

## Evaluación del impacto de la electroestimulación en la función del brazo durante las etapas de entrenamiento, fatiga y relajación

*Itzel Julieta Miranda Gómez A., Dr. José Ricardo Cárdenas-Valdez B., M.C. Andrés Calvillo-Téllez C, M.C. Ángel Humberto Corral Domínguez D.*

<sup>a</sup>Instituto Tecnológico de Tijuana, itzel.miranda201@tectijuana.edu.mx, Tijuana, Baja California, México.

<sup>b</sup>Instituto Tecnológico de Tijuana, jose.cardenas@tectijuana.edu.mx, Tijuana, Baja California, México.

<sup>c</sup>IPN-CITEDI, acalvillo@ipn.mx, Tijuana, Baja California, México.

<sup>d</sup>Instituto Tecnológico de Tijuana, angel.corral@tectijuana.edu.mx, Tijuana, Baja California, México.

### Resumen

En este trabajo de investigación se desarrolla un sistema de medición no invasivo y evaluación sobre el músculo biceps braquial, el sistema de adquisición se desarrolla mediante la tarjeta EMG/EKG y se adquieren mediante un ADC, las pruebas se realizaron sobre un deportista de alto rendimiento dedicado al salto de jabalina, los periodos de aplicación de electroestimulación fueron de veinte minutos mediante el dispositivo TENS/EMG bajo una frecuencia de 100 Hz. Las etapas del sensado comprenden reposo, ejercitación y reposo nuevamente, y se valida en sesiones semanales mediante validación de las señales EMG y cálculo de niveles RMS dividido en secciones de muestreo, el trabajo desarrollado representa una metodología de sensado y validación en la medicina deportiva para recuperación en deportistas con desgarro previo.

**Palabras clave**—ADC, biceps braquial, EMG, medicina deportiva.

### Abstract

*In this research work a non-invasive measurement and evaluation system is developed on the biceps brachii muscle, the acquisition system is designed using the EMG / EKG card and is acquired by an ADC, and the tests were performed on a high-performance athlete dedicated to javelin jump, the periods of application of electrostimulation were twenty minutes using the TENS / EMG device at a frequency of 100 Hz. The sensing stages include rest, exercise, and rest again, and are validated in weekly sessions by validating the EMG signals and calculating RMS levels divided into sampling sections; the work developed represents a sensing and validation methodology in sports medicine for recovery in athletes with a previous tear.*

**Keywords**— ADC, biceps brachii, EMG, sports medicine.

## 1. INTRODUCCIÓN

El deporte de alto rendimiento en atletas trae consigo un sin número de lesiones y desgarros dependiendo la disciplina a la que se dedique, un desgarro muscular es una ruptura de

fibras y los tiempos de recuperación varían de dos semanas hasta 3-4 meses. La necesidad de monitoreo y continuo, además de la recuperación rápida y apropiada es una necesidad primordial. La electroestimulación neuromuscular (EENM) es una corriente eléctrica que estimula a las motoneuronas musculares para producir una contracción muscular involuntaria. La contracción de los músculos es un proceso fisiológico esencial que, mediante el acortamiento de las fibras musculares, genera una fuerza destinada a la producción de movimiento. Este mecanismo no solo es fundamental para la locomoción y la realización de actividades físicas, sino que también desempeña un papel activo en la regulación térmica del organismo. Al contraerse, los músculos liberan energía en forma de calor, contribuyendo así al mantenimiento de una temperatura corporal óptima [1]. Además, la contracción muscular es clave para proporcionar estabilidad y equilibrio, permitiendo al cuerpo sostener y controlar su postura frente a las fuerzas de la gravedad y el movimiento [2].

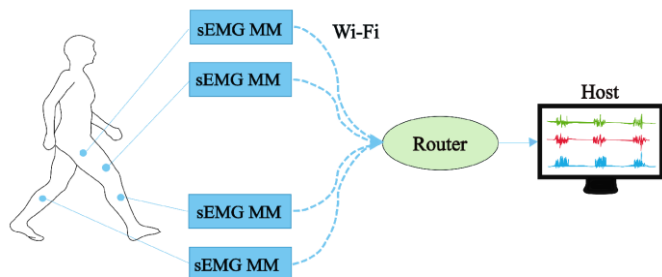
La electroestimulación, es una técnica valiosa utilizada tanto en el entrenamiento como en la rehabilitación. Al enfocarse en los músculos flexores del antebrazo, el objetivo es mejorar la fuerza, la resistencia y la función general [3]. La EENM induce la estimulación en el músculo a través de la aplicación de corrientes eléctricas de baja intensidad mediante electrodos aplicados sobre la superficie corporal. Permite que el músculo aumente su fuerza, facilita la circulación de la sangre y la amplitud de movimientos, y disminuye los espasmos musculares. representa un avance significativo en el campo de la biomedicina y la rehabilitación deportiva [4].

Este trabajo desarrollado representa una alternativa para medicina deportiva y una metodología completa de adquisición de señales, electroestimulación y validación de señales musculares. El presente trabajo se organiza de la siguiente manera: en la Sección 2 se muestra el Desarrollo de las etapas de adquisición y de validación, en la Sección 3 se muestran los resultados obtenidos. Finalmente, en la Sección 4 se muestran las conclusiones obtenidas.

## 2. DESAROLLO

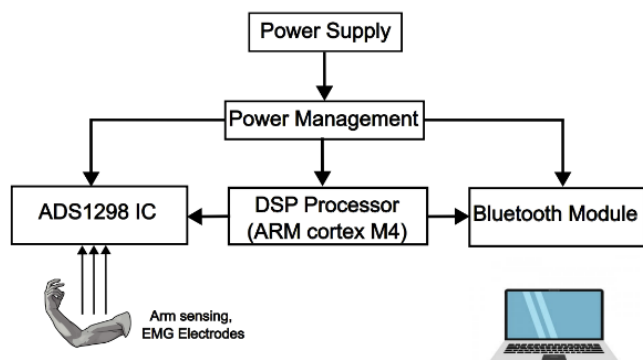
La electromiografía es la técnica de adquisición de señales biológicas obtenidas mediante actividades neuromusculares [5] y medición. Esfuerzos adicionales han mostrado la capacidad de adaptar una validación basada en aprendizaje máquina para predicción de patologías musculares [6], [7]. En [8] se desarrolla un sistema de bajo costo e implementación inalámbrica de sensado EMG combinado con un microcontrolador y un módulo de WiFi, mostrando un buen factor de correlación de 0.8 de la señal sensado, en la Figura 1, se muestra el sistema sEMG desarrollado. En la Figura 2 se muestra en los sistemas electrónicos EMG visualización online para futuros procesos de procesamiento, en este caso basado en un procesador ARM Cortex y control de la prótesis.

Fig. 1. Descripción general del sistema de adquisición de sEMG.



Fuente: elaboración propia a partir de [8].

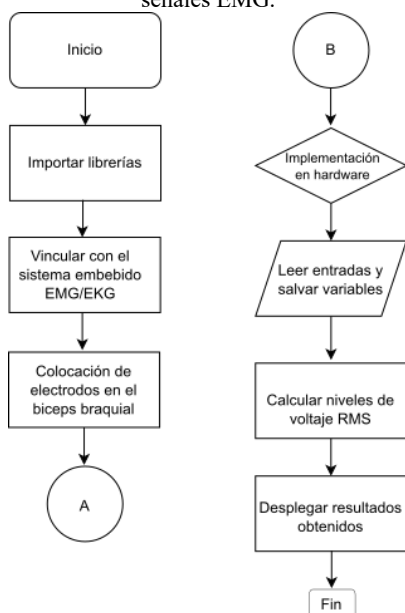
Fig. 2. Sistema de representación de la arquitectura de detección BT.



Fuente: elaboración propia a partir de [9].

En la Figura 3 se muestra el diagrama de flujo del sistema desarrollado que comprende la puesta en marcha de la tarjeta EMG/EKG en Arduino uno programada en Python, la colocación de electrodos de superficie, lectura mediante ADC de las señales EMG en los procesos de reposo-actividad en diversas repeticiones para la validación posterior a la de electroestimulación.

Fig. 3. Diagrama de flujo del sistema de adquisición y validación de señales EMG.



Fuente: elaboración propia.

En la Figura 4 se muestra el proceso de medición y adquisición de datos utilizando la tarjeta EMG/EKG la medición se realiza en etapas de actividad muscular con periodos de 5 segundos y en reposo de 5 segundos alternando en cada una de las fases, el proceso de medición se realiza cada semana y es previo al proceso de electroestimulación y recuperación, el peso que oscila alrededor de los 8 kilogramos varía conforme a la capacidad.

Fig. 4. Proceso de sensado en las etapas de reposo y actividad mediante la tarjeta EMG/EKG.



Fuente: elaboración propia.

En la Figura 5 se muestra el proceso de medición y adquisición de datos utilizando la tarjeta EMG/EKG la medición se realiza en etapas de actividad muscular con periodos de 5 segundos y en reposo de 5 segundos alternando en cada una de las fases, el proceso de medición se realiza cada semana y es previo al proceso de electroestimulación y recuperación.

La EENM induce la estimulación en el músculo a través de la aplicación de corrientes eléctricas de baja intensidad mediante electrodos aplicados sobre la superficie corporal. Permite que el músculo aumente su fuerza, facilita la circulación de la sangre y la amplitud de movimientos, y disminuye los espasmos musculares. representa un avance significativo en el campo de la biomedicina y la rehabilitación deportiva. Esta técnica, incorpora la aplicación de estímulos eléctricos para provocar la contracción muscular, ha evolucionado desde su uso inicial en fisioterapia hasta convertirse en una herramienta valiosa para mejorar el rendimiento atlético y la recuperación muscular [4].

Para potenciar la función muscular, la electroestimulación se aplica de manera no invasiva, mejorando la eficiencia y la

fuerza muscular al enfocarse en grupos musculares específicos. Cuando se combina con ejercicios tradicionales, como el levantamiento de pesas, la electroestimulación puede optimizar los beneficios y focalizar de manera más efectiva el bíceps braquial. Es necesario identificar técnicas adecuadas y precisas de sistemas de EMG que sean adecuadas para la generación de dispositivos prácticos y portátiles de medición [10].

En la Figura 5 se muestra el proceso de EENM en el bíceps braquial bajo un proceso alternado de descarga y descanso en total de 20 minutos, como lo establece el kit de electroestimulador Twin Stim Plus.

Fig. 5. Aplicación de electroestimulación mediante el kit TWIN STIM PLUS.

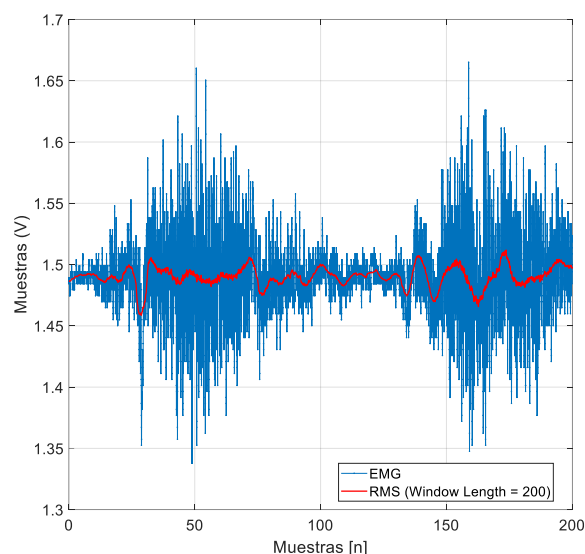


Fuente: elaboración propia.

### 3. RESULTADOS

En esta etapa se muestran los resultados obtenidos previos a un proceso de electroestimulación, posteriormente se realiza una sesión de electroestimulación con descanso de periodos de una semana, aquí se valida en un varón el bíceps braquial dedicado al salto de jabalina con recuperación de desgarre. En la Figura 6 se muestran las señales del bíceps braquial con voltajes máximos de hasta 1.66 V por etapas y un voltaje RMS de 1.505 V<sub>RMS</sub>, se muestran dos etapas de reposo y dos etapas de actividad muscular para presentar en este trabajo.

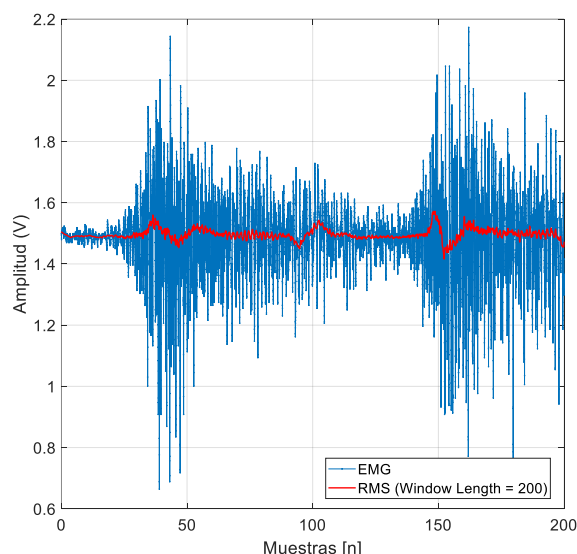
Fig. 6. Proceso de sensado en las etapas de reposo y actividad en la primera semana.



Fuente: elaboración propia.

En la Figura 7 se muestran las señales del bíceps braquial después de una semana, los voltajes máximos de hasta 2.15 V por etapas y un voltaje RMS de 1.57 V<sub>RMS</sub>, muestran una mejora en la potencia muscular del voluntario bajo prueba.

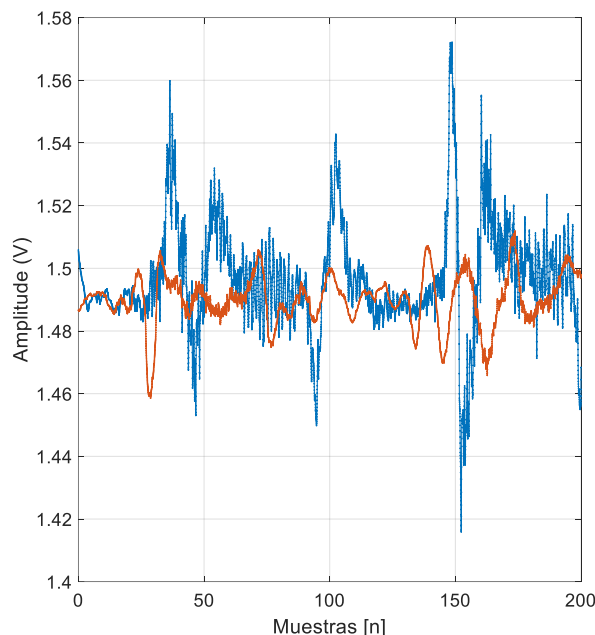
Fig.7. Proceso de sensado en las etapas de reposo y actividad en la segunda semana.



Fuente: elaboración propia.

En la Figura 8 se muestran una comparativa de los voltajes RMS para validación de dos semanas de análisis, se observa una mejora significativa de 3.9 % de la potencia muscular, cabe indicar que una validación más prolongada de varias semanas otorga una mayor gama de datos para análisis de variaciones en amplitud.

Fig.8. Proceso de comparación de las señales RMS durante la validación de dos semanas.



### 3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La electroestimulación del músculo bíceps braquial, en conjunto con un sistema EMG/EKG, ofrece numerosos beneficios en comparación con otras formas de entrenamiento y rehabilitación no invasiva. Este enfoque resulta ser valioso durante las etapas de entrenamiento, fatiga y relajación. Por lo que para mantener una EENM se sugiere aumentar gradualmente la intensidad durante la sesión para lograr una contracción muscular óptima sin causar molestias, dolor o lesión. Siguiendo estas recomendaciones, se logra mejorar efectivamente la fuerza muscular, por consiguiente, favorece la función motora y promueve la rehabilitación.

La EENM ha demostrado ser efectiva en la mejora de la función muscular a través de la activación selectiva de las fibras musculares. Su aplicación en los músculos flexores del antebrazo puede optimizar la capilarización y con ello favorecer la circulación sanguínea, factores esenciales para la recuperación post-entrenamiento y la rehabilitación de lesiones. Además, la EENM facilita la mejora de la fuerza muscular y la resistencia, lo que es crucial tanto para deportistas como para individuos en proceso de recuperación. Históricamente, la EENM se utilizaba principalmente en fisioterapia para tratar músculos atrofiados tras períodos prolongados de inactividad. Hoy en día, los dispositivos de electroestimulación permiten contracciones musculares potentes y cómodas, siendo utilizados tanto por atletas de élite como por personas que buscan mejorar su condición física. La electroestimulación se realiza mediante la colocación estratégica de electrodos sobre los músculos flexores del antebrazo, utilizando impulsos eléctricos que imitan la entrada neural natural al músculo. Los parámetros de estimulación incluyen: duración del pulso: 250 ms, frecuencia: 50 Hz durante la fase de contracción, duración de la fase de

contracción de 3 segundos, duración de la fase de relajación: 6 segundos. Estos parámetros están diseñados para optimizar la activación muscular, mejorar la resistencia y prevenir la fatiga muscular excesiva. El uso de la EENM en el músculo flexor del antebrazo ha mostrado beneficios significativos en la fuerza muscular, la resistencia y la recuperación post-entrenamiento. Los sujetos que participaron en el estudio experimentaron una mayor activación muscular, una mejora en la coordinación neuromuscular y una reducción en la fatiga muscular. La EENM del músculo bíceps braquial es una técnica valiosa que puede potenciar el rendimiento muscular y acelerar la recuperación en contextos tanto deportivos como de rehabilitación.

### 3.1 Observaciones generales

La EENM resulta ser una herramienta eficaz tanto en el entrenamiento deportivo como en la rehabilitación, sobre todo porque se trata de una metodología no invasiva. Su capacidad para mejorar la fuerza y la resistencia muscular la convierte en una opción viable como refuerzo y complemento a actividades físicas, como lo es el fortalecimiento de los cuerpos musculares favorecidos por los ejercicios tradicionales de resistencia. Sin embargo, es importante que la electroestimulación se realice bajo la supervisión de un profesional para asegurar una colocación adecuada de los electrodos y una configuración personalizada que evite molestias o efectos adversos.

### 4. REFERENCIAS

- [1] Niño Méndez, O. A., Ceballos Bernal, E. A., Ramírez Galeano, L. P., Vásquez Sánchez, D. F., Oviedo, G. R., Rodríguez Mora, J. L. "La electroestimulación neuromuscular como mecanismo complementario en el entrenamiento deportivo de predominancia anaeróbica," Revista de investigación e innovación en ciencias de la salud, Vol. 4, No. 2, 20-33, 2022.
- [2] Sánchez González, M. "Anatofisiología del control motor musculoesquelético," practice, Vol. 61, No. 6, pp. 920-932.
- [3] Marulanda, A. G., Segura, L. M. Z., Mosquera, E. E., Vallejo, M. A. V., Riascos, I. T. A., Ararat, D. C. R. "Revisión de las técnicas de recuperación post entrenamiento más usadas para disminuir la incidencia de fatiga crónica en futbolistas," Revista Veritas Et Scientia-Upt, Vol. 9, No. 2, 253-262, 2020.
- [4] García, E. "Protocolos de Fisioterapia en Atención Primaria," Sanidad Castilla y León (SACYL). 2005.
- [5] Gohel, V., Mehendale, N. "Review on electromyography signal acquisition and processing," Biophysical reviews, Vol. 12, No. 6, pp. 1361-1367, 2020.
- [6] A. González-Mendoza, A. I. Pérez-SanPablo, R. López-Gutiérrez and I. Quiñones-Urióstegui, "Validation of an EMG sensor for Internet of Things and Robotics," 15th International Conference on Electrical Engineering, Computing Science and Automatic Control (CCE), Mexico City, Mexico, 1-5, 2018.
- [7] Sree, K. S., Bikku, T., Mounika, S., Ravinder, N., Kumar, M. L., & Prasad, C. "EMG controlled bionic robotic arm

using artificial intelligence and machine learning,” In 2021 fifth international conference on I-SMAC (IoT in social, mobile, analytics and cloud)(I-SMAC), 548-554, 2021.

[8] Yang, Y. H., Ruan, S. J., Chen, P. C., Liu, Y. T., Hsueh, Y. H. “A low-cost wireless multichannel surface EMG acquisition system,” IEEE Consumer Electronics Magazine, Vol. 9, No. 5, 14-19, 2020.

[9] Pancholi, S., Joshi, A. M. “Portable EMG data acquisition module for upper limb prosthesis application,” IEEE Sensors Journal, Vol. 18, No. 8, 3436-3443, 2018.

[10] Al-Ayyad, M., Owida, H. A., De Fazio, R., Al-Naami, B., Visconti, P. “Electromyography monitoring systems in rehabilitation: A review of clinical applications, wearable devices and signal acquisition methodologies,” Electronics, Vol. 12, No. 7, pp. 1520, 2023.