



## Prototipo de prótesis de miembro superior utilizando señales EMG

Roberto Hernández Sánchez Fernando Gudiño Peñaloza\*

### RESUMEN

El presente proyecto muestra el desarrollo e implementación de un prototipo de prótesis de miembro superior. Esta prótesis puede ser controlada por medio de señales electromiográficas, señales que se producen por la actividad muscular, con el objetivo de replicar el movimiento de cierre y apertura de la mano humana, debido a que es el movimiento básico del ser humano.

Para realizar este proyecto se utilizará el sensor AD8232 para la adquisición de señales. Por medio de Arduino y Python se extraerán las características de interés de una señal EMG para crear de forma electrónica un detector de picos. El detector de picos será de utilidad para crear el controlador ON – OFF con histéresis.

### ABSTRACT

This project shows the development and implementation of an upper limb prosthesis prototype. This prosthesis can be controlled by means of electromyographic signals, signals that are produced by muscular activity, in order to replicate the closing and opening movement of the human hand, since it is the basic movement of the human being.

To carry out this project, the AD8232 sensor was used for the acquisition of signals. Using Arduino and Python, the characteristics of interest will be extracted from an EMG signal to electronically create a peak detector. The peak detector will be useful to create the ON – OFF controller with hysteresis.

**Palabras claves:** Señales EMG, Sensor AD8232, Detector de picos, Controlador ON – OFF con histéresis.

### INTRODUCCIÓN

De acuerdo a la *Organización Mundial de la Salud (OMS 2020) [1]*, se ha contabilizado alrededor de 1000 millones de personas que han sufrido alguna especie de discapacidad. Según el *Instituto Mexicano del Seguro Social (2017) [2]*, la principal causa de amputación es el padecimiento de Diabetes Mellitus tipo 2 y accidentes laborales, de acuerdo a las cifras del *INEGI (2020) [1]*, en el año 2020, 6,200,000 personas sufrieron alguna discapacidad, de las cuales el 53% son mujeres y el 47% son hombres.

Por lo tanto, el objetivo de replicar una prótesis que regrese el movimiento a las personas y que tenga la función de pinza, es un

avance fundamental para futuros proyectos, en los cuales se podría devolver el movimiento completo de la mano que fue amputada.

### ANTECEDENTES

De acuerdo a *Mario López (2018) [3]*, “la electricidad está presente de muchas formas en la naturaleza y el cuerpo humano no es la excepción”. Por lo tanto, la señal eléctrica que esta presente en el cuerpo humano y se llama señales bioeléctricas. De acuerdo con el *Instituto de Medicina Johns Hopkins (Johns Hopkins Medicine 2023) [4]*, la *electromiografía* cuantifica la actividad eléctrica que está presente ante la actividad muscular. Para este proyecto, se utilizará la *electromiografía superficial (EMGS)*.

De acuerdo con *Mario López (2018) [3]*, las señales EMGS registran la actividad muscular sobre la superficie de la piel que cubre el musculo, como característica principal es que se ocupan electrodos que son adheribles a la piel y proporcionan una estimación aproximada de la actividad del musculo que se ésta estudiando. Los electrodos que se utilizarán en este prototipo son de cloruro de plata (Ag/AgCl) e hidrogel. De acuerdo a *Amon, Romo y Alexander (2013, 2015, 2007) [5, 6, 7]*, como característica fundamental, el voltaje típico de las señales EMGS es de 0 a 6 mV, con un rango de frecuencias oscilas entre 0 a 500 Hz, en algunos casos las impedancias de entrada son aproximadamente de 10 GΩ.

Actualmente en el mercado existen diferentes tipos de prótesis funcionales que son controlados por señales EMG, algunos de estos ejemplos son las prótesis *I-Limb, Bebionic* y *Luke (2023) [8, 9, 10]*.

Para adquirir las señales electromiográficas se utilizará el sensor *AD8232 (2013) [11]* que es un módulo que incorpora un bloque de acondicionamiento de señales EMG, este bloque permite adquirir, amplificar y filtrar pequeñas señales de voltaje en la presencia de señales con ruido, el beneficio de utilizar este sensor es que implementa un convertidor analógico – digital, lo que permite crear una interfaz entre *Arduino* y el sensor AD8232.

Para tratar la información proveniente del sensor, utilizaremos Python para extraer sus características de interés, estos datos de interés funcionarán para crear de forma electrónica un detector de picos, que se implementara por medio de un controlador ON – OFF con histéresis para controlar el movimiento de nuestra prótesis.

\* FES Cuautitlán, Ing. Roberto Hernández Sánchez, Dr. Fernando Gudiño Peñaloza, [roberto.her3130@gmail.com](mailto:roberto.her3130@gmail.com), [ilciarmin@gmail.com](mailto:ilciarmin@gmail.com).



## DESARROLLO EXPERIMENTAL

Para adquirir las señales EMG del cuerpo, es necesario limpiar la zona muscular con alcohol, para después posicionar los electrodos en el antebrazo. Al momento de tener los electrodos en posición, esta información pasará por el sensor AD8232 que capturará las señales. Por medio de Arduino se puede visualizar la señal EMG. El diagrama de bloques que explica nuestro primer proceso se puede visualizar en la figura 1

Para tratar esta información y extraer las características de la señal, se realizará una interfaz entre Arduino y Python, donde se buscarán los valores promedio, máximo, mínimo y un valor al 70% del valor máximo de la señal para crear un detector de picos, como se observa en la figura 2, este detector nos ayudará a identificar el comportamiento típico de la señal, regularmente este comportamiento tiene un patrón similar al que se observa en la figura 3, de forma matemática se puede interpretar como la transformada de Wavelet Mexican Hat, sin embargo, en este caso de estudio solamente se visualizará de forma electrónica.

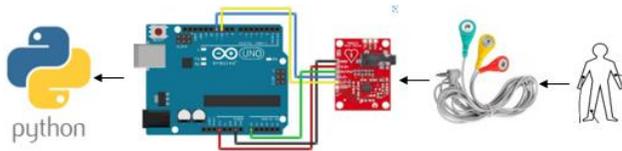


Figura 1.- Diagrama experimental de adquisición y extracción de las características principales de la señal EMG.

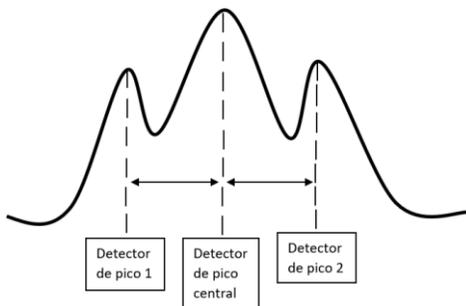


Figura 2.- Detector de picos.

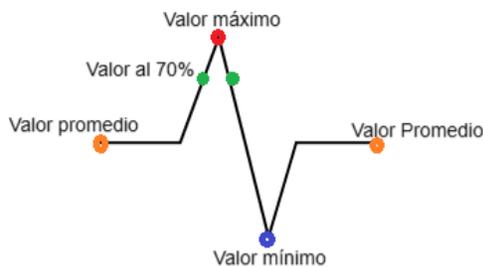


Figura 3.- Comportamiento teórico de la señal EMG.

Al momento de conocer las características de la señal EMG, es que podremos diseñar un controlador ON – OFF con histéresis para el control de la prótesis. Esto se eligió debido a que las señales EMG cambian de forma rápida. El diagrama experimental de la figura 4 muestra la implementación del prototipo.

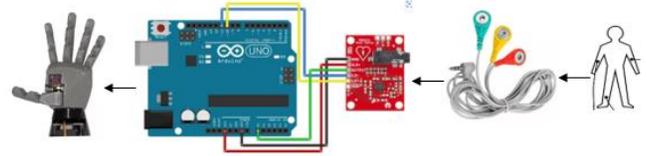


Figura 4.- Diagrama experimental del controlador ON – OFF con histéresis.

## ANÁLISIS Y RESULTADOS

Para realizar nuestros experimentos acordes a la figura 1, se desarrollaron 80 experimentos, donde la información se guardaba en archivos txt, estos archivos almacenaban cierto tiempo de información, que va desde los 100, 200, 500 y 1000 ms. Para tema de demostración se escogió un archivo donde se almacenan 200 ms de información que se visualizan en la tabla 1. La figura 5 demuestra el comportamiento a través del tiempo de los valores máximos, mínimos, promedio y al 70% de la señal.

Tabla 1.- Valores de interés para manipulación de datos

Valor máximo	469 mV	Posición (ms)	100
Valor al 70 %	328 mV		47, 120
Valor mínimo	263 mV		54
Valor promedio	365 mV		26, 136, 157

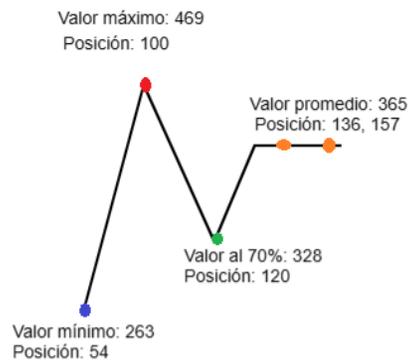


Figura 5.- Comportamiento experimental de la señal EMG en un tiempo de 200 ms.

Promediando los valores que se obtuvieron en las 80 muestras podemos establecer que nuestros valores promedios oscilarán entre 300 mV y 370 mV, un valor máximo superior a los 400 mV y un valor inferior a los 300 mV.



Cada uno de estos valores nos permitirán crear el controlador ON – OFF con histéresis por medio de Arduino. Para crear las variables supusimos un valor promedio de 350 mV, un rango de histéresis de  $\pm 75$  mV, con un  $\pm 10$  % de tolerancia, nuestro umbral superior estará en un valor de 425 mV, el umbral inferior se ubicará en 275 mV. La figura 6, muestra la gráfica de funcionamiento del controlador con histéresis. La figura 7, muestra el prototipo de prótesis.



Figura 6.- Gráfica experimental del controlador ON – OFF con histéresis.



Figura 7.- Prototipo de prótesis.

## CONCLUSIONES

El prototipo de prótesis es funcional para el movimiento de apertura y cierre de la mano, replicando el movimiento más básico del ser humano, con lo cual, cumple su función estimada. La herramienta que nos permitió obtener las características de la señal EMG fue el detector de picos, sin este tratamiento de información no hubiera sido posible identificar cada uno de sus valores. Y sin estos valores hubiera sido un poco complicado crear el controlador con histéresis. La ventaja de utilizar este controlador es que las variaciones de voltaje que se presentan en la prótesis no generan un accionamiento desembocado en los servomotores, ya que solo se activa cuando supera los umbrales superiores e inferiores.

Como trabajo a futuro se necesitaría experimentar con un mejor clasificador de señales, ya sea por medio de alguna red neuronal, clasificador bayesiano o un algoritmo VSM, todo esto dependerá de la cantidad de movimientos que se desean integrar y controlar en la prótesis.

## REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

1. Población. Discapacidad. (s. f.). INEGI. Recuperado 21 de enero de 2023, de <https://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/discapacidad.aspx>
2. Social, I. N. D. D. (s. f.). *En Jalisco devuelven autonomía a personas que han sufrido amputaciones*. Gobierno de México. Recuperado 1 de junio de 2023, de <https://www.gob.mx/indesol/prensa/en-jalisco-devuelven-autonomia-a-personas-que-han-sufrido-amputaciones>
3. López, J. M., Martí, G., Puente Méndez, S. T., Candelas-Herías, F. A., Úbeda, A., & Torres, F. (2018). Implementación y evaluación de un esquema de control mioeléctrico ON/OFF utilizando hardware de bajo coste. Recuperado el 1 de junio de 2023, de [Implementación y evaluación de un esquema de control mioeléctrico ON/OFF utilizando hardware de bajo coste \(udc.es\)](https://www.udc.es/~iic/tesis/Implementacion_y_evaluacion_de_un_esquema_de_control_mioelectrico_ON/OFF_utilizando_hardware_de_bajo_coste.pdf)
4. JHONS HOPKINS MEDICINE. (s. f.). *Electromyography (EMG)*. Recuperado 1 de junio de 2023, de <https://www.hopkinsmedicine.org/health/treatment-tests-and-therapies/electromyography-emg>
5. Amon, Clemens. (2013). Design and Evolution of an EMG-based Recording and Detection System. Institute of Electronic Music and Acoustics. Austria. Recuperado el 2 de junio de 2023, de [TI-Project Thesis Clemens Amon 2013 Design and Evaluation of an EMG-based Recording and Detection System.pdf \(kug.ac.at\)](https://www.ti-project.com/theses/2013/Design_and_Evaluation_of_an_EMG-based_Recording_and_Detection_System.pdf)
6. L. (2015). Implementación en FPGA de un clasificador de movimientos de la mano usando señales EMG. *Redes de ingeniería*, 6(1), 85-94. Recuperado el 2 de junio de 2023, de [Vista de IMPLEMENTACIÓN EN FPGA DE UN CLASIFICADOR DE MOVIMIENTOS DE LA MANO USANDO SEÑALES EMG \(udistrital.edu.co\)](https://www.udistrital.edu.co/~ingenieria/revistas/Redes_de_ingenieria_6(1)_85-94.pdf)
7. Romo, H. A., Realpe, J. C., & Jojoa, P. E. (2007). Análisis de señales EMG superficiales y su aplicación en control de prótesis de mano. *Revista avances en sistemas e informática*, 4(1), 127-136. Recuperado el 2 de junio de 2023, de <https://www.redalyc.org/pdf/1331/133116856017.pdf>
8. *Mano biónica i-Limb® Quantum | Össur*. (s. f.). Recuperado 2 de junio de 2023, de <https://www.ossur.com/es-mx/protesica/miembro-superior/i-limb-quantum#overviewContentAnchor>



9. Mano bebionic EQD | La mano protésica más natural. (s. f.). Recuperado 2 de junio de 2023, de <https://www.ottobock.com/es-mx/product/8E70>
10. Mobius Bionics. (s. f.-b). The LUKE Arm. Recuperado 3 de junio de 2023, de <https://www.mobiusbionics.com/>
11. Analog Devices. (s. f.). AD8232. All data sheet. Recuperado 3 de junio de 2023, de <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/527942/AD/AD8232.html>