

<b>UNIVERSIDAD:</b>	Universidad de Antioquia.		
<b>FACULTAD:</b>	Facultad de Ingeniería.		
<b>PREGRADO:</b>	Bioingeniería.	<b>MATERIA:</b>	Bioseñales y Sistemas.
<b>NOMBRE:</b>	Juan Camilo Carvajal Sierra. Julián Andrés Rosero Rosero.	<b>DOCUMENTO:</b>	1.010.124.738 1.004.214.604
<b>CORREO:</b>	<a href="mailto:juan.carvajal1@udea.edu.co">juan.carvajal1@udea.edu.co</a> - <a href="mailto:julian.rosero1@udea.edu.co">julian.rosero1@udea.edu.co</a>		
<b>ENTREGADO A:</b>	Luisa María Zapata Saldarriaga.		
<b>ACTIVIDAD:</b>	Práctica # 4 – Biopotenciales.		
<b>CIUDAD Y FECHA:</b>	Medellín, 11 de abril de 2024.		

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.

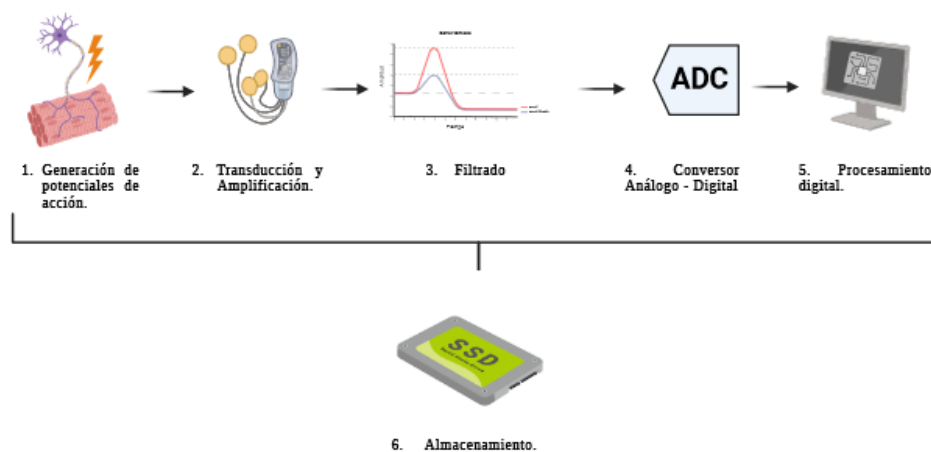


Figura 1. Protocolo de adquisición de señales fisiológicas.

**1.1. Generación de potenciales de acción:** un potencial de acción es una señal eléctrica generada por células excitables, como neuronas y músculos, en respuesta a estímulos eléctricos o químicos. Estos potenciales son la base de las señales biológicas que se quieren registrar [1].

**1.2. Transducción y amplificación:** en esta etapa, los potenciales de acción generados en el cuerpo se registran mediante electrodos. Los electrodos transforman la señal eléctrica (generalmente de amplitud imperceptible) en una señal eléctrica más adaptable a procesamiento. La amplificación permite incrementar la amplitud de las señales y hacerlas detectables y mensurables, de forma que se puedan realizar operaciones matemáticas.

- 1.3. Filtrado:** las señales eléctricas capturadas pueden estar contaminadas con ruido eléctrico proveniente de distintas fuentes, tales como interferencias ambientales, campos electromagnéticos asociados a equipos electrónicos, mal acople del electrodo a la piel, entre otros. Al aplicar amplificación selectiva y filtrado, se mejora la relación señal – ruido, facilitando el análisis preciso de la señal de interés. En esta etapa, se aplican filtros para eliminar o atenuar las frecuencias no relevantes y el ruido, asegurando que solo se conserven las componentes de interés de la señal.
- 1.4. Conversor analógico – digital:** la señal analógica, amplificada y filtrada se convierte en una señal digital mediante un conversor analógico a digital (ADC). Este proceso permite la representación de señales en forma digital, facilitando su procesamiento, almacenamiento y análisis.
- 1.5. Procesamiento digital:** corresponde al tratamiento de la señal con técnicas computacionales para analizar, filtrar, visualizar y extraer información útil de los biopotenciales.
- 1.6. Almacenamiento:** las señales digitales procesadas se recogen mediante sistemas de adquisición que registran las señales convertidas en la etapa anterior, con el fin de almacenarlas en hardware o en la nube para su posterior análisis y referencia.

Los componentes básicos del equipo de adquisición de señales fisiológicas son:

- **Electrodos:** son elementos conductores que ayudan a captar el biopotencial, pueden ser superficiales o de inserción y deben ubicarse estratégicamente para captar el estímulo deseado. En el SHIELD – EKG – EMG, estos se utilizan como transductores.
- **Amplificadores:** son componentes electrónicos que multiplican la amplitud de la señal captada por un factor de ganancia, el cual permite incrementar este valor, de forma que sea más fácil de visualizar y de operar matemáticamente, ya que hay ocasiones, en las que valores muy pequeños se aproximan a 0.
- **Filtros:** son utilizados para eliminar información que no es de interés en el análisis, o que simplemente no aporta nada útil (ruido), la tarjeta SHIELD – EKG – EMG viene con filtros incorporados para cumplir esta función, así como también el microcontrolador utilizado.

- **Conversores:** son elementos que convierten una señal analógica (continua) en digital (discreta y binaria). El microcontrolador utilizado (Arduino 1) viene con un ADC incorporado para cumplir esta función.
- **Unidad de procesamiento:** incluye microcontroladores o procesadores que realizan operaciones de procesamiento digital en las señales adquiridas. Una vez que las señales han sido convertidas a formato digital, el Arduino 1 (u otro microcontrolador) puede realizar procesamiento digital adicional, como análisis de características de la señal y otras operaciones para extraer información relevante.
- **Software de adquisición de señales:** el software se utiliza para controlar la adquisición de señales, visualizarlas y llevar a cabo análisis posterior estudiar la información. En este caso, se utiliza la interfaz de Arduino como plataforma de prototipado y VSCode como editor de código en lenguaje Python.

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

Las fuentes de ruido en el registro de biopotenciales pueden ser diversas, y algunas de ellas son:

- **EMG:** el electromiograma es la principal fuente de ruido en la electrocardiografía de alta resolución [2]. La contribución del EMG al ruido total puede ser muy superior a la de otras fuentes de ruido.
- **Musculatura presente en la derivación escogida:** El EMG presente en un registro depende de la musculatura presente en la derivación escogida y del grado de relajación del paciente [2].
- **Interferencia electromagnética:** Las corrientes eléctricas y los campos electromagnéticos pueden interferir con las señales biológicas y generar ruido en el registro [3].
- **Condiciones de acoplamiento de interferencia en entornos domésticos:** Las condiciones de acoplamiento de interferencia en entornos domésticos pueden generar ruido en el registro de biopotenciales. [4]

- **Tensión de modo común:** La tensión de modo común es una forma de interferencia que puede afectar el registro de biopotenciales. [4]

En la tabla 1. se presentan a profundidad las fuentes de ruido que se puede tener en la adquisición de biopotenciales.

**Tabla 1.**

**Fuentes de ruido en la adquisición de biopotenciales.**

<b>Fuentes de Ruido</b>	<b>Estáticas o Variantes en el Tiempo</b>	<b>Estrategias para Controlar o Eliminar el Ruido</b>
Interferencia electromagnética	Variantes en el tiempo	Usar blindaje adecuado para los cables y dispositivos. Alejar equipos eléctricos y electrónicos de la zona de medición
Movimiento muscular	Variantes en el tiempo	Fijar adecuadamente los electrodos para minimizar el movimiento. Utilizar técnicas de procesamiento de señales como el promedio
Ruido ambiental	Variantes en el tiempo	Realizar la adquisición en un entorno controlado y silencioso. Filtrar la señal utilizando técnicas de procesamiento de señales
Artefactos de línea de base	Estáticas	Realizar la corrección de la línea de base utilizando técnicas de filtrado o eliminación de artefactos específicos
Ruido térmico	Variantes en el tiempo	Utilizar amplificadores de baja impedancia y alta ganancia. Enfriar los electrodos para reducir el ruido térmico
Ruido por contacto imperfecto	Estáticas	Garantizar una buena preparación de la piel y colocación precisa de los electrodos para minimizar el ruido de contacto

**3. ¿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)?**

- Interferencia electromagnética: El acoplamiento piel-electrodo puede generar interferencia electromagnética en la medición de biopotenciales. La presencia de dispositivos eléctricos o campos electromagnéticos en el entorno puede introducir ruido no deseado en la señal registrada, afectando su calidad y confiabilidad [5].
- Impedancia de los electrodos: Los electrodos húmedos comúnmente utilizados en mediciones superficiales de biopotenciales presentan una impedancia cuyo valor es importante para la calidad de la señal. Una alta impedancia puede resultar en una

mala transmisión de la señal bioeléctrica y, por ende, en una señal más susceptible al ruido y a la degradación de la calidad [5].

- Posicionamiento de los electrodos: El posicionamiento incorrecto de los electrodos en la piel puede crear una variedad de problemas en la medición de biopotenciales. La ubicación inadecuada puede dar lugar a señales distorsionadas, pérdida de información importante o incluso artefactos en la señal, lo que afecta la interpretación precisa de los datos biológicos.
- Condiciones de acoplamiento de interferencia en entornos domésticos: Las condiciones de acoplamiento de interferencia en entornos domésticos pueden generar ruido en el registro de biopotenciales. La presencia de electrodomésticos, cables eléctricos y otros dispositivos en el hogar puede introducir interferencias en la señal, comprometiendo su calidad y dificultando el análisis adecuado [6].

Para mejorar el acoplamiento piel-electrodo y abordar estos problemas, se utilizan diversas estrategias, como la preparación adecuada de la piel para reducir la impedancia, el uso de geles conductivos, la fijación segura de los electrodos para evitar movimientos, la aplicación de técnicas de filtrado para eliminar interferencias y la educación sobre la colocación correcta de los electrodos [7].

El acoplamiento piel-electrodo es decisiva porque define la calidad intrínseca de la señal capturada, siendo este factor determinante para un diagnóstico preciso, un análisis robusto de los datos y una evaluación precisa de los cambios fisiológicos. Los problemas que puedan surgir durante el acoplamiento piel-electrodo, tales como alta impedancia eléctrica, ruido de contacto, movimiento y deslizamiento de los electrodos e interferencia electromagnética, pueden introducir artefactos y distorsiones, comprometiendo así la fiabilidad y validez de los resultados de las mediciones [7].

Para mejorar el acoplamiento piel-electrodo y mitigar estos desafíos, es fundamental emplear estrategias adecuadas. Esto incluye una preparación minuciosa de la piel para reducir la impedancia, la utilización de geles conductores para optimizar la conductividad eléctrica, una fijación segura de los electrodos para prevenir el movimiento y un diseño especializado de los electrodos que favorezca el óptimo acoplamiento. Además, es crucial monitorear de manera constante la calidad de la señal

durante la adquisición para identificar cualquier irregularidad en tiempo real y poder así aplicar correcciones y ajustes necesarios.

**4. 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.**

La EMG tiene una variedad de aplicaciones, principalmente en la adaptación de prótesis, órtesis, diagnóstico de patologías neuromusculares y evaluación de rendimiento deportivo.

Algunas de estas aplicaciones son:

- **Órtesis:** la EMG se puede utilizar para evaluar los efectos de agentes farmacológicos sobre la función y el rendimiento muscular en la rehabilitación deportiva. El registro se realiza colocando electrodos en la piel que recubre el músculo de interés y el procesamiento implica analizar la actividad eléctrica del músculo para detectar anomalías. El uso de señales EMG en el circuito de control de las ortesis implica el uso de algoritmos de reconocimiento de patrones y aprendizaje automático para interpretar las señales EMG y traducirlas en movimientos ortopédicos [8].
- **Prótesis de miembros superiores:** el reconocimiento de patrones EMG (PR) para el control de prótesis multifuncionales de miembros superiores se ha informado durante décadas. El registro se realiza colocando electrodos en la piel que recubre el músculo de interés y el procesamiento implica analizar la actividad eléctrica del músculo para detectar anomalías. El uso de señales EMG en el circuito de control de prótesis de miembros superiores implica el uso de algoritmos de reconocimiento de patrones y aprendizaje automático para interpretar las señales EMG y traducirlas en movimiento protésico. La eficacia del control de prótesis basado en EMG – PR se ha comparado con el control mioeléctrico directo clínicamente disponible [9].
- **Reducir el dolor y la tensión muscular:** se ha demostrado que el entrenamiento de biorretroalimentación EMG es eficaz para reducir el dolor y la tensión muscular en los músculos maseteros y temporales. El registro se realiza colocando electrodos en la piel que recubre el músculo de interés y el procesamiento implica analizar la actividad eléctrica del músculo para detectar anomalías. La biorretroalimentación EMG es un entrenamiento de autocontrol de la actividad muscular, basado en una

retroalimentación constante de la señal EMG registrada en un determinado músculo, con el objetivo de reducir la tensión muscular y el dolor [10].

De igual manera, la ECG o EKG también tiene un amplio rango de aplicaciones, como el diagnóstico de patologías cardíacas, monitoreo constante de signos vitales y evaluación de rendimiento deportivo. Dentro de las principales aplicaciones se cuenta con:

- **Diagnóstico y seguimiento de enfermedades cardíacas:** el ECG se utiliza para diagnosticar y controlar varios tipos de enfermedades cardíacas, incluidas arritmias, ataques e insuficiencia cardíaca. El registro se realiza colocando electrodos en el pecho, brazos y piernas, y el procesamiento implica analizar la actividad eléctrica del corazón para detectar anomalías. El ECG también se utiliza para detectar factores de riesgo cardiovascular y como herramienta de enseñanza y aprendizaje para profesionales de la salud y estudiantes. Las técnicas de registro y procesamiento utilizadas en cada aplicación varían dependiendo del contexto clínico específico [6].

Para conocer la correcta ubicación de los electrodos y las derivaciones que se puede obtener, se utiliza como guía el triángulo de Einthoven, el cual relaciona partes del cuerpo (puntos para los electrodos) con distintos “planos” del corazón.

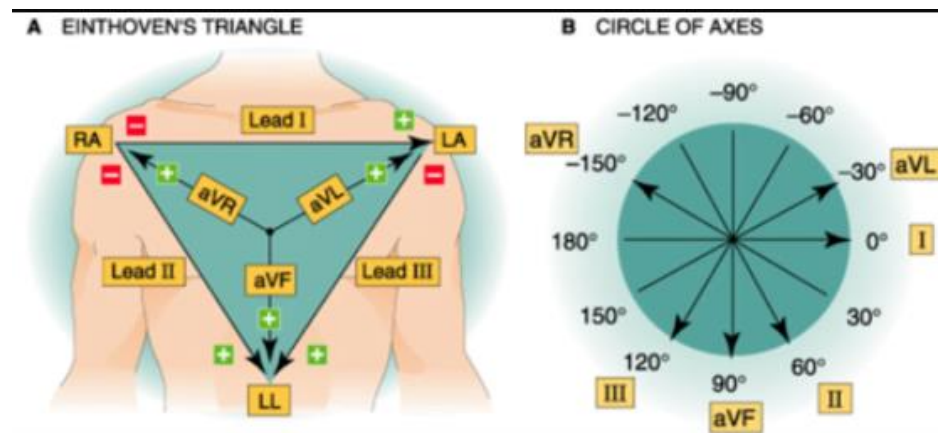


Figura 2. Triángulo de Einthoven [11].

- **Pruebas farmacológicas:** la prueba de esfuerzo farmacológica es una aplicación clínica del ECG que se utiliza para diagnosticar y controlar enfermedades cardíacas. El registro se realiza colocando electrodos en el pecho, brazos y piernas, y el procesamiento implica analizar la actividad eléctrica del corazón para detectar anomalías. Las pruebas de estrés farmacológico se utilizan en combinación con



modalidades de imágenes como imágenes con radionúclidos y ecocardiografía. Durante la prueba, se administra un agente farmacológico como adenosina o dobutamina para inducir estrés cardiovascular en pacientes que no pueden hacer ejercicio debido a condiciones debilitantes o contraindicaciones para el ejercicio de rutina. La prueba se utiliza para diagnosticar la causa del dolor en el pecho, la dificultad para respirar y la debilidad, monitorear afecciones cardíacas como enfermedades cardíacas o arritmias, evaluar el riesgo de un evento cardíaco y determinar la idoneidad para la cirugía por otra afección de salud. La presión arterial, la frecuencia cardíaca y el ECG se controlan antes, durante y después de la prueba, y se obtienen imágenes en momentos específicos [12].

- **Monitoreo durante la anestesia:** el ECG es un registro gráfico continuo y no invasivo de la actividad eléctrica del corazón a lo largo del ciclo cardíaco, incluida la despolarización (contracción) y la repolarización (relajación) de las aurículas y los ventrículos. Durante la anestesia, se utilizan agentes farmacológicos para deprimir los sistemas nervioso, cardiovascular y respiratorio, por lo que la monitorización e interpretación de variaciones en la función cardiovascular es esencial para prevenir complicaciones durante la anestesia. La mayoría de los monitores multiparamétricos electrónicos proporcionan información sobre la función cardiovascular, como ECG y presión arterial no invasiva [13].

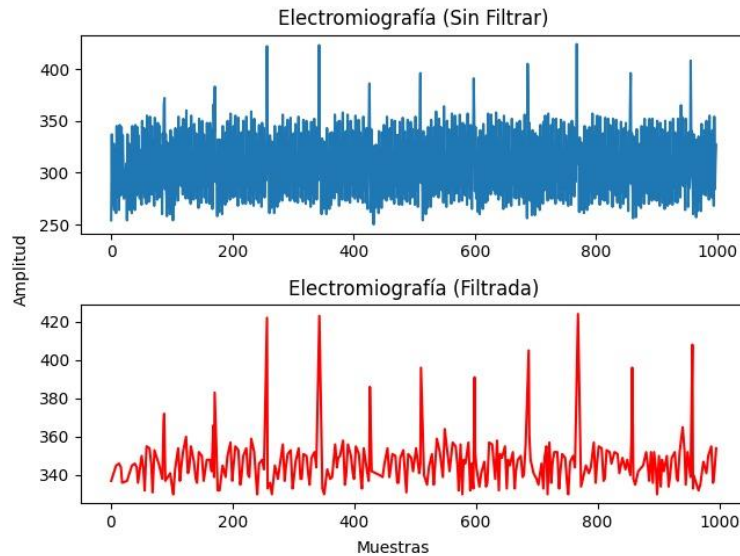
**5. Presente la realización de las tareas descritas en la aplicación y adjunte los archivos de código Arduino y Python implementados; además adjunte un ejemplo de cada una de las señales registradas.**

Las señales adquiridas fueron tratadas y almacenadas en documentos de formato .xlsx para ser utilizadas en distintos contextos. Las siguientes imágenes representan los datos recopilados y la importancia de la etapa de filtrado.

La figura 3 representa la señal electromiográfica, en la cual se eliminan las amplitudes menores a 330 para poder evidenciar la actividad muscular asociada a la flexión y extensión de los dedos de la mano izquierda, en la cual actúa el músculo del mismo nombre.

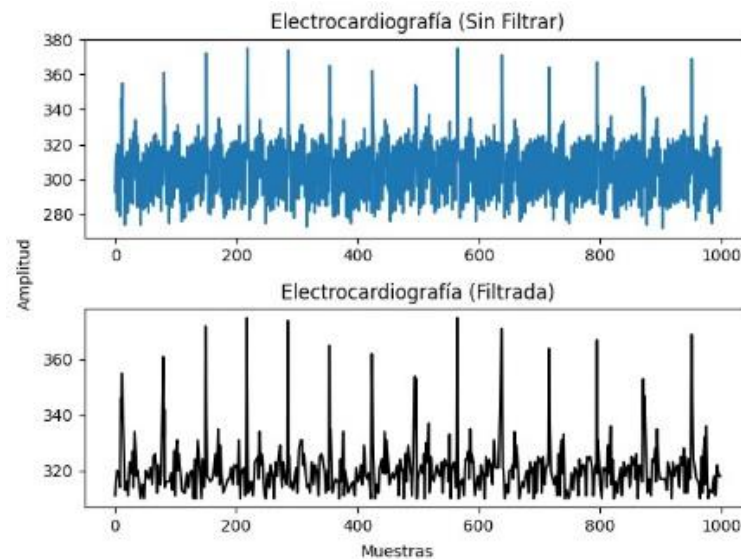
Nótese que la señal sin filtrar (azul) presenta una alta cantidad de ruido, principalmente asociada a interferencia de los equipos electrónicos presentes en el sitio de toma de las señales.





**Figura 3.** Señal electromiográfica.

Así mismo, la señal cardíaca fue atenuada eliminando amplitudes asociadas al ruido de interferencia mencionado anteriormente.



**Figura 4.** Señal electrocardiográfica.

Los archivos de código y Excel con las señales recopiladas se presentan como archivos anexos.

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

- Como resultados de esta práctica de laboratorio se tiene un esquema detallado de los pasos de registro del potencial biológico, desde la generación de potenciales de

acción, la conversión en señales digitales y su almacenamiento. La transmisión, amplificación, filtrado y conversión de analógico a digital son procesos importantes para obtener señales limpias y procesables.

- También se ha identificado y clasificado las principales fuentes de ruido durante el registro de biopotenciales, proporcionando estrategias específicas para controlar o eliminar cada una de ellas. Controlar la interferencia electromagnética, el movimiento mecánico y otros tipos de interferencia es esencial para garantizar la calidad de la señal recibida.
- La importancia del acoplamiento piel-electrodo en el registro de señales de superficie (sEMG, EEG, ECG) es fundamental en todo el proceso. Los problemas asociados con esta etapa, como la interferencia electromagnética y la alta impedancia, resaltan la necesidad de estrategias apropiadas para mejorar la calidad del acoplamiento y, por lo tanto, la señal grabada.
- Se presentan seis aplicaciones clínicas relevantes de ECG y EMG, destacando el tipo de registro y procesamiento utilizado en cada aplicación. Estas aplicaciones ilustran la diversidad en cómo se pueden utilizar estas señales en contextos médicos, desde el diagnóstico cardíaco hasta la recuperación muscular.
- Es importante obtener registros precisos y de alta calidad en el análisis del potencial biológico. Un registro adecuado es esencial para un diagnóstico preciso y una toma de decisiones clínicas sólidas, y enfatiza la necesidad de técnicas avanzadas y equipos precisos para recopilar y procesar señales.

## 7. Referencias.

[1]F. Guerrero, M. Haberman, and E. Spinelli, “Sistema multicanal para adquisición de biopotenciales ,” Revista Ingeniería Biomédica, vol. 8, no. 15, Jul. 2014.

[2]C. A. Herrera Ramírez, Moreno Pérez. A., K. G. Chávez Gutiérrez, L. Niño de Rivera y Oyarzabal, J. M. Herrera Ramírez, and V. Ponomaryov, “Amplificador de biopotenciales para electroretinografía,” VIII Congreso Internacional sobre Innovación y Desarrollo Tecnológico. Cuernavaca, Morelos, México, Nov. 26, 2010.

[3]L. Labayén, “Ruido transitorio e impedancia de un electrodo de puesta a tierra,” 2021.

- [4]J. Lorenzo Romero, “Análisis de señales electrocardiográficas usando técnicas de procesamiento digital,” Barcelona, 2015.
- [5]H. Araiza Lizarde and R. Muñoz Guerrero, “Medición de impedancia eléctrica de la piel en el rango de frecuencia de 5 a 1,000 Hz,” *Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica*, vol. 28, no. 2, 2007.
- [6]J. S. Salgado Manrique, “Diseño de órtesis utilizando sensores mecanomiográficos como alternativa a los sensores de EMG para terapia de rehabilitación de miembro superior,” Bogotá.
- [7]L. Resnik, H. Huang, A. Winslow, D. L. Crouch, F. Zhang, and N. Wolk, “Evaluation of EMG pattern recognition for upper limb prosthesis control: a case study in comparison with direct myoelectric control,” *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, vol. 15, no. 23, Mar. 2018.
- [8]B. Ahkami, K. Ahmed, A. Thesleff, L. Hargrove, and M. Ortiz Catalan, “Electromyography-Based Control of Lower Limb Prostheses: A Systematic Review,” *IEEE Transactions on Medical Robotics and Bionics*, vol. 5, no. 3, pp. 547–562, Aug. 2023.
- [9]L. Criado, A. de La Fuente, M. Heredia, J. Montero, A. Albaladejo, and J.-M. Criado, “Electromyographic biofeedback training for reducing muscle pain and tension on masseter and temporal muscles: A pilot study,” *Journal of Clinical and Experimental Dentistry*, vol. 8, no. 5, pp. 571–576, Dec. 2016.
- [10]ANM Uruguay, “Del triángulo de Einthoven a la Inteligencia Artificial,” *Silver Generation*, 2023.
- [11]HM. Lak, S. Ranka, and A. Goyal, “Pharmacologic Stress Testing,” *StatPearls*.
- [12]G. Álvarez, G. Ochoa, J. Velazco, C. Gutiérrez, and E. Monares, “Monitoreo anestésico básico,” *Revista Mexicana de Anestesiología*, vol. 36, no. 1, pp. 95–100, 2013.