

Estudiantes: Mariana Álvarez Yarce - Ana María Seguro Acevedo

Horario: Viernes 12-2pm (Grupo 3)

Informe Práctica 4 - Introducción a los biopotenciales y adquisición de señales ECG y EMG

1. Realice un esquema donde se describan y expliquen las diferentes etapas del registro de biopotenciales, desde la generación de los potenciales de acción hasta su adquisición por el equipo. Adicionalmente, describa a grandes rasgos los componentes de un equipo de adquisición.

R/ Para el proceso de adquisición y registro de los potenciales biológicos, se describe el siguiente esquema ilustrativo:

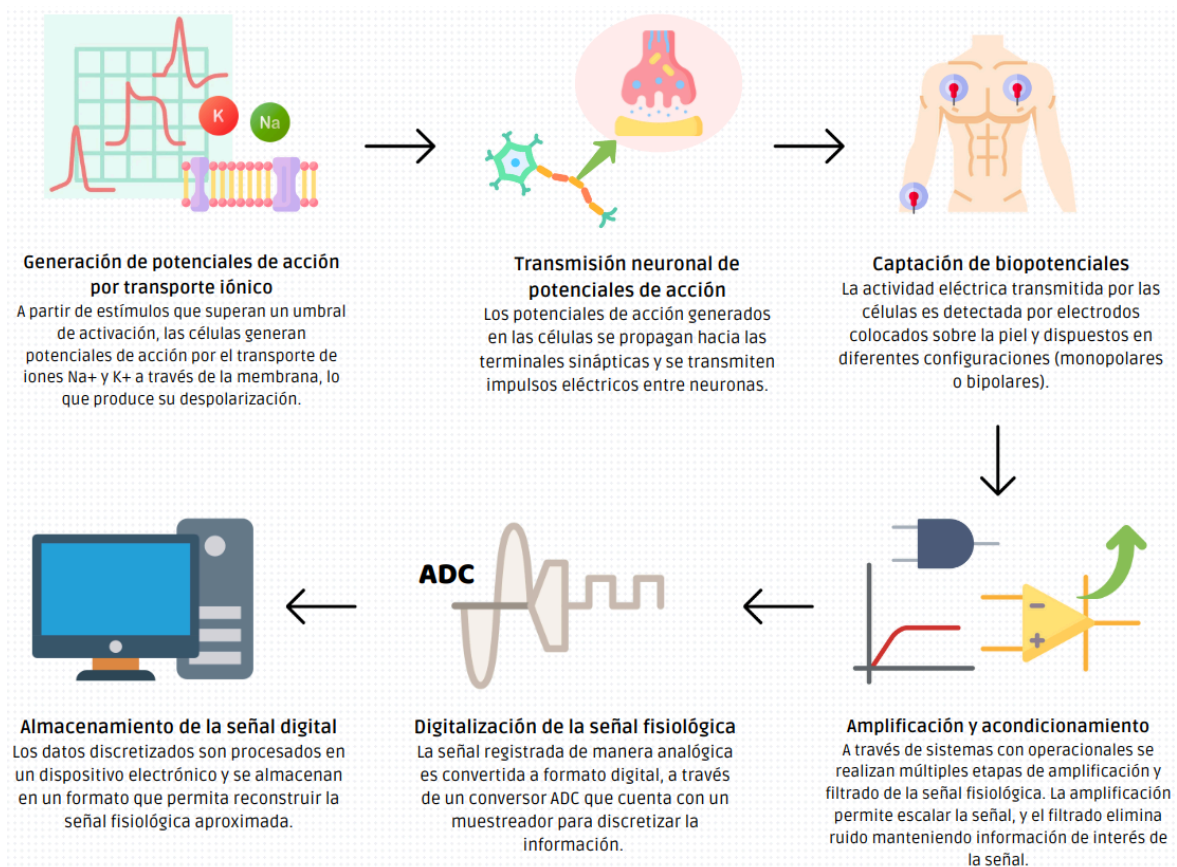


Figura 1. Esquema del registro de biopotenciales.

En general, los equipos de adquisición están conformados por los siguientes elementos:

- **Sensores:** dispositivos para detectar cambios de energía o estímulos que son convertidos en electricidad por un transductor. Uno de los sensores más comunes que se utilizan en la medición de biopotenciales son los electrodos.

- **Amplificadores de instrumentación:** circuitos conformados por operacionales que introducen una ganancia de voltaje en las señales fisiológicas (del orden de mV). Se amplifica la señal en diferentes fases alternando con el filtrado de ruido, para evitar el aumento de la interferencia en la ganancia de amplitud de la señal.
- **Filtros:** circuitos electrónicos o sistemas digitales que atenúan frecuencias específicas de la señal y permiten la obtención de una forma de onda más nítida. Los filtros que se implementan en la medición de biopotenciales son de tipo pasa bajas, pasa altas, rechaza bandas, entre otros.
- **Muestreador:** sistema que toma muestras de la señal continua en intervalos periódicos de tiempo y captura los valores de la señal en un tiempo finito.
- **Conversor análogo a digital (ADC):** sistema que construye una representación discreta de la señal analógica original, para su procesamiento en un entorno digital con memoria limitada.
- **Dispositivo de almacenamiento:** sistema que permite almacenar y procesar la señal discretizada, para posibilitar el análisis y manipulación de su información.

2. Presente una tabla con las principales fuentes de ruido en el registro de biopotenciales. Determine cuáles de estas fuentes de ruido son estáticas o variantes en el tiempo. Indique qué estrategias se utilizan para controlar o eliminar dicha fuente de ruido.

R/ A continuación, se presentan las fuentes de ruido identificadas en la adquisición de las señales ECG y EMG:

Tabla 1. Fuentes de ruido en el registro de biopotenciales.

Tipo de señal	Fuentes de ruido	Tipo de ruido	Estrategia
EMG	Movimiento descoordinados del músculo	Variable en el tiempo	El sujeto del registro debe ejecutar movimientos controlados en intervalos de tiempo adecuados, para evitar que la señal muestreada presente solapamientos o no se registren los potenciales característicos de la señal.
	Desplazamiento o alteración del electrodo de referencia		El sujeto para el registro debe evitar ubicar el electrodo de referencia (o tierra) en el miembro en movimiento, o debe asegurarse de que no se altere el estado de reposo del lugar de posicionamiento.
ECG / EMG	Ruido eléctrico de componentes (computador, convertidor ADC, fuentes de energía)	Estático	Se pueden implementar filtros para eliminar bandas específicas correspondientes al ruido eléctrico. También, se puede reducir la conexión de múltiples dispositivos electrónicos para evitar acumulación y transmisión del ruido.
ECG / EMG	Movimiento de dispositivos de	Variable en el tiempo	Colocar los elementos de medición en una superficie firme e indicarle al sujeto para el

	medición		registro que mantenga su cuerpo lo más estable posible y no realice movimientos irrelevantes a la medición.
ECG / EMG	Configuración del electrodo	Estático	Se deben instalar los electrodos considerando condiciones adecuadas de separación de los electrodos, trayectorias del impulso eléctrico, áreas de mínima interferencia del tejido adiposo y muscular, limpieza de la superficie cutánea, entre otros aspectos.
ECG / EMG	Ruido fisiológico	Variable en el tiempo	Se le indica al sujeto de la medición que evite realizar movimientos musculares innecesarios y/o exagerados mientras se registran las señales. El sujeto debe mantener una respiración relajada y constante, y adoptar una posición que mantenga su presión estable.

3. Describa cuál es la problemática asociada al acoplamiento piel-electrodo y cuáles estrategias se utilizan para mejorarla. Además, responda: ¿Por qué el acoplamiento piel-electrodo constituye la etapa más crítica en el registro de señales de superficie (sEMG, EEG, ECG)?

R/ El acoplamiento piel-electrodo en el registro de señales bioeléctricas, como el ECG, EEG y sEMG, enfrenta como principal problemática la alta impedancia de la piel y la resistencia de las capas superficiales, lo que dificulta la transmisión de las señales por distorsiones, ruido y pérdida de calidad en los datos captados. Para mitigar estos efectos se emplean estrategias como la limpieza y abrasión de la piel, el uso de geles conductores y electrodos autoadhesivos, además de avances en electrodos secos que mejoran la conductividad sin necesidad de gel. Un acoplamiento adecuado es crucial, ya que garantiza la fidelidad y confiabilidad de los registros, esenciales para un diagnóstico preciso.

Esta es la etapa más crítica debido a que si la señal no se adquiere adecuadamente desde la fase inicial no puede aplicarse un procesamiento o arreglo posterior a la toma de la señal para corregir un mal acoplamiento de los electrodos, y una mala conexión resulta en señales distorsionadas o con bajo voltaje que dificultan el análisis clínico o diagnóstico. En el caso de registros prolongados, como por ejemplo el Holter, es crucial que los pacientes registren sus actividades diarias sin quitar o mover los electrodos, debido a que si el electrodo se desplaza o cambia su calidad de contacto los registros pueden volverse poco fiables o irrelevantes para el análisis.

4. Consulte tres aplicaciones clínicas del uso de ECG y EMG (6 aplicaciones en total, 3 por cada tipo de señal), el tipo de registro y procesamiento que se utiliza en cada una de ellas.

R/ Aplicaciones ECG:

1. Diagnóstico de arritmias cardíaca

Tipo de registro: Registro no invasivo con múltiples electrodos colocados en la superficie del tórax, brazos y piernas (ECG de 12 derivaciones).

Procesamiento: Se realiza el filtrado de ruido, como la interferencia de la red eléctrica (50/60 Hz) y el ruido muscular (artefactos de movimiento). Luego se analizan las diferentes ondas del ECG: la onda P (actividad de las aurículas), el complejo QRS (despolarización de los ventrículos) y la onda T (repolarización de los ventrículos). En el diagnóstico de arritmias, se observan alteraciones en la regularidad del complejo QRS y anomalías en los intervalos RR (tiempo entre los picos de QRS sucesivos), indicando posibles ritmos cardíacos anormales como la fibrilación auricular o la taquicardia.[1]

2. Holter

El Holter consiste en el monitoreo continuo del ritmo cardíaco durante 24 a 48 horas. Ayuda a detectar episodios arrítmicos intermitentes que pueden no ser captados en un ECG convencional.

Tipo de registro: ECG ambulatorio continuo utilizando un monitor portátil.

Procesamiento: Se segmentan los registros en intervalos de tiempo para su análisis. Se eliminan artefactos debido a movimientos, respiración y otras fuentes de ruido. Se extraen características como la variabilidad de la frecuencia cardíaca (HRV) y se observan los intervalos RR para detectar cambios repentinos en la frecuencia cardíaca que podrían señalar episodios de arritmias producidas de forma esporádica.[1,2]

3. Isquemia miocárdica:

Tipo de registro: Se usa ECG de esfuerzo. Los electrodos registran la actividad eléctrica mientras se realiza una prueba de estrés físico o se suministran medicamentos que simulan el esfuerzo.

Procesamiento: Durante el procesamiento se eliminan ruidos asociados al movimiento muscular y se analiza el segmento ST (entre el final del complejo QRS y el comienzo de la onda T). La depresión o elevación del segmento ST en relación con la línea de base es indicativa de isquemia miocárdica. Se pueden producir también cambios en la morfología de la onda T, lo que implica una posible alteración en la repolarización ventricular durante el esfuerzo.[1,3]

Aplicaciones EMG:

1. Diagnóstico de neuropatías periféricas

El EMG se utiliza para evaluar la salud de los músculos y los nervios motores asociados. En casos de neuropatías periféricas como el síndrome del túnel carpiano, la EMG ayuda a detectar la denervación muscular o la transmisión anormal de señales nerviosas.

Tipo de registro: Registro invasivo con agujas insertadas directamente en el músculo o registro de superficie con electrodos adheridos a la piel.

Procesamiento: Análisis de la actividad espontánea en reposo y durante la ejecución de una contracción voluntaria máxima. Se procesan las señales

para calcular parámetros como la duración, amplitud y área de los potenciales de acción de las unidades motoras.

2. Evaluación de la fatiga muscular

El EMG de superficie se utiliza para monitorear la fatiga muscular en atletas y pacientes durante la rehabilitación. Se estudian los cambios en la actividad eléctrica del músculo bajo contracciones repetidas o sostenidas.

Tipo de registro: Registro no invasivo con electrodos de superficie colocados sobre el músculo de interés.

Procesamiento: El procesamiento implica la detección de cambios en la frecuencia mediana y la disminución de la amplitud del EMG durante contracciones prolongadas, empleando técnicas de análisis en frecuencia como la transformada rápida de Fourier (FFT) y análisis en el dominio del tiempo para la variabilidad de la señal. A medida que el músculo se fatiga, la frecuencia media y la amplitud de la señal disminuyen, lo que refleja la pérdida de fuerza muscular.

3. Diagnóstico de trastornos neuromusculares

El EMG se emplea para evaluar trastornos neurodegenerativos como la Esclerosis Lateral Amiotrófica (ELA) y la distrofia muscular, permitiendo detectar problemas en la transmisión neuromuscular o la degeneración de las fibras musculares.

Tipo de registro: Registro invasivo con agujas o electrodos de superficie que se ubican en zonas claves dependiendo del músculo afectado.

Procesamiento: Análisis de la actividad espontánea en reposo y la actividad durante la contracción voluntaria máxima. Se procesan las señales para calcular parámetros como la duración, amplitud y área de los potenciales de acción de las unidades motoras.[3]

5. Presente la realización de las tareas descritas en la Aplicación y adjunte los archivos de código Arduino y Python implementados; además adjunte un ejemplo de cada una de las señales registradas.

R/ Para la sección Aplicación se realizaron registros con electrodos superficiales secos para medir señales de EMG y ECG. Para el registro de EMG se registró la actividad bioeléctrica del músculo bíceps braquial, por lo que se posicionaron dos electrodos contiguos en la parte anterior del brazo proximal de manera longitudinal, y el electrodo de referencia se ubicó en la protuberancia de la muñeca del brazo contrario que se mantuvo en reposo. Por otro lado, para la medición del ECG se instalaron los electrodos polarizados a cada lado del pecho, alrededor del segundo espacio intercostal, y el electrodo de referencia en el mismo punto del EMG; se trató de usar una formación similar al triángulo de Einthoven, la cual es de la más usadas en la medición de electrocardiografía.

En la **Figura 2** y **Figura 3** se presentan las señales de EMG y ECG graficadas con los datos muestreados a partir del registro de los potenciales bioeléctricos:

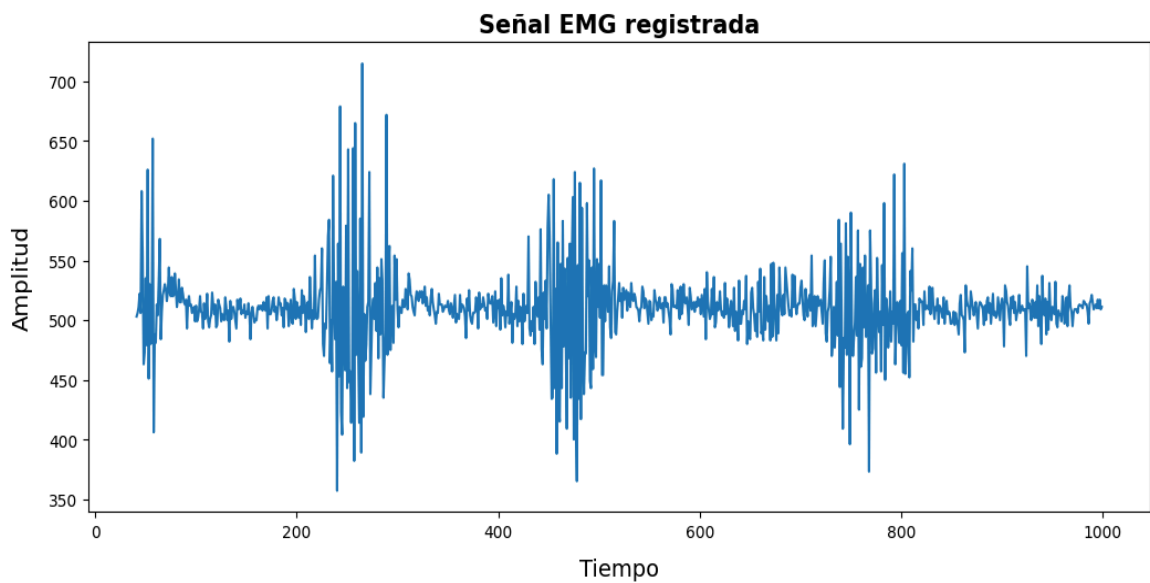


Figura 2. Señal EMG registrada a partir del biopotencial eléctrico del biceps.

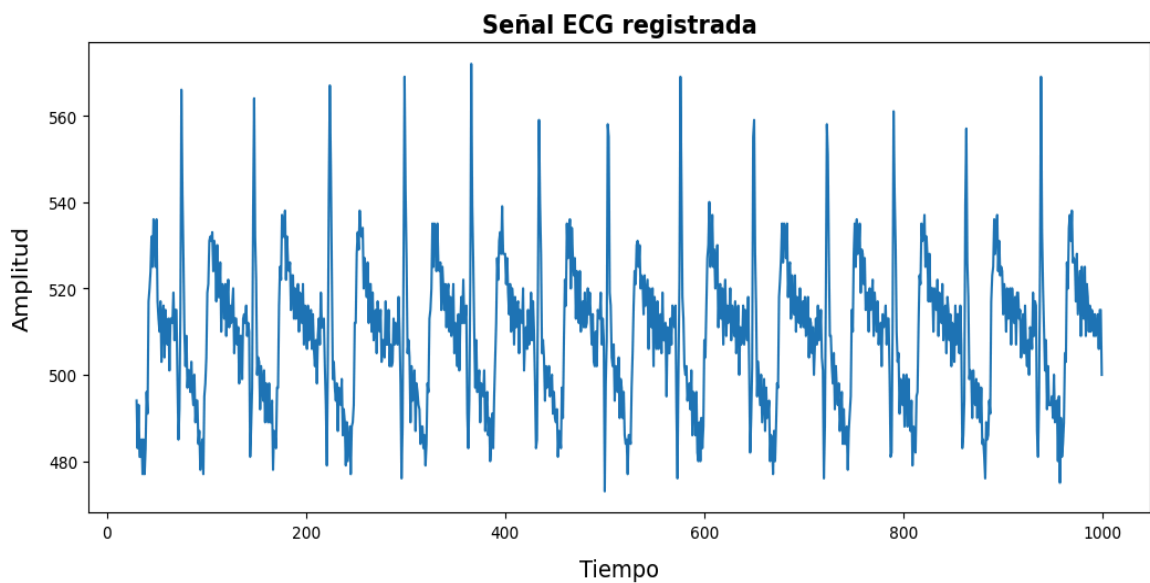


Figura 3. Señal ECG registrada a partir del biopotencial eléctrico del corazón.

6. Adjunte al menos 3 conclusiones y referencias bibliográficas apropiadas y suficientes (evitar el uso de páginas web y preferir el uso de artículos académicos).

R/ Conclusiones

- Aunque las señales EMG y ECG lograron ser registradas la presencia de ruido residual en las señales obtenidas requiere la implementación de técnicas adicionales de procesamiento como el filtrado digital, para mejorar su claridad. Las técnicas de procesamiento como la transformada rápida de Fourier (FFT) y los filtros pasa banda ayudan a eliminar las interferencias y artefactos de ruido, mejorando el análisis posterior.

- La correcta colocación y preparación de los electrodos es fundamental para asegurar un registro fiel de las bioseñales. Debido a la alta impedancia de la piel y otros factores como la limpieza, el contacto de los electrodos y las trayectorias eléctricas de menor resistencia. Es esencial garantizar un buen acoplamiento para evitar distorsiones en las señales en lo posible. Esto es particularmente crítico en registros de largo plazo como el Holter, donde los movimientos y el desplazamiento de los electrodos pueden afectar significativamente la calidad de los datos obtenidos.
- El uso de ECG y EMG tiene aplicaciones clínicas relevantes, como el diagnóstico de arritmias, neuropatías periféricas, trastornos neuromusculares y en general para evaluar tanto condiciones neuromotoras como cardiovasculares. Estos registros permiten identificar patrones anormales en las señales biológicas que son esenciales para la detección temprana de enfermedades.

Referencias

- [1] John R. Hampton, "Aplicaciones del ECG," en *ECG Fácil*, 7ª ed., Ed. Elsevier España S.L., España, 2009. [En línea]. Disponible: <https://www.plataformaenarm.com/wp-content/uploads/2017/12/EKG5.pdf>
<https://doi.org/10.1016/C2009-0-61609-3>
- [2] Kusumoto, F. M. (2018). *ECG Interpretation for Everyone: An On-The-Spot Guide*. Springer. <https://doi.org/10.1002/9781119962168>
- [3] Carlo J. De Luca. The Use of Surface Electromyography in Biomechanics. *Journal of Applied Biomechanics*. 1997. Vol. 13(2):135-163. DOI: 10.1123/jab.13.2.135