

**CARACTERIZACIÓN DE SEÑALES  
MIOELÉCTRICAS DE MIEMBRO SUPERIOR  
MEDIANTE SENSORES ELECTROMIOGRÁFICOS E  
INERCIALES DIGITALES**

**CHARACTERIZATION OF UPPER  
LIMB MYOELECTRIC SIGNALS USING  
ELECTROMYOGRAPHY AND INERTIAL DIGITAL  
SENSORS**

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

**Ordaz, Jesús Alberto<sup>1</sup>**

BUAP, México

jesus.ordaz@correo.buap.mx

ORCID: 0000-0002-5810-0050

**Merino, Pilar<sup>2</sup>**

IBM, México

pilar.merino@ibm.com

ORCID: 0000-0001-9885-1062

**Aparicio, Aida Anaí<sup>3</sup>**

Universidad del Valle de Puebla, México

aida.aparicio@uvp.edu.mx

ORCID: 0000-0002-3547-2433

Fecha de recepción: 20 de octubre de 2022, Fecha de aceptación: 2 de noviembre de 2022. Fecha de publicación: 20 de diciembre de 2022.

### **Reseña de Autor <sup>1</sup>**

Maestro en Ingeniería Electrónica, opción en Instrumentación Electrónica por la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP), México, Ingeniero en Mecatrónica por la misma institución. Cuenta con estancias de investigación a nivel internacional como Miembro del Laboratorio de Ingeniería Biomecánica de la Universidad Politécnica de Cataluña, España. Profesor de la Facultad de Ciencias de la Electrónica de BUAP en el programa de Ingeniería en Mecatrónica y Asesor Honorífico de la División de Ingenierías de la Universidad del Valle de Puebla de los programas de Ingeniería Mecánica y Diseño Automotriz e Ingeniería en Mecatrónica.

### **Reseña de Autor <sup>2</sup>**

Ingeniera en Ciencias de la Computación por la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP), técnico especialista en Computación. Actualmente se desempeña como desarrollador en la empresa: International Business Machines (IBM) de México, ha colaborado en múltiples proyectos tecnológicos orientados a software y hardware, con aplicaciones en el área de robótica de asistencia.

### **Reseña de Autor <sup>3</sup>**

Candidata a Doctora en Ingeniería del Lenguaje y del Conocimiento por la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Maestra en Ingeniería Electrónica,

Opción Instrumentación Electrónica y Licenciada en Electrónica por la misma institución, ha participado activamente en el desarrollo de sistemas de procesamiento digital de señales. Actualmente se desempeña como profesora de la División de Ingenierías de la Universidad del Valle de Puebla.

## **Resumen**

El presente propone el diseño de una interfaz gráfica dirigida a la caracterización de señales mioeléctricas del miembro superior y su efector final (mano), mediante la decodificación de la información proveniente de sensores comerciales. Además, se presenta la caracterización de cuatro posiciones de la mano a través de un algoritmo iterativo e implementado en un ESP32, logrando así un porcentaje de error mínimo en la clasificación de los movimientos y cuyos datos pueden validarse mediante la interfaz gráfica de usuario.

**Palabras clave:** algoritmo, decodificación, interfaz, mano, mioeléctricas.

## **Abstract**

The present proposes the design of a graphical interface aimed at the characterization of myoelectric signals of the upper limb and its final effector (hand), through the decoding of information from commercial sensors. In addition, the characterization of four hand positions is presented through an iterative algorithm and implemented in an ESP32, thus achieving a minimum percentage of error in the classification of movements, and whose data can be validated through the graphical user interface.

**Keywords:** algorithm, decoding, hand, interface, myoelectric.

## **Introducción**

Tanto en el ámbito laboral como en la vida cotidiana, la pérdida de un miembro (superior) se traduce en una gran dificultad que va desde la incapacidad laboral hasta la reducción de la calidad de vida del paciente. El desarrollo de prótesis de tecnología no invasiva responde a esta necesidad de una forma eficiente, garantizando una mejora en la calidad de vida del paciente.

En la actualidad, dentro del área de la medicina, en específico, de la ingeniería biomédica, existen prótesis que sustituyen, tanto, miembros superiores como miembros inferiores, las cuales pueden ser invasivas para el paciente. Enfocándose en la pérdida del miembro superior, las prótesis pasan desde elementos estéticos hasta manos robóticas completamente funcionales. Este último tipo de prótesis se “conecta” al cuerpo mediante un sistema de sensores que detectan señales mioeléctricas y mandan información en forma de señales, que se procesan de forma digital en el sistema de control de la prótesis para que esta realice alguna tarea esencial de movilidad.

## **Planteamiento del problema**

Dentro de la robótica, en el área de la ingeniería biomédica, un tema de interés es el implementar dispositivos no invasivos que trabajen en conjunto con algún tipo de prótesis del miembro superior (mecánica, electromecánica, híbridas, etc.) y, además, que cuente con una interfaz humano-computadora. El objetivo de este dispositivo no invasivo es convertirse en el medio de adquisición de señales

fisiológicas propias del cuerpo humano, en particular de zonas superficiales musculares, para el envío de información hacia un controlador, con la finalidad de la imitación de los movimientos de un paciente por parte de una prótesis mioeléctrica en tiempo real, haciéndolo sentir confiado de sí mismo y permitiendo la realización de las actividades básicas y elementales.

El objetivo del presente es diseñar una interfaz gráfica que detecte las señales mioeléctricas del miembro superior, mediante el uso de la pulsera comercial Myo-Armband®, para posteriormente lograr la caracterización de movimientos de la mano humana, considerado como efector final, para posteriormente hacer uso de dicha caracterización para el entrenamiento de sistemas protésicos de miembro superior.

## **Revisión bibliográfica**

Los autores Asogbon et al. (2020), proponen un algoritmo lineal basado en la descomposición generalizada de valores propios y un filtro de Wiener multicanal (GEVD-MWF), para eliminar simultáneamente diferentes tipos de artefactos inherentes a las señales de EEG (electroencefalográfica). Ya que, uno de los principales desafíos de los métodos de EEG basados en ICC (Interfaz Cerebro-Computadora), son los artefactos inevitables contenidos en las grabaciones de EEG, que afectarían la caracterización precisa y la decodificación de las intenciones de movimiento de las extremidades a partir de las señales cerebrales.

En Guo *et al.* (2020), una red neuronal convolucional ligera (Lw-CNN) y un modelo de máquina de vectores de soporte (SVM), son diseñados para el reconocimiento de patrones de señales mioeléctricas. Las señales mioeléctricas de superficie son adquiridas de seis movimientos de las extremidades superiores de ocho sujetos. Se hace una comparación del rendimiento fuera de línea y en línea de ambos modelos.

Los autores Ortega *et al.* (2020) presentan un proceso metodológico para el desarrollo de un prototipo de bajo costo, que sea capaz de adquirir y caracterizar las señales EMG (electromiográfica). El prototipo final es capaz de adquirir las señales de flexión-extensión de los dedos de las manos.

En Prakash *et al.* (2019), se propone un sensor de electromiografía de superficie (sEMG) sensible y de bajo costo para una prótesis mioeléctrica. El sensor consta de una interfaz de piel, un circuito de acondicionamiento de señal y una unidad de fuente de alimentación, todo en un solo paquete. El rendimiento de salida del sensor desarrollado se comparó con un sensor EMG comercial con respecto a la relación señal-ruido (SNR), la sensibilidad de amplitud y el tiempo de respuesta.

## **Metodología**

Después de realizar un análisis del estado del arte y de los productos comerciales, se decide utilizar un dispositivo no invasivo para el desarrollo de este trabajo de investigación: Myo-Armband®, la cual es una pulsera capaz de enviar información a través del protocolo BLE4.0® (Bluetooth Low Energy), cuenta con 8 sensores mioeléctricas (EMG), sensores inerciales (acelerómetro y giroscopio (IMU)), al igual que, también puede realizar vibraciones, entrar en modo “sueño” y la clasificación de posiciones de manos (Abierta, cerrada, etc.).

Los sensores con los que cuenta la pulsera están en la parte interior de la misma, ya que estos generan un contacto directo con la piel para realizar la lectura a nivel superficial del potencial bioeléctrico y la unión de estos se hace a través de conectores Flex. Además, cuenta con un módulo que procesa toda la información, así como un módulo bluetooth, acelerómetros y giroscopios. Myo-Armband® actúa como un dispositivo de adquisición de señales que posteriormente se pueden

procesar para un objetivo específico. En la Figura 1, se muestra la pulsera Myo-Armband® y los 8 sensores con los que está equipada.

**Figura 1.**

*Pulsera Myo-Armband® y distribución de sus sensores.*



*Nota.* Posteriormente, se visualiza en la página del fabricante el despliegue de información de los sensores de la pulsera en su totalidad, mediante el sitio oficial de *diagnostics.myo.com*, este permite la visualización de las señales de cada uno de los ocho sensores EMG, los datos del acelerómetro y giroscopio en los tres ejes X,Y,Z, además de, otras funciones en tiempo real. El algoritmo cuenta únicamente con dos posiciones de la mano, sin embargo, en este trabajo se propone añadir dos nuevas posiciones naturales. Las cuatro posiciones a caracterizar se muestran en la Figura 2.

**Figura 2.**

*Movimientos de la mano a caracterizar mediante la adquisición y decodificación de señales.*



(a)

(b)

(c)

(d)

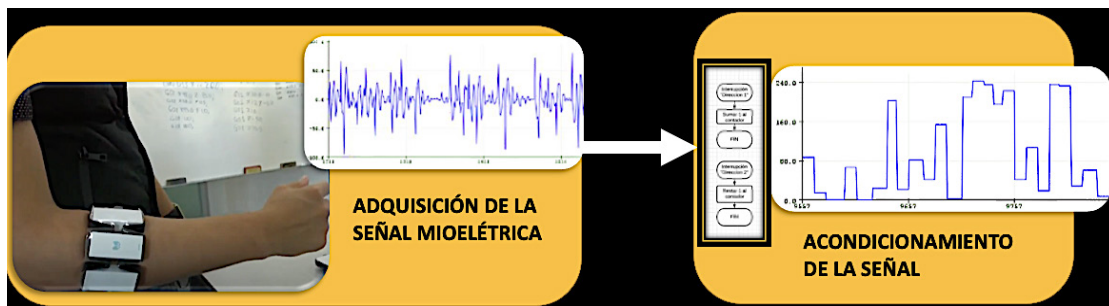
*Nota.* Dentro de la obtención de los datos, existe información que genera ruido y, por ende, la información que proporcionan los sensores no es la correcta. Por tal motivo, se realiza un proceso de filtrado de señales eléctricas para la eliminación de señales a alta frecuencia (pico), si una de las señales filtrada tiene un valor considerado como pico, se aumenta un temporizador que mantiene una señal detectada como pico como un valor discreto, es decir 1, en otro caso la señal se mantiene como un 0 y el temporizador no aumenta, esto asegura no perder la información de cada uno de los sensores. En la Figura 3i) se muestra el proceso de filtrado digital, mediante funciones propias de estimación que se aplicó a cada uno de los sensores, mientras que, en la Figura 3ii) se muestra la señal de un sensor antes y después del filtrado.

**Figura 3.**

*Proceso digital de acondicionamiento de señales.*

```
int dataAfterFilter = myFilter.update(data0);  
int dataAfterFilter1 = myFilter.update(dataAfterFilter);  
int emg= abs(dataAfterFilter1);
```

*i) Funciones de filtrado digital.*



*ii) Esquema de acondicionamiento de señal.*

*Nota.* Realizado el filtrado de las señales obtenidas de los sensores, se prosigue con la toma de muestras, las cuales fueron almacenadas en arreglos de 8 bits (cada sensor es un bit), para observar y comparar el comportamiento en todas las posiciones. En la Figura 4, se observan las muestras tomadas para cada una de las posiciones de la mano.

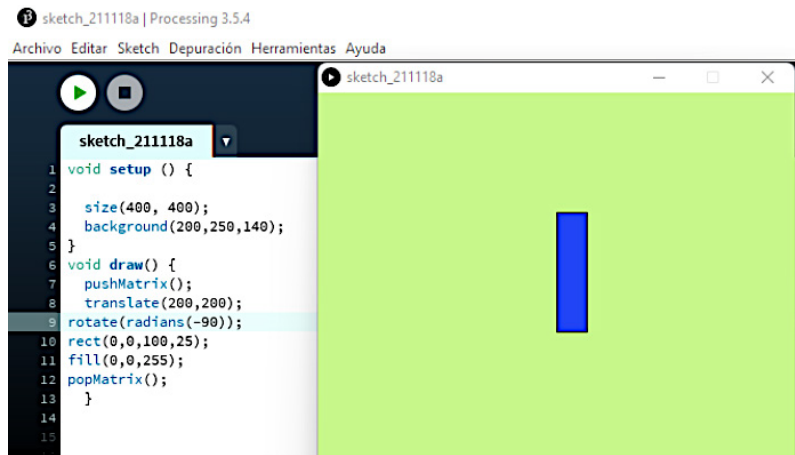




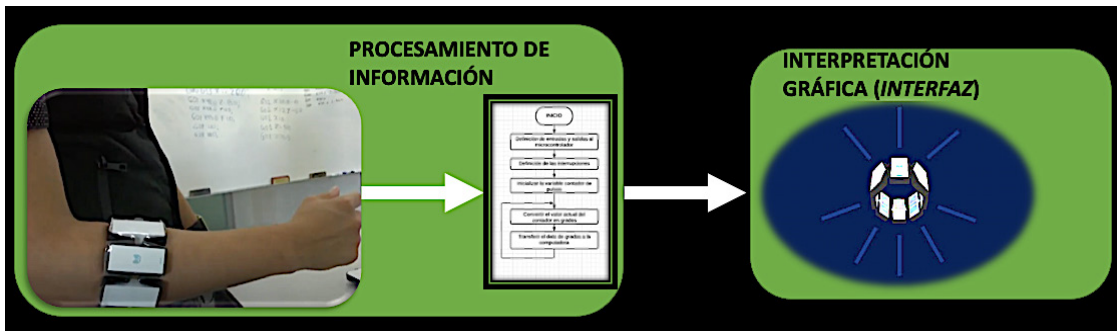
gracias a su comunicación serial con la tarjeta ESP32® programada en Arduino®. En la Figura 5i) se muestra el ambiente de programación para el desarrollo de la interfaz gráfica, a la izquierda el entorno de programación, mientras que, a la derecha, la interfaz gráfica, generada a partir del código del entorno de programación. Así como en la Figura 5ii), el esquema para el procesamiento de la información digital.

**Figura 5.**

*Desarrollo de interfaz gráfica mediante Processing®.*



*i) Ambiente de programación en Processing®.*



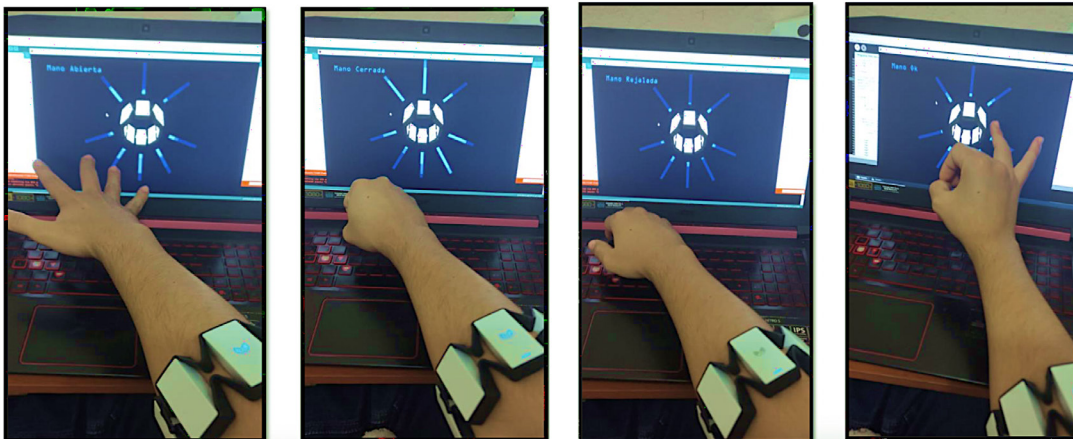
*ii) Esquema de procesamiento de información en interfaz gráfica.*

## Resultados

Mediante la concentración de datos para cada una de las posiciones de la mano y del desarrollo de la interfaz gráfica, se realiza el proceso de clasificación de las posiciones de la mano. En la Figura 6, se muestran las imágenes resultantes a cada una de estas posiciones. Mientras que, en la Figura 7, se puede observar la caracterización y reconocimiento en la interfaz de cada una de estas posiciones naturales y su validación.

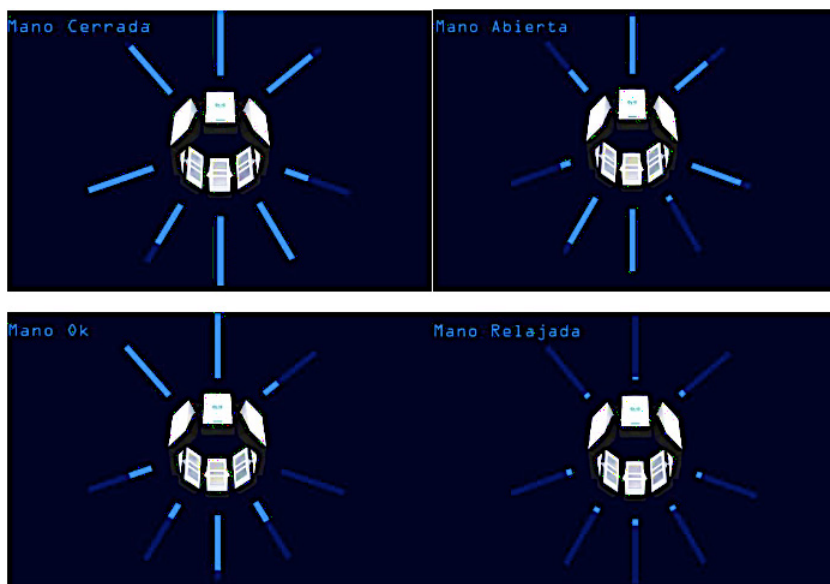
**Figura 6.**

*Clasificación de movimientos de la mano mediante Processing®.*



**Figura 7.**

*Proceso de caracterización y reconocimiento de los movimientos en la interfaz gráfica.*



Caracterizadas cada una de las posiciones fundamentales del efector final o mano, se procede a realizar la conexión con el prototipo de mano robótica L´vers de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, la cual fue diseñada para usuarios que presenten una amputación del tipo trasradial por debajo del codo. Este prototipo de mano robótica mioeléctrica cuenta con un diseño antropométrico y antropomórfico, está dotada de 5 dedos, restringidos a un movimiento en un plano. Esta puede realizar movimientos de forma independiente de flexoextensión, y con la cual, se procedió a validar el proceso de caracterización de señales digitales. Mediante la adquisición de los sensores y la caracterización de los movimientos fundamentales contemplado en este trabajo, se considera el envío de los valores de referencia hacia un sistema de control de posición del sistema robótico que basa su estructura en un controlador del tipo PD más compensación de pares gravitacionales como se menciona en (Ordaz *et al.*, 2015).

En la Figura 8, se observa el funcionamiento de la mano robótica mediante la información caracterizada proveniente de la Myo-Armband® en dos de los movimientos validados.

**Figura 8.**

*Control de movimiento de mano robótica mediante el sensor comercial caracterizado.*



*i) Movimiento de mano en cierre total.*



*ii) Movimiento de mano de apertura total.*

## Conclusiones y discusión

Actualmente, existen pocas alternativas comerciales que generen sistemas de adquisición confiables y validados para su uso en aplicaciones biomédicas, como lo son aquellos dispositivos para el procesamiento de señales mioeléctricas, los cuales pueden dirigirse hacia el control del movimiento de dedos multi-articulados en una mano robótica de forma independiente. Sin embargo, los pocos que se encuentran disponibles en el mercado, sugieren utilizar un mayor número de recursos tecnológicos y económicos, así como una alta complejidad en su incorporación. Por ello, esta propuesta resulta viable y competitiva para su uso e implementación, ya que valida el uso de una pulsera comercial para la adquisición de señales mioeléctricas como lo es la Myo-Armband®, para su incorporación a un sistema de instrumentación y control de posición dirigidos a la manipulación de manos robóticas y/o artificiales, las cuales consideran las señales mioeléctricas del usuario como el conjunto de valores de referencias en la realización de actividades específicas en sistemas protésicos, o en su caso, ortésicos.

Esta propuesta de validación deja abierto un abanico de múltiples y posibles aplicaciones para su uso en plataformas tecnológicas orientadas a hardware o software, un ejemplo de esto es la aplicación que se presenta en este trabajo, como lo es su uso para el control de una mano robótica, ver Figura 9. Se sugiere al interesado explorar alternativas en un enfoque biomédico, para su incorporación en aplicaciones en rehabilitación física motriz, sistema de adquisiciones de señales para procesos de valoración y diagnóstico clínico, bases de datos e historial clínico, etc. Sin embargo, su uso no es del tipo restrictivo al área biomédica, ya que esto dependerá el enfoque y el objetivo de la aplicación.

### Figura 9.

*Incorporación de sistema de caracterización digital a un enfoque biomédico.*



Finalmente, el desarrollo y la realización de este tipo de sistemas de procesamiento digital e instrumentación de bioseñales, permitirán en un futuro que en un país como México, se pueda atender de manera pronta y oportuna, y a un menor costo, a las personas que presenten algún tipo de discapacidad motriz, la cual, le impidan o imposibilite a realizar tareas de vital importancia para su reintegración a la vida cotidiana.

### Referencias

Asogbon, M. G., Samuel, O. W., Li, X., Jiang, N., Idowu, O. P., Jiang, Y. ... & Li, G. (2020, Octubre). A Robust Multi-Channel EEG Signals Preprocessing Method for Enhanced Upper Extremity Motor Imagery Decoding en *2020 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA)* (pp. 1929-1934). IEEE.

- Guo, B., Ma, Y., Yang, J., Wang, Z. & Zhang, X. (2020). Lw-CNN-based myoelectric signal recognition and real-time control of robotic arm for upper-limb rehabilitation. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/8846021>
- Ortega, C. D., Ibarra-Piandoy, A., Viveros-Villada, E. & Mayorca-Torres, D. (2020). Prototipo para la adquisición y caracterización de señales electromiográficas superficiales del movimiento de flexión-extensión de los dedos de la mano. *Revista Ibérica de Sistemas y Tecnologías de la Información*, (E33), 52-64. <https://www.proquest.com/docview/2451419834?fromopenview=true&pq-origsite=gscholar>
- Prakash, A., Kumari, B. & Sharma, S. (2019). A low-cost, wearable sEMG sensor for upper limb prosthetic application. *Journal of medical engineering & technology*, 43(4), 235-247. <https://doi.org/10.1080/03091902.2019.1653391>
- Ordaz, J. A., Gutiérrez J.E.M., Soto, E., Flores E. & Morin M. (septiembre, 2015). *Modelo Matemático y Control PD para un Dedo Robótico Articulado incorporando un Sistema de Palancas en Internacional* en Simposio Iberoamericano Multidisciplinario de Ciencias e Ingenierías (Vol.3), 388-392, Pachuca, Hidalgo, México.