

Tecnología y técnicas de adquisición de EMG

Bioseñales y sistemas

Danna Isabella García Saenz - Solanlly Evenedy Montoya Rivera
danna.garcia@udea.edu.co - evenedy.montoya@udea.edu.co

Abril, 2024

INTRODUCCIÓN

Las prótesis representan herramientas que actúan como una extensión para individuos que han experimentado una amputación, ya sea debido a condiciones congénitas, intervenciones quirúrgicas por enfermedades como el cáncer o la diabetes, o eventos traumáticos, si bien el propósito primordial de las prótesis es reemplazar la función del miembro faltante, en la actualidad también se considera su contribución a la estética y la apariencia física del usuario.

Dado los diversos objetivos que pueden perseguir las prótesis, se observa una variedad de tipos disponibles en el mercado. Entre ellas, se distinguen las prótesis externas, que pueden ser removidas y colocadas externamente al cuerpo, y los implantes, que se insertan durante procedimientos quirúrgicos. En el ámbito de las prótesis externas, y específicamente en las diseñadas para sustituir extremidades, se clasifican en miembros inferiores y miembros superiores. Las prótesis de miembros superiores abarcan varios tipos, tales como prótesis pasivas, de control corporal, mioeléctricas alimentadas externamente, híbridas y específicas para actividades particulares.

El enfoque principal de este proyecto recae en las prótesis mioeléctricas, las cuales han experimentado avances notables con el fin de mejorar la calidad de vida de individuos con amputaciones de miembros superiores, estas prótesis, controladas por señales musculares, no solo facilitan el proceso de recuperación personal, sino que también contribuyen a la reintegración social, otorgando a los usuarios autonomía y bienestar.

El presente proyecto se concentra en la segunda fase del curso, que implica la manipulación de dispositivos de bajo costo y el aprovechamiento de librerías de código abierto para adquirir señales y transmitirlas al computador.

En este contexto, se abordará la historia, aplicaciones y principales industrias relacionadas con las prótesis mioeléctricas, con el propósito de comprender su evolución y relevancia. Además, se propondrán estrategias para mejorar la fijación de sensores y la ubicación de electrodos para capturar el movimiento de flexión-extensión del codo, aspecto crucial para el correcto funcionamiento de estas prótesis. Para ello, se definirá un protocolo de registro que contempla aspectos como la población de estudio, el montaje de electrodos, el tipo de ejercicio a realizar durante el registro, la forma de onda esperada y la duración del mismo, este protocolo se aplicará en diez sujetos cuyos datos se registrarán y almacenarán en el computador utilizando PySerial, y posteriormente, se emplearán métodos de análisis y se llevará a cabo una exploración de los datos obtenidos, con el fin de comprender los patrones de activación muscular y la coordinación neuromuscular durante los movimientos de flexión y extensión del codo.

1. Historia, aplicaciones y principales industrias de prótesis mioeléctricas.

A lo largo de la historia las extremidades como las manos han sido importantes para la supervivencia física de los humanos y la capacidad de realizar interacciones sociales, por lo mismo la pérdida de estas resulta en una experiencia profunda, que requiere un apoyo psicológico y una rehabilitación física considerable. Las amputaciones de las extremidades superiores afectan a menudo a personas que sufren traumatismos, deficiencias congénitas, cánceres y enfermedades vasculares. La invención de las prótesis mioeléctricas ha revolucionado la forma en que los amputados interactúan con su entorno, permitiéndoles realizar una amplia gama de tareas cotidianas con mayor eficacia devolviéndoles su autonomía, bienestar e integración social [1].

El concepto de control mioeléctrico se remonta a 1948, cuando Reinhold Reiter desarrolló la primera prótesis mioeléctrica, este dispositivo amplificaba los potenciales de la electromiografía de superficie EMG para accionar componentes motorizados, lo que supuso un enfoque pionero en el diseño de prótesis. A pesar de esto la prótesis inicial no obtuvo un reconocimiento generalizado ni éxito comercial. Mas tarde en 1960 se produjo un avance importante cuando el científico ruso Alexander Koblinski presentó un modelo clínicamente significativo, en esta caso la prótesis utilizaba transistores para reducir el volumen y mejorar la portabilidad, con baterías y otros componentes electrónicos que se llevaban en un cinturón y se conectaban a la extremidad mediante cables, la inclusión de un guante del color de la piel pretendía mejorar la estética, sin embargo problemas como el peso, la lentitud de movimiento y la susceptibilidad a los daños dificultaron la adopción generalizada de esta prótesis. En la década de 1980, los avances en materiales y tecnología dieron lugar a diseños más ligeros y ergonómicos, y las fuentes de energía pasaron del gas comprimido a las baterías recargables. Hoy en día, las prótesis mioeléctricas representan una opción estándar para las personas con amputaciones de miembros superiores, lo que demuestra los notables progresos realizados en el campo de la tecnología, la investigación y la innovación continuas en los sistemas de control mioeléctricos, que a su vez prometen mejorar aún más su funcionalidad y facilidad de uso para mejorar la calidad de vida de los amputados de todo el mundo [1].

Las prótesis mioeléctricas ofrecen una amplia gama de aplicaciones que benefician significativamente a las personas con amputaciones en sus extremidades. Estos dispositivos protésicos avanzados, controlados por las señales musculares del usuario, son tecnologías de asistencia fundamentales que nos pueden ayudar con temas de rehabilitación, con la exploración de diversas estrategias de control para mejorar la precisión e intuitividad de los movimientos, y la integración de sistemas de retroalimentación sensorial para proporcionar a los usuarios información táctil y propioceptiva que permite una mejor interacción con el entorno y una mayor sensación de integración de la prótesis en el esquema corporal del individuo, así mismo gracias a los protesis mioelectricas se puede explorar cómo las señales cerebrales pueden llevar a el control del movimiento de las prótesis, lo que conduce a un control más natural e intuitivo [2].

Ottobock: Ottobock nace en 1919, cuando Otto Bock fundó Orthopädische Industrie GmbH, con la introducción de la fabricación de componentes protésicos, la compañía enseguida se convirtió en un referente a nivel mundial, siendo es uno de los mayores fabricantes y distribuidores de prótesis, órtesis y soluciones para la movilidad de todo el mundo, así como el principal patrocinador de causas sociales a favor de la inclusión, el empoderamiento humano y eventos como los Juegos Paralímpicos. Según la empresa, la calidad de vida de las personas está estrechamente vinculada a la libertad e independencia personales, por eso su objetivo es ayudar a las personas a recuperar su libertad de movimiento a través de sus productos [3].

Ofrecen equipos como *manos protésicas mioeléctricas*, que son una de las más avanzadas y versátiles disponibles en la actualidad, están controladas por las propias señales mioeléctricas del usuario y alimentadas por una batería, los electrodos en la piel del muñón residual pueden recoger impulsos nerviosos de los músculos del usuario y utilizarlos para controlar los motores de la mano protésica, ofrecen un control versátil sobre una amplia gama de movimientos de los dedos y patrones de agarre, lo que permite realizar diversas actividades. Esta compañía también ofrece otra variedad de prótesis mioeléctricas como prótesis biónica, Michelangelo y MyoHand VariPlus Speed. Cada uno tiene su propia funcionalidad única y diseño de vanguardia [4].

Protesis avanzadas: Jorge Robledo es el inventor de la prótesis A3D, quien desde el 2010 comenzó con el desarrollo del dispositivo de una forma muy artesanal y manual motivado por el propósito de querer generar una prótesis avanzada al alcance de todos, y que sea una herramienta funcional que genere bienestar a las personas. Al incorporar la impresión 3D como método de prototipado y fabricación, logró avanzar significativamente y tener un prototipo que podía ser usado como prótesis, dando inicio a la empresa Prótesis Avanzadas [5].

La *Prótesis A3D* se acciona por medio de sensores mioeléctricos, los cuales permiten mayor comodidad para su uso, además apoyan la rehabilitación física y muscular, cuenta con pulpejos de silicona, los cuales mejoran adherencia de la mano y evita el deslizamiento de objetos, la prótesis cuenta con rotación de muñeca (de 180°) y tiene cuatro tipos de agarre: Agarre de mano completa, agarre de mano completa con el pulgar en oposición, agarre de trípode, agarre con dedo pulgar. Además cuenta con otra funcionalidad: dedo índice en extensión. cuenta con baterías recargables y con sistema de protección de baterías, que permite tener mayor autonomía y vida útil ya que evita el daño por sobrecarga o sobredescarga, así mismo como indicadores led para conocer el estado de la mano. La impresión 3D permite la facilidad en el proceso de fabricación y mejora continuas al producto en su ensamble [5].

Fillauer: Es una empresa fundada por George Fillauer, que ofrece dispositivos ortésicos y protésicos y que en la actualidad es líder mundial en innovación, su objetivo es ayudar a pacientes a vivir de forma funcional. Esta compañía ofrece dos tipos de prótesis, una de ellas es la *mano mioeléctrica multiarticulada TASKA*, es un dispositivo terminal robusto y sumergible para usuarios con un estilo de vida activo, y también ofrece la prótesis *Utah Arm 3*, que proporciona un control electrónico sensible y preciso del codo y de la Mano, opcional o simultáneamente. cuenta con ajustes automático de la sensibilidad que pueden realizarse mediante Auto-Cal y tiene opciones para la rotación de la muñeca flexión y multi-Flex [6].

Proteor: Fundada por la familia Pierron en Dijon, Francia, esta empresa se ha destacado por su compromiso con la innovación y la creación de soluciones personalizadas para aumentar la independencia y el bienestar de las personas. La compañía ha sido reconocida con certificaciones ISO 9001 y ISO 13485 por su calidad en la gestión y fabricación de dispositivos, además tiene un enfoque en el desarrollo sostenible, utilizando materiales más ligeros, menos tóxicos y fácilmente reciclables.

Esta compañía tiene una historia de más de 100 años dedicados a mejorar la vida de los usuarios y ha sido respaldada por inversionistas financieros para acelerar su crecimiento internacional, convirtiéndose en uno de los principales proveedores de prótesis a nivel mundial [7]. Ofrecen soluciones innovadoras, incluyendo *prótesis de manos mioeléctricas articuladas* que utilizan señales eléctricas generadas por los músculos del usuario para controlar el movimiento de la prótesis de manera más natural y precisa. Además ha integrado tecnología de punta en sus prótesis, como la rodilla Plie3 controlada por microprocesadores, tobillos de alta gama y pies de fibra de carbono, lo que demuestra su compromiso con la excelencia y la mejora continua en el campo de las prótesis y ortesis [8].

2. Estrategias que permiten la mejor fijación de los sensores y ubicación de electrodos para capturar el movimiento de flexión-extensión de codo.

Se han propuesto varias estrategias que permiten una óptima fijación de los sensores. Entre estas propuestas se incluye asegurarse de que los sensores estén ubicados con precisión en los músculos objetivo responsables del movimiento. Asimismo, es importante limpiar bien la piel para eliminar cualquier resto de suciedad, grasa o células muertas que puedan interferir con la interfaz electrodo-piel y, de esa manera, contar con una preparación adecuada de la piel para garantizar un buen contacto de los electrodos y una buena calidad de la señal. También se debe elegir el tipo de electrodos adecuado para la aplicación, como electrodos de superficie que puedan moverse con la piel y sean parches adhesivos que mantengan a los electrodos en su sitio. El acoplamiento piel-electrodo es crucial en el registro de señales potenciales, ya que una interfaz deficiente puede generar problemas como alta impedancia, inestabilidad y degradación de la señal. Es fundamental la obtención de señales claras y confiables para la obtención de diagnósticos precisos [9].

La mejor ubicación del electrodo para capturar el movimiento de flexión-extensión del codo sería en la cabeza superior del bíceps braquial y codo. En el contexto de análisis de movimiento para diagnóstico clínico, la colocación del electrodo en esta zona permite evaluar la fuerza y posición angular durante los movimientos de flexión y extensión del codo. Este enfoque se basa en la extracción de características de la señal electromiográfica para determinar la posición angular mediante el uso de un filtro pasabajos. Además, se ha demostrado que el algoritmo Q1, utilizado para determinar la posición angular, presenta menores niveles de ruido, lo que lo convierte en una opción efectiva para estimar la señal de posición angular en este tipo de movimientos [10].

3. Protocolo de registro (población de estudio, montaje de los electrodos, tipo de ejercicio a realizar durante el registro y forma de onda esperada para el tipo de ejercicio, duración del registro).

Población de estudio: En el estudio participaron diez sujetos sanos, de ambos sexos, cuyas edades oscilaban entre los 20 y los 28 años. Antes de recopilar los datos, se les mostraron a los participantes fotografías instructivas de los movimientos del brazo necesarios para el estudio. Cabe resaltar que la gran mayoría de los participantes estuvieron realizando el movimiento indicado antes de que se registrara la señal.

Montaje de los electrodos: Para la ubicación de los electrodos primero se limpió el área de interés de todos los sujetos para asegurar una superficie limpia y libre de residuos. Se posicionaron tres electrodos de gel sólido de cloruro de plata en el antebrazo de los sujetos, específicamente en la región del bíceps y el codo, para captar las señales electromiográficas asociadas con los movimientos de los músculos de extensión y flexión, en este caso, la ubicación del electrodo del codo servía como sistema de referencia o COM.

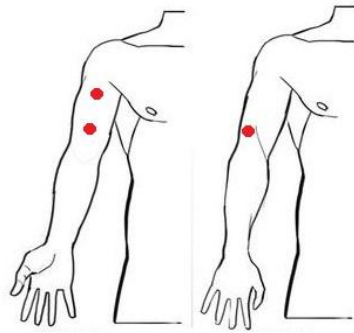


Figura 1. Ubicación electrodos

Tipo de ejercicio: El experimento incluyó 2 clases de movimientos del brazo flexión y extensión. Esto permite analizar los patrones de activación de los músculos proporcionando información sobre la coordinación muscular, la fuerza y el control neuromuscular durante tareas dinámicas en las que interviene la articulación del codo.

Forma de onda esperada: Durante la flexión (contracción) muscular, la forma de onda EMG suele mostrar un aumento de amplitud debido a la activación de las fibras musculares, por otro lado, durante la extensión muscular (relajación), la forma de onda EMG suele mostrar una disminución de la amplitud a medida que el músculo se relaja y la actividad disminuye. Esta disminución de la amplitud refleja la menor actividad muscular durante la fase de extensión del movimiento. Es importante señalar que las características exactas de la forma de onda pueden variar en función de factores como la intensidad del movimiento y las variaciones individuales en los patrones de activación muscular.

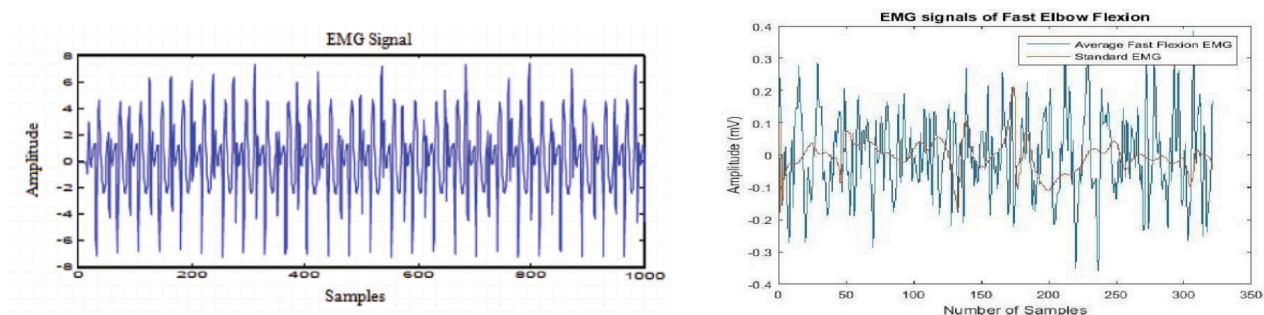


Figura 2. Formas de onda estándar para señales EMG [11] [12]

Tiempo del registro: Durante el proceso, se utilizó un período de 5 segundos para obtener la forma de onda de la electromiografía (EMG) durante la flexión y extensión del brazo. En este lapso, se recopilan datos suficientes para evaluar la activación muscular, la duración de la contracción y la coordinación entre los músculos durante el movimiento. Se solicitó a cada uno de los participantes que realizaran 3 flexiones y extensiones del brazo.

4. Muestra obtenidas.

En la Figura 3 se puede observar la forma de la señal obtenida de los 10 sujetos tras llevar a cabo todos los protocolos descritos en la sección 3.

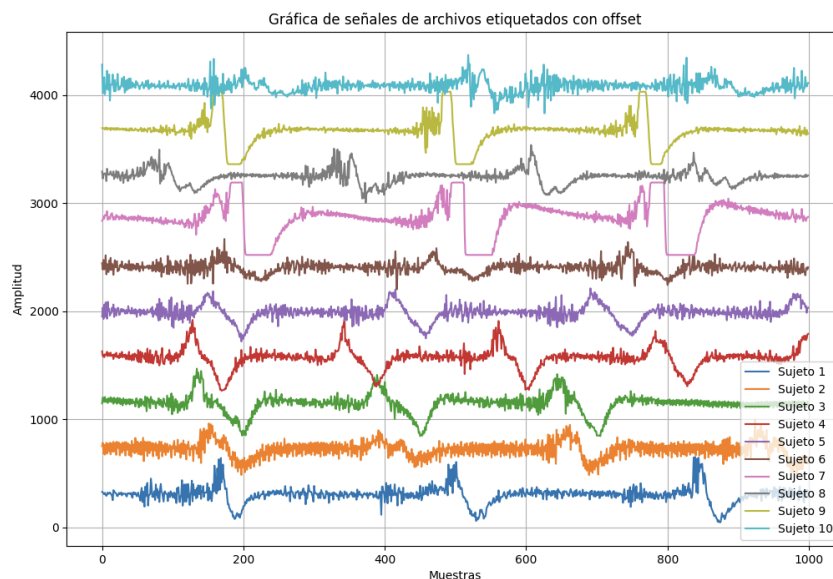


Figura 3. Muestras recogidas de 10 sujetos

Como se puede apreciar en la Figura 3, se observaron señales con diferente amplitud de onda y una distribución variable. Es importante tener en cuenta que las mediciones se realizaron con instrumentos desechables y cables de uso constante, lo que sugiere que las fuentes de artefactos externos y las técnicas de procesamiento de la señal pueden desempeñar un papel importante en la adquisición de una señal precisa y fiable.

Al llevar a cabo el experimento con diferentes sujetos, varios factores influyeron en la adquisición de señales, en donde la ubicación adecuada de los electrodos sobre los músculos es crucial para captar la actividad eléctrica generada durante las contracciones musculares. Teniendo en cuenta que se hicieron las pruebas en distinto tipo de personas, la ubicación exacta variaba entre sujetos debido a diferencias anatómicas, como la masa muscular, el grosor del tejido y el tamaño del brazo también variaba entre sujetos de sexo femenino y masculino. Además, el nivel de contracción muscular afecta directamente las características de amplitud y frecuencia de la señal electromiográfica, lo que resulta en intensidades y patrones variables en los diferentes niveles de activación. Todos estos aspectos deben ser considerados al realizar un análisis descriptivo y estadístico de la información de las señales, lo que nos permitirá determinar la variabilidad de los datos entre los distintos sujetos estudiados.

5. Consulta sobre posibilidades de procesamiento de los datos en sistemas embebidos.

Los sistemas embebidos son dispositivos informáticos diseñados para realizar funciones o tareas específicas dentro de un sistema más amplio, en este contexto nos implican la adquisición, almacenamiento y manipulación de datos para extraer información significativa o realizar operaciones específicas como el procesamiento de señales, el filtrado y su compresión. El procesamiento de datos embebidos para señales de electromiografía podría ser útil en diversas aplicaciones del sector sanitario, este se utiliza para la monitorización de la salud, telemedicina, el análisis de datos para la identificación de tendencias y la implementación de algoritmos y modelos de aprendizaje automático para el análisis y la gestión eficientes de afecciones [13].

En el campo del procesamiento de señales de electromiografía, existen importantes posibilidades para el tratamiento de datos en sistemas embebidos. Los enfoques tradicionales se han basado a menudo en técnicas de procesamiento digital de señales (DSP), que pueden no captar plenamente las características variables en el tiempo de las señales EMG, es por esto que la utilización de sistemas embebidos con algoritmos de filtrado permitirían eliminar eficazmente el ruido de las señales EMG de superficie, así respetando las características no lineales del sistema biológico, conservando la información sin distorsiones y adaptándose a fuentes de ruido variables, por lo que resulta adecuado para múltiples aplicaciones sin modificaciones significativas. Este sistema ofrece ventajas como la adaptabilidad y la reducción de la complejidad de calibración del sistema, así como proporcionar tiempos de procesamiento más rápidos en comparación con los sistemas tradicionales, lo que los hace eficientes para aplicaciones en tiempo real, por lo tanto representar una opción prometedora para mejorar la precisión, eficiencia del procesamiento de datos en aplicaciones de electromiografía [14].

Conclusiones

- La ubicación adecuada de los electrodos es crucial para garantizar la adquisición óptima de la señal EMG, lo que permite capturar de manera efectiva los patrones de contracción y relajación muscular, además el empleo de técnicas de procesamiento de señales como el filtrado y la amplificación puede mejorar significativamente la calidad de las señales EMG al eliminar el ruido y otras variaciones no deseadas permitiendo un análisis más detallado y preciso en aplicaciones clínicas y de investigación.
- Los sistemas embebidos para las mediciones de EMG ofrece varias ventajas como altas velocidades de procesamiento, bajo consumo de energía y compatibilidad con plataformas de software como MATLAB u otros, lo que facilita un procesamiento eficaz de los datos, además, los sistemas embebidos pueden personalizarse para satisfacer requisitos de investigación específicos, lo que permite una integración perfecta con las unidades de adquisición de señales EMG.
- Al captar las señales EMG durante las contracciones de flexión y extensión del brazo, surgen patrones distintos a nivel de la señal, durante la flexión del músculo, la señal tiene mayor amplitud y frecuencia debido a una mayor activación muscular y generación de fuerza, por el contrario, durante la extensión, la señal EMG puede mostrar una disminución de la amplitud y la frecuencia a medida que el músculo se relaja y vuelve a su estado de reposo.

Bibliografía

- [1] KJ Zuo, JL Olson. The evolution of functional hand replacement: From iron prostheses to hand transplantation. *Plast Surg* (2014). Obtenido de: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4128433/pdf/ps-22-44.pdf>
- [2] Chen, Z. ; Min, H. ; Wang, D. ; Xia, Z. ; Sun, F. ; Fang, B. A Review of Myoelectric Control for Prosthetic Hand Manipulation. *Biomimetics* (2023). Obtenido de: <https://www.mdpi.com/2313-7673/8/3/328>
- [3] Pablo Torres. Ottobock Ibérica. (2022). Obtenido de: <https://www.guiadeprensa.com/publicaciones/ottobock-iberica/#:~:text=%C2%BFCu%C3%A1les%20son%20los%20or%C3%ADgenes%20de,un%20referente%20a%20nivel%20mundial.>

- [4] Ottobock. Lo que hay que saber brazos y manos protésicas. Obtenido de: <https://www.ottobock.com/es-us/lo-que-debe-saber-sobre-los-brazos-y-manos-protesis>
- [5] Prótesis Avanzadas. Prótesis A3D (2021). Obtenido de: <https://www.protesisavanzadas.co/pr%C3%B3tesis-a3d>
- [6] Fillauer Resources. Obtenido de: <https://fillauer.com/product-categories/upper-extremity-myoelectric/>
- [7] The PROTEOR Group. Obtenido de: <https://proteor.com/the-proteor-group/>
- [8] Proteor medicalexpo Prótesis de mano mioeléctrica. Obtenido de: <https://www.medicalexpo.es/prod/proteor/product-74986-1066144.html>
- [9] Raez MB, Hussain MS, Mohd-Yasin F. Techniques of EMG signal analysis: detection, processing, classification and applications. Biol Proced Online. (2006). Obtenido de: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1455479/>
- [10] Acebes Moreno, D.; Cortés Gómez, J.; Peñuela Calderón, L.; Velasco Vivas, A. Revista EIA. Detección de fuerza y posición para los movimientos de flexión-extensión de codo a partir de señales de EMG. (2023). Obtenido de: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8814994.pdf>
- [11] AhmadTaherAzar, ValentinaE.Balas. Statistical Methods and Artificial Neural Networks Techniques in Electromyography. International Journal of System Dynamics Applications. (2012). Obtenido de: https://www.researchgate.net/publication/230647098_Statistical_Methods_and_Artificial_Neural_Networ ks_Techniques_in_Electromyography
- [12] Kasun Samarawickrama, Sadun Ranasinghe, Yasoja Wickramasinghe. Surface EMG Signal Acquisition Analysis and Classification for the Operation of a Prosthetic Limb," International Journal of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics vol. 8. (2017). Obtenido de: https://www.researchgate.net/publication/322180124_Surface_EMG_Signal_Acquisition_Analysis_and_Classification_for_the_Operation_of_a_Prosthetic_Limb_International_Journal_of_Bioscience_Biochemi stry_and_Bioinformatics_vol_8_no_1_pp_32-41_2018
- [13] C. M. Duran Acevedo and J. E. Jauregui Duarte, "Development of an Embedded System for Classification of EMG Signals . Research Group in Multisensory Systems and Pattern Recognition. (2014). Obtenido de: https://www.researchgate.net/publication/269707817_Development_of_an_Embedded_System_for_Class ification_of_EMG_Signals
- [14] Proaño-Guevara, D., Blanco Valencia, X., Rosero-Montalvo, P. D., & Peluffo-Ordóñez, D. H. . Electromiographic Signal Processing Using Embedded Artificial Intelligence: An Adaptive Filtering Approach. International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence (2022). Obtenido de: <https://reunir.unir.net/handle/123456789/13713>