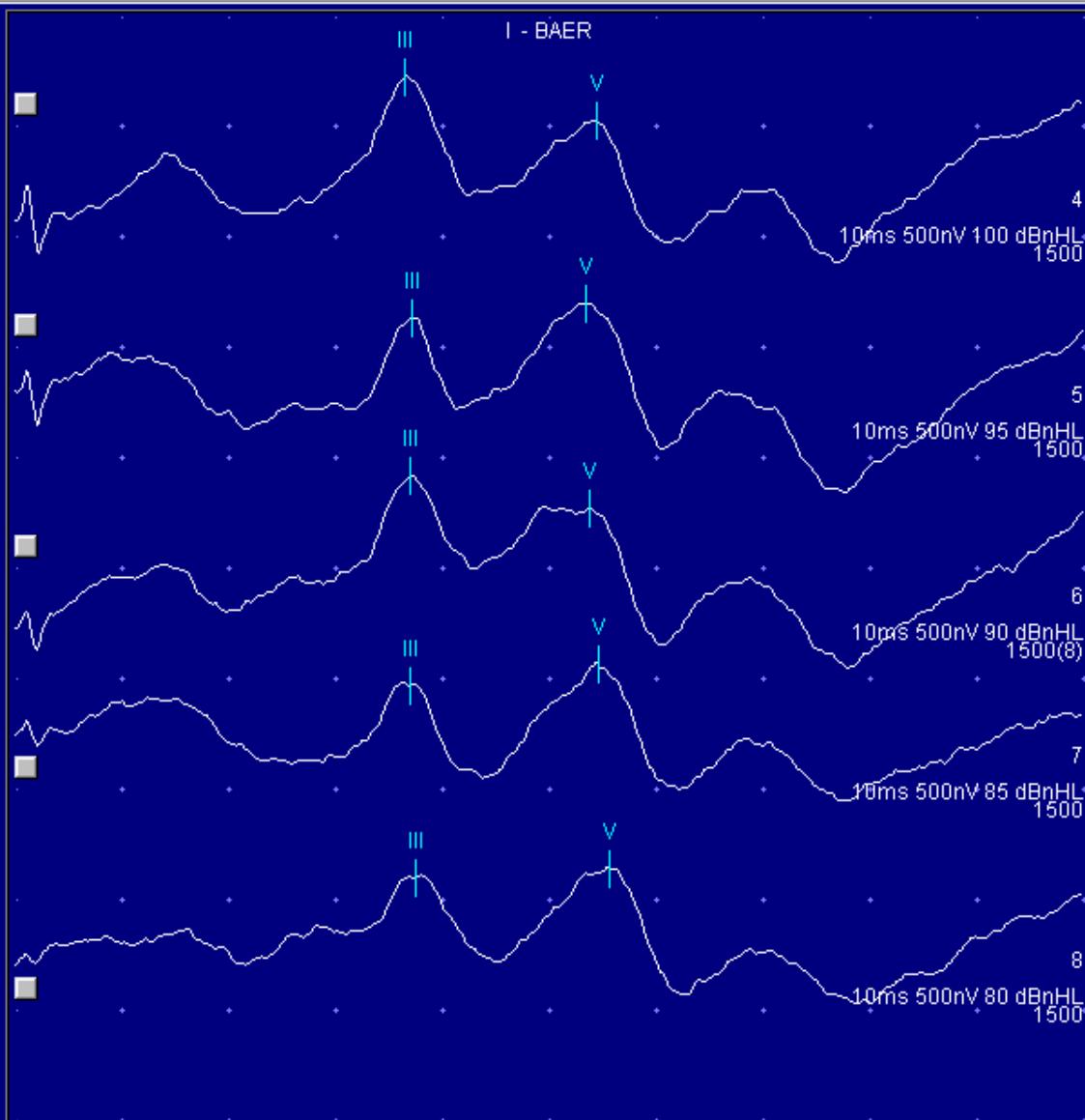
Equipo para registro AEPs



Amplitud y ruido (SNR): Promediación



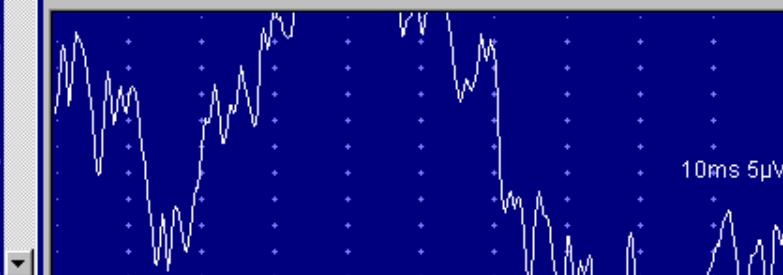
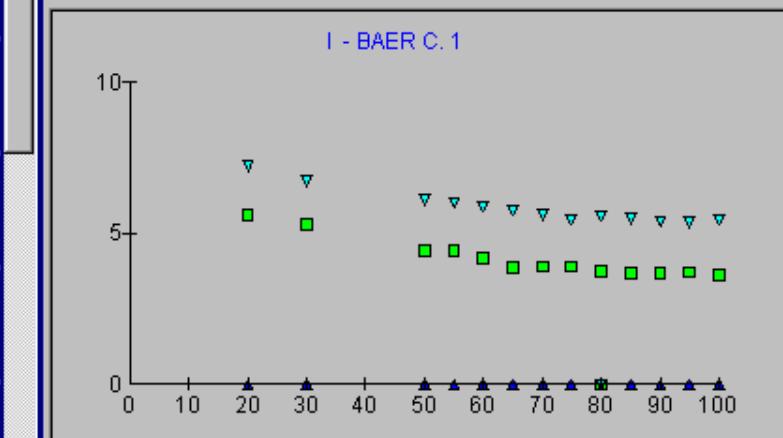
Estím. 20 dBnHL 30pps 50/60 F1 F2 F3 F4 F5 F6 F7 F8 F9 F10
 Mic. 100% Mask de A



I - BAER

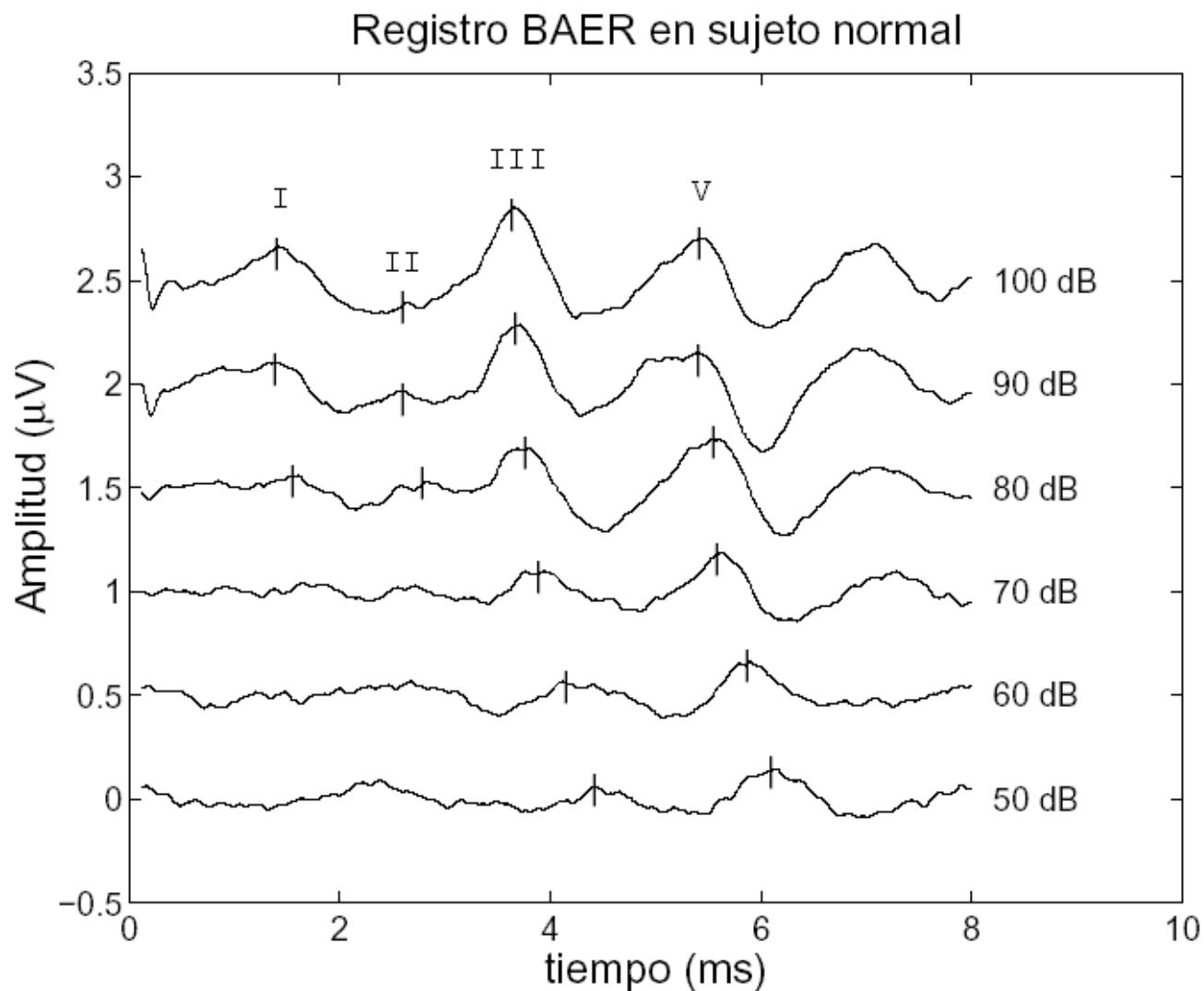
Ejecutar

	Aud.Stim	I ms	III ms	V ms
11	65nHL		3,88	5,76
12	60nHL		4,18	5,88
13	55nHL		4,42	6,00
14	50nHL		4,44	6,08
15	30nHL		5,28	6,70
16	20nHL		5,58	7,22



F1 Siguiente F2 Menú del test F3 Siguiente lado F4 Setup Adq F5 Impedancia F6 Setup de estím F7 Resultados F8 Autocomp. F9 S. Imponer F10 Imprimir

Análisis: amplitud y latencia



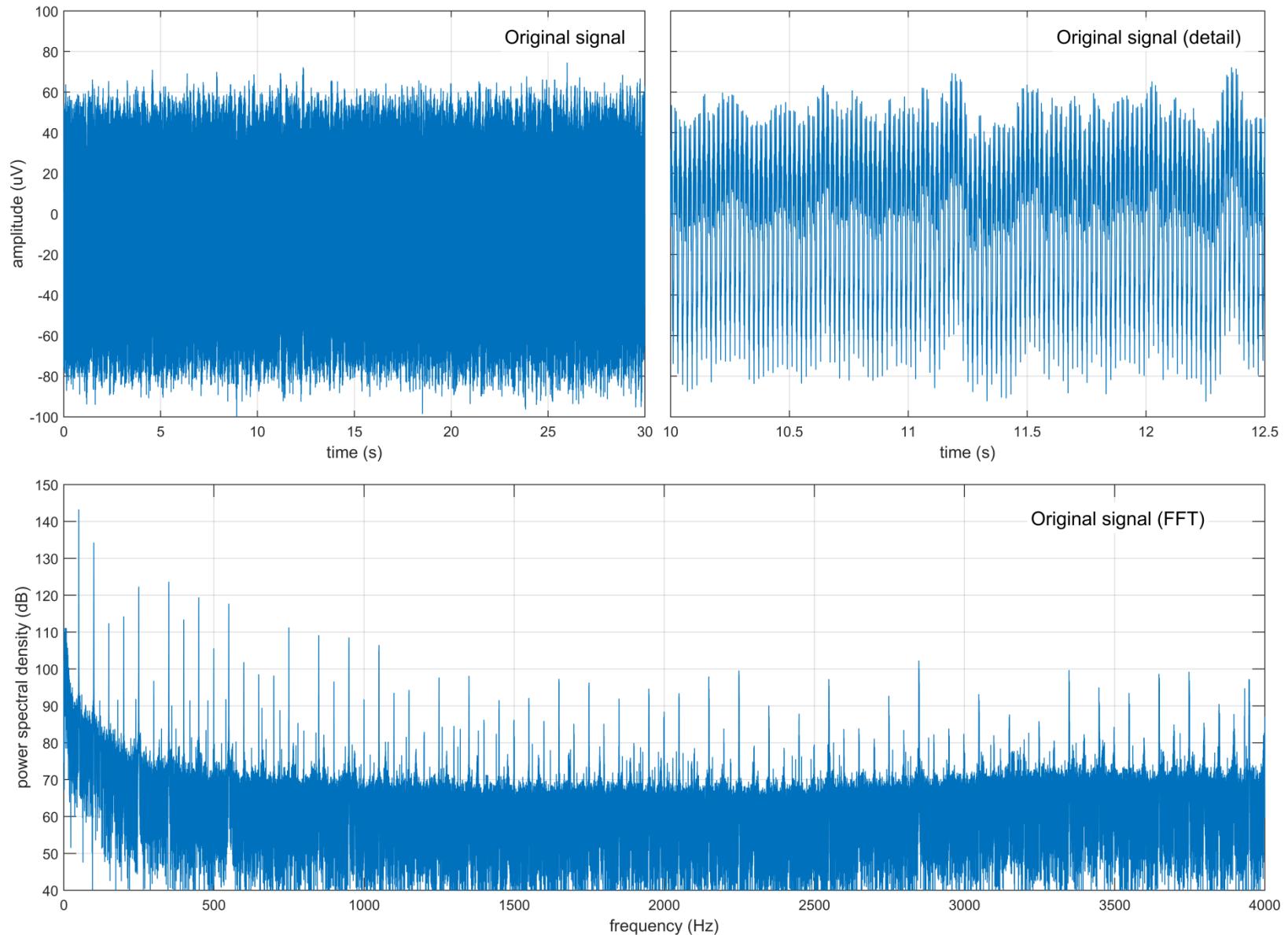
Nuestra aproximación

- 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...)

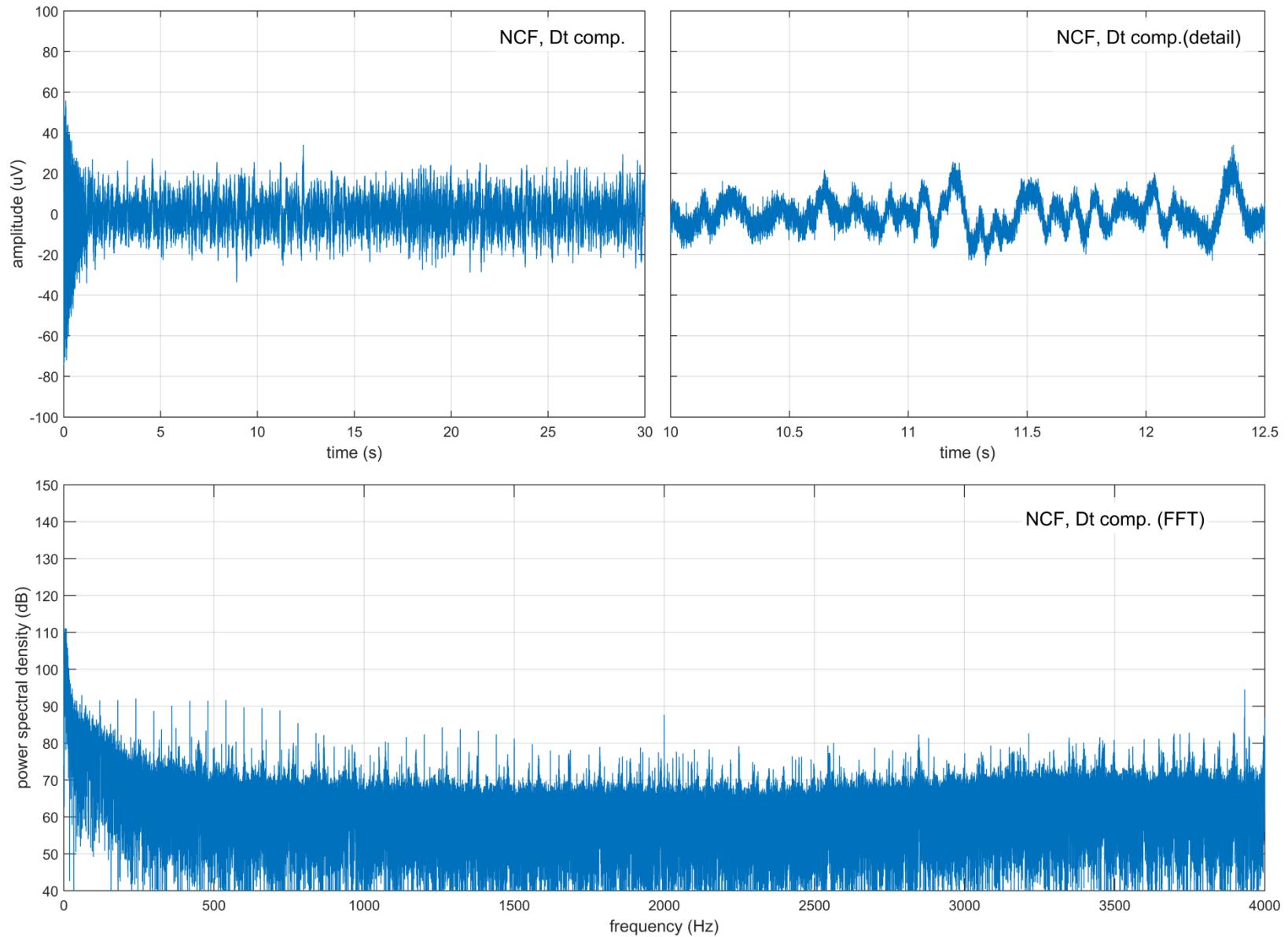
Equipo registro



Ruido red eléctrica (PLI)



Ruido red eléctrica (PLI)

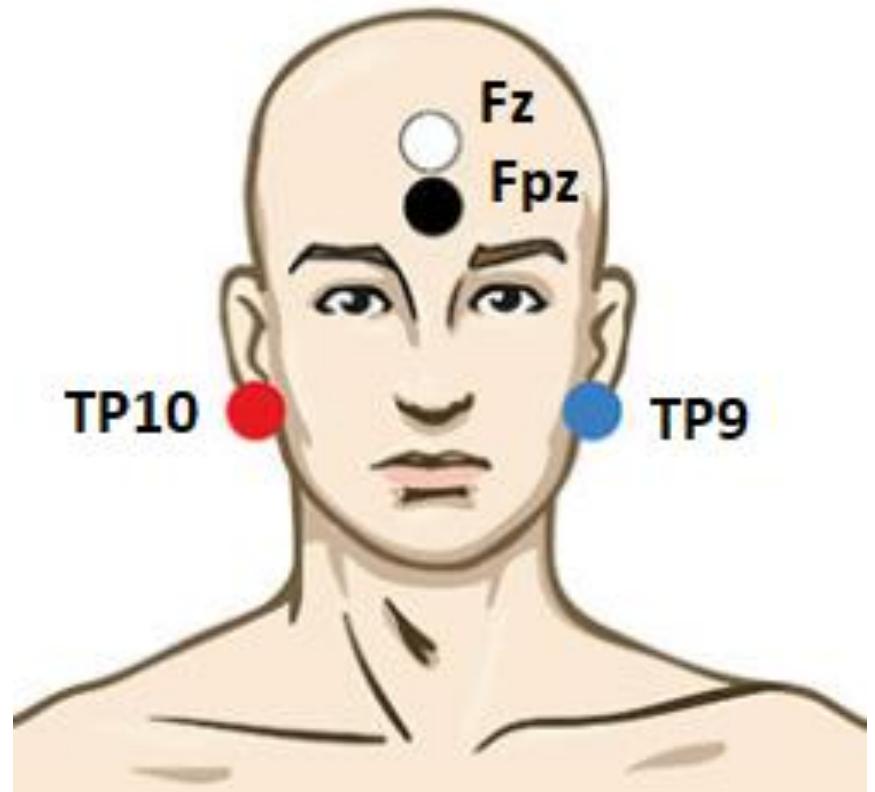


Taller de AEPs

- 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

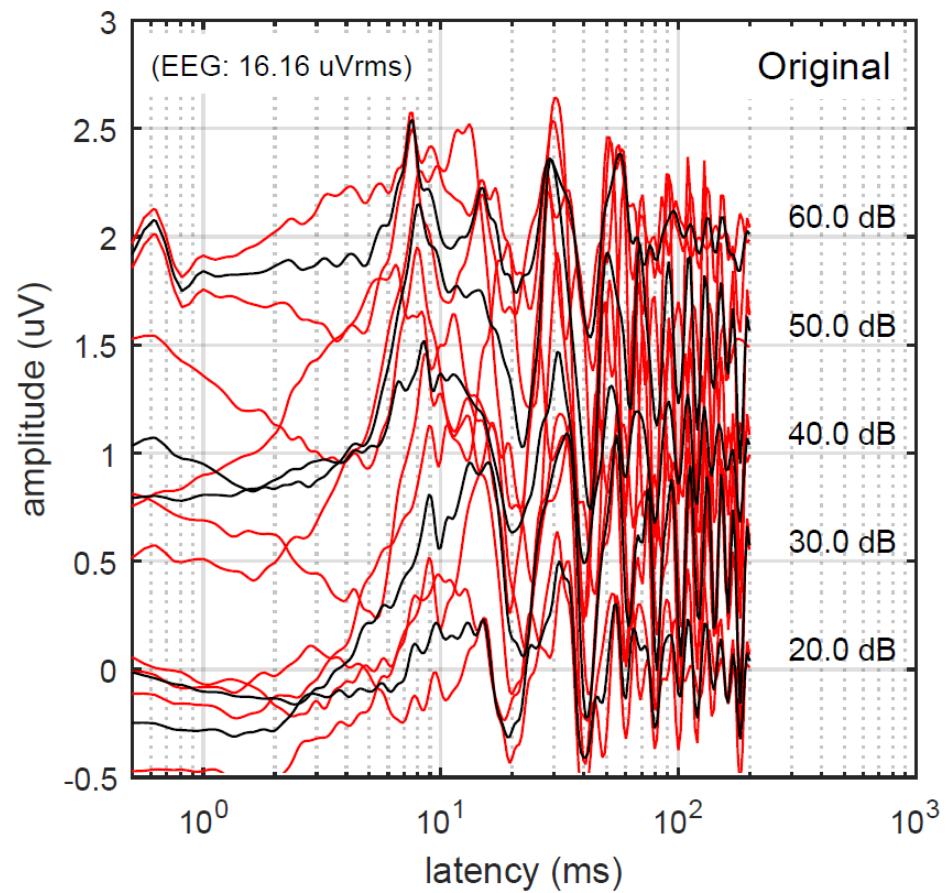
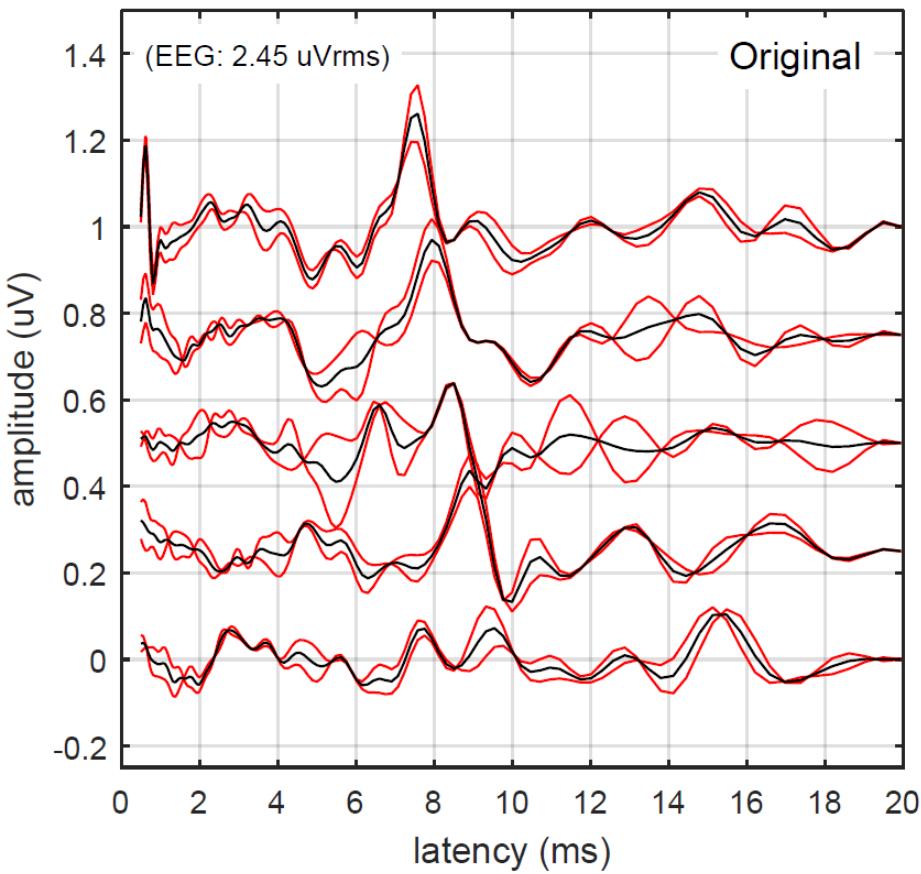
- Electrodos
 - Autoadhesivos
 - Desechables
 - Gel conductor
- Limpieza previa
 - Alcohol
- Posiciones
 - RA (-)
 - LL (+)
 - LA (GND)
- Indoloro (medida)
- Estímulos (clicks)



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 guitar PLI



Ejemplo respuesta sin guitar PLI

