

## INFORME - Practica 4

### Introducción a los biopotenciales y adquisición de señales ECG y EMG

Danna Isabella García Saenz - Solanlly Evenedy Montoya Rivera

Abril 12, 2024

**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.**

El cuerpo humano genera diferentes tipos de señales eléctricas, las cuales son capturadas, procesadas y convertidas en datos utilizables para el análisis y diagnóstico de diferentes enfermedades o condiciones. Como se puede visualizar en el Esquema 1, la etapa de registro de biopotenciales comienza con la generación de potenciales de acción en células excitables como las neuronas o las fibras musculares, donde se producen cambios rápidos en el voltaje a través de la membrana celular. Estas señales eléctricas se transmiten a través de electrodos que actúan como transductores, convirtiendo las señales biológicas en señales eléctricas detectables fuera del cuerpo para un posterior pre procesamiento de las mismas, es decir, amplificación y filtración de la señal. En la etapa de amplificación se aumenta la amplitud para mejorar la detección de las señales de interés, debido a que por ser señales biológicas, tienden a tener amplitudes muy bajas que podría llegar a estar opacadas por otros ruidos o artefactos del ambiente o del mismo cuerpo, llevando a la siguiente etapa, el filtrado, con el fin de eliminar interferencias no deseadas y concentrarse en las frecuencias de interés. Posterior a la etapa de filtrado se hace una conversión de los datos analógicos a digitales (ADC), para facilitar el procesamiento mediante el microcontrolador, el cual es el encargado de gestionar la adquisición, almacenamiento de los datos y el posterior procesamiento de los datos digitalizados. Finalmente, los datos adquiridos se almacenan en memoria para su posterior análisis y pueden ser visualizados a través de una interfaz de usuario [1].



*Esquema 1. Etapas de registro de biopotenciales*

Un equipo de adquisición de señales debe contar con los siguientes componentes:

- **Electrodos:** Son los dispositivos mediante los cuales se realiza la adquisición de las señales eléctricas.
- **Amplificadores de instrumentación:** Son los encargados para adaptar las amplitudes en los rangos deseados.
- **Filtros:** Para las señales fisiológicas generalmente se usan filtros pasa-bajas para que de esta manera se eliminen las frecuencias diferentes a la señal de interés, las cuales generalmente están por debajo de los 5 Hz [2]. Los filtros pueden ser digitales o analógicos, sin embargo, es recomendable usar filtros analógicos para que de esta manera se puedan eliminar los artefactos que ya son conocidos como la contaminación por red eléctrica o de los electrodos o del mismo cable.
- **Convertor analógico a digital:** es el encargado de digitalizar los datos de la señal analógica y de esta manera llevar la señal a un dominio controlable y manejable por los microcontroladores logrando que sea mucho más fácil su procesamiento.
- **Microcontrolador:** Es un circuito integrado que en su interior contiene una unidad de procesamiento, unidades de memoria, puertos de entrada, salida y periféricos, son los encargados de generar las órdenes del sistema, es decir, que se realice la toma de datos, inicializar todo el proceso, realizar la transmisión de datos y controlar la adquisición de estos.

**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 que estrategias se utilizan para controlar o eliminar dicha fuente de ruido.**

Dado que las señales biopotenciales suelen tener una amplitud baja en comparación con el ruido de fondo, este último puede dominar la señal de interés, haciendo que sea difícil extraer la información deseada, por lo tanto, para analizar con precisión las señales biopotenciales, es crucial minimizar o eliminar los ruidos que se podrían llegar a registrar. Por lo tanto, estos ruidos o perturbaciones se dividen principalmente en tres categorías [3]:

Fuente de ruido	Estática/Variante con el tiempo	Causa del ruido
Ruido de la red eléctrica	Estática	La red eléctrica se compone de una frecuencia de 50 Hz o 60 Hz y sus armónicos, comúnmente definida como el ruido electromagnético producido por los circuitos de alimentación, la red eléctrica y de los equipos electrónicos [4].
Artefactos de movimiento	Variante con el tiempo	Los artefactos de movimientos son causados por un mal contacto entre los electrodos y la superficie de la piel del individuo o como resultado del movimiento de los cables entre los electrodos y el amplificador [4].

Artefactos fisiológicos	Variante con el tiempo	Señales registradas de fuentes biológicas diferentes a las señales de biopotenciales originalmente deseadas [4].
-------------------------	------------------------	--

*Tabla 1. Clasificación fuentes de ruido*

En la actualidad, se han propuesto varios métodos para mitigar los artefactos mencionados previamente en las señales de biopotenciales de interés, en este sentido, la mayoría de los enfoques se centran en mejorar los esquemas de hardware y en la aplicación de técnicas de filtrado de software, entre los enfoques basados en hardware más comúnmente empleados para reducir la interferencia inherente en la adquisición de señales de biopotenciales se encuentra el blindaje, que implica cubrir los cables de entrada de la señal con una malla metálica para disminuir el ruido intrínseco de los cables [5].

Otro método de hardware ampliamente utilizado es la implementación de capacitores de desacople para suprimir las interferencias en la línea de alimentación, estos capacitores bloquean las señales de corriente continua (DC), pero permiten el paso de las señales de corriente alterna (AC), ya que ofrecen menos resistencia a estas últimas [5].

**Describa ¿Cuál es la problemática asociada al acoplamiento piel-electrodo? ¿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)?**

El acoplamiento piel-electrodo plantea problemas en la monitorización de señales biopotenciales debido a factores como la impedancia de contacto elevada en los electrodos secos, que da lugar a interfaces electroquímicas inestables y a posibles degradaciones de la señal con el tiempo. Los electrodos húmedos ofrecen una alta calidad de señal, pero son de un solo uso y pueden causar irritación cutánea al secarse el gel con el tiempo, el ruido en los electrodos de superficie suele originarse en la interfaz electrolito-piel, lo que repercute en la calidad de la señal, además, las personas con piel seca desarrollan una alta impedancia del estrato corneo (capa más externa de la epidermis) que dificulta aun mas la adquisición de la señal [6].

Una estrategia para mejorar el acoplamiento piel-electrodo es el desarrollo de unos electrodos semisecos que utilizan una pequeña cantidad de electrolito como líquido, proporcionando efectos de hidratación local de la piel para reducir la impedancia piel-electrodo, de esta forma se superan limitaciones de los electrodos húmedos como la necesidad de preparar la piel y de que el gel se seque, además que mejora la calidad de la señal al mejorar el contacto piel-electrodo ofreciendo una solución muy práctica para mejorar la adquisición de señales al tiempo que se mantiene facilidad de uso para los pacientes [6].

El acoplamiento de piel y electrodos es la etapa más crítica en el registro de señales porque influye directamente en la calidad y precisión de las señales registradas, la interfaz entre la piel y los electrodos determina la impedancia, el área de contacto y la estabilidad de la transmisión de la señal, un acoplamiento malo puede provocar ruido, distorsiones y variaciones en la amplitud de la señal, lo que afecta directamente a la fiabilidad de los datos registrados, que se logre un acoplamiento óptimo entre piel-electrodos es esencial para obtener señales claras y coherentes que permitan diagnósticos precisos [7].

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

Para ECG:

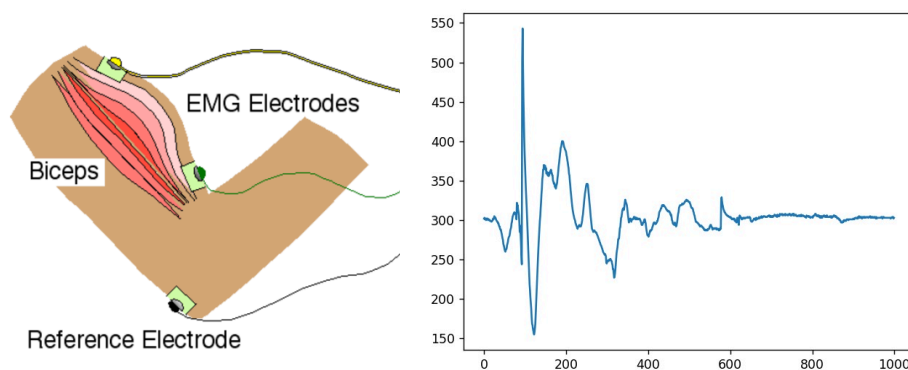
- *Detección de arritmias como fibrilación auricular:* suele evaluarse mediante un electrocardiograma, que registra la actividad eléctrica del corazón, la fibrilación auricular se caracteriza por impulsos eléctricos irregulares y rápidos en las aurículas, que dan lugar a un ritmo cardíaco irregular, se caracteriza por la ausencia de ondas P regulares y la presencia de ondas fibrilatorias irregulares en lugar de complejos QRS normal, por lo tanto la identificación temprana de la fibrilación auricular en un examen ECG es crucial para el manejo adecuado de la arritmia y la prevención de complicaciones como accidentes cerebrovasculares [8].
- *Detección de cambios estructurales como hipertrofia ventricular:* es importante en la evaluación cardiovascular, ya que la hipertrofia ventricular puede ser indicativa de enfermedad cardíaca subyacente, en un electrocardiograma la enfermedad se va a caracterizar por ciertos criterios específicos como un aumento en la amplitud de ciertas ondas y segmentos, las ondas sonoras de alta frecuencia se transmiten a través de un transductor colocado en el tórax, que capta los ecos cuando las ondas rebotan en las distintas estructuras del corazón, estos ecos son procesados por un ordenador para procesar y saber el grosor de las paredes ventriculares [8].
- *Identificación de lesiones miocárdicas agudas:* La identificación de estas lesiones es crucial en la evaluación de pacientes con posibles eventos cardíacos agudos como los infartos de miocardio, en un examen de electrocardiograma las lesiones miocárdicas agudas se manifiestan principalmente a través de cambios en el segmento ST (como su elevación), depresión del segmento ST ( inversión de la onda T), estos cambios podrían significar una isquemia o daño miocárdico reciente, identificar tempranamente las lesiones es fundamental para intervenir médicamente [8].

Para EMG:

- *Monitorizar la activación de los músculos respiratorios:* Permite evaluar la función de los músculos respiratorios, lo cual es fundamental en pacientes con insuficiencia respiratoria aguda o baja ventilación mecánica, las señales EMG se adquieren colocando electrodos en la superficie de la piel por encima de los músculos objetivo, lo que permite una medición no invasiva de la actividad muscular. El procesamiento de las señales EMG implica el filtrado de las señales para eliminar el ruido, la amplificación y análisis de las características de la señal para evaluar patrones de actividad muscular [9].
- *Evaluación de la fatiga muscular respiratoria:* Al observar una anomalía en el electromiograma (EMG) de los músculos respiratorios, como cambios en la amplitud, duración o frecuencia de las señales eléctricas, se pueden identificar signos de fatiga muscular, estos cambios en el EMG pueden indicar una disminución en la capacidad de los músculos respiratorios para contraerse de manera efectiva, lo que puede resultar en una disminución en la fuerza de la respiración y un aumento en la sensación de disnea [9].
- *Optimización de la ventilación mecánica:* La EMG puede ayudar a ajustar el nivel de soporte durante la ventilación mecánica asistida, detectar la asincronía paciente-ventilador y evaluar la respuesta a las pruebas de respiración espontánea, esta asincronía puede manifestarse como una falta de coordinación entre los esfuerzos respiratorios del paciente y los ciclos de ventilación del ventilador, lo que puede resultar en un aumento del trabajo respiratorio, incomodidad para el paciente y una ventilación ineficaz [9].

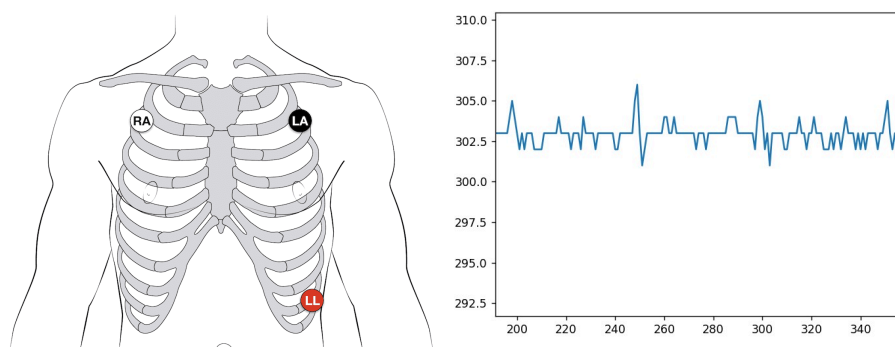
**Presente la realización de las tareas descritas en la Aplicación y adjunte un ejemplo de cada una de las señales registradas.**

En el código implementado en clase para la adquisición y graficación de los datos de un sensor EMG conectado a un Arduino se realizan varias tareas como lo son la importación de todas las bibliotecas necesarias (serial para la comunicación serial con el Arduino, numpy para el manejo de arreglos numéricos y matplotlib.pyplot para graficar los datos), se estableció una conexión serial con el Arduino a través del puerto COM6, se definieron un número de datos a adquirir, en este caso 1000 muestras, se creó un arreglo numpy llamado EMG donde se almacenaron los datos leídos obtenidos del Arduino y tales datos los graficamos.



**Figura 1.** Posición electrodos e imagen obtenida contracción muscular

Este es el resultado obtenido para nuestro experimento con el músculo del brazo. Al realizar la toma de señales, evidenciamos que había mucho ruido que estaba creando interferencias en la señal cuando realizábamos el movimiento de contracción (flexión y extensión) varias veces, por lo que decidimos realizar el experimento una sola vez con fuerza y registrarlo. Este es el resultado obtenido cuando solo hay una interacción. Se podría decir que igual se puede evidenciar que la contracción muscular es un acontecimiento mecánico que implica la transformación de energía metabólica en fuerza mecánica, y podemos observar un solo pico que demuestra la interacción, aunque lo ideal sería que fueran muchos más picos para obtener la señal ideal que tenga los comportamientos reiterativos del músculo.



**Figura 2.** Posición derivaciones e imagen obtenida electrocardiograma

Para la obtención de la señal de electrocardiograma utilizamos 3 derivaciones, un electrodo adyacente a cada hueso de la clavícula en la parte superior del tórax y un tercer electrodo adyacente a la parte inferior izquierda del abdomen del paciente, aunque el músculo cardíaco en contracción genera potenciales eléctricos, la piel es un mal conductor de la electricidad y, por lo tanto, la resistencia cutánea desempeña un papel fundamental en la adquisición de la calidad del trazado del ECG que en nuestro caso tiene unas formas

de onda muy irregulares, las formas de onda R y S son las que mejor se pueden identificar en nuestra imagen, sin embargo el complejo PQT tienen formas de ondas mucho más distorsionadas que dificultan la lectura. Dado que las contracciones cardíacas son un proceso repetitivo y continuo el ECG debería presentar una forma de onda periódica característica.

## Conclusiones

1. La comprensión del origen y la naturaleza de los biopotenciales, como el ECG y el EMG, es esencial para garantizar una adquisición precisa y significativa de señales relacionadas con la actividad cardiovascular y muscular. En donde la correcta identificación de las diferentes etapas y fuentes de interferencia en este proceso permite una mejor interpretación de los datos registrados, fundamental para el análisis, diagnóstico y tratamiento efectivos del paciente.
2. La calidad de un electrocardiograma (ECG) se ve directamente afectada por el acoplamiento piel-electrodo, lo que resalta la importancia de una preparación adecuada de la piel para eliminar resistencias, interferencias y artefactos, asegurando registros electrofisiológicos estables que faciliten un análisis, diagnóstico y tratamiento precisos. Además, el electromiograma (EMG) tiene una amplia gama de aplicaciones clínicas más allá de la evaluación de la fatiga muscular, abarcando el diagnóstico de enfermedades neuromusculares, evaluación del dolor lumbar, kinesiología y trastornos del control motor, lo que subraya su versatilidad y utilidad en medicina.
3. A pesar de los avances en tecnología médica, el diseño de los electrodos para la adquisición de señales de ECG aún requiere mejoras para garantizar una señal de alta calidad, reduciendo el ruido y mejorando la definición y amplitud de los componentes para una interpretación precisa del ritmo cardíaco.
4. En el caso de la señal de electrocardiograma y electromiografía tomada en el laboratorio, la adquisición presentó formas de onda irregulares y distorsionadas, lo cual se atribuye a la baja conductividad de la piel y posibles interferencias electrónicas. Sin embargo, se podría decir que aunque no son ideales, se lograron identificar algunos de los complejos característicos de las señales adquiridas.

## BIBLIOGRAFÍA

- (1) Medical Instrumentation: Application and Design, John G. Webster, Editor. Fourth Edition. John Wiley and Sons, 2009.  
<https://es.scribd.com/document/630457970/Webster-Nimunkar-Medical-instrumentation-application-and-design-pdf>
- (2) L. Gila, A. Malanda, I. Rodríguez Carreño, J. Rodríguez Falces, J. Navallas. Electromyographic signal processing and analysis methods. Anales Sis San Navarra vol.32 supl.3 Pamplona. 2009  
[https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1137-66272009000600003](https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1137-66272009000600003)
- (3) Chavdar, L.; Mijov, G.; Ivanov, R.; Daskalov, YO.; Christov, I.; Dotsinski, I. Eliminación de la interferencia de la línea eléctrica del ECG: una revisión del procedimiento de sustracción. BioMed. Ing. OnLine 2005, 4, 50.
- (4) Zhang, J.; Wang, L.; Yu, L.; Yang, Y.; Zhang, Y.; Li, B. A Low-Offset Analogue Front-End IC for Multi-Channel Physiological Signal Acquisition. In Proceedings of the 2009 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, Minneapolis, MN, USA, 3–6 September 2009; pp. 4473–4476.
- (5) Jiang, Yanbing & Samuel, Oluwarotimi & Liu, Xueyu & Wang, Xin & Idowu, Oluwagbenga & Li, Peng & Chen, Fei & Zhu, Mingxing & Geng, Yanjuan & Chen, Shixiong & Li, Patrick. (2018). Effective

Biopotential Signal Acquisition: Comparison of Different Shielded Drive Technologies. Applied Sciences. 8. 10.3390/app8020276

- (6) Goyal, K.; Borkholder, D.A.; Day, S.W. Dependence of Skin-Electrode Contact Impedance on Material and Skin Hydration. *Sensors* 2022, 22, 8510. [https://doi.org/ 10.3390/s22218510](https://doi.org/10.3390/s22218510)
- (7) Bahareh Taji, Shervin Shirmohammadi, Voicu Groza. Impact of Skin–Electrode Interface on Electrocardiogram Measurements Using Conductive Textile Electrodes. in *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*. <https://www.site.uottawa.ca/~shervin/pubs/ECGMonitoring-IEEE-TIM.pdf>
- (8) Rafie, N.; Kashou, A.H.; Noseworthy, P.A. ECG Interpretation: Clinical Relevance, Challenges, and Advances. *Hearts* 2021, 2, 505–513. <https://doi.org/10.3390/hearts204003>
- (9) Jonkman AH, Warnaar RSP, Baccinelli W, Carbon NM. Analysis and applications of respiratory surface EMG: report of a round table meeting. *Crit Care*. 2024 Jan 2;28(1):2. doi: 10.1186/s13054-023-04779-x. PMID: 38166968; PMCID: PMC10759550