

Ciencia Latina
Internacional

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), mayo-junio 2024,
Volumen 8, Número 3.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i3

**ADQUISICIÓN DE SEÑALES EMG DE MIEMBRO
SUPERIOR EN HUMANOS Y SU
CARACTERIZACIÓN A TRAVÉS DEL PRIMER Y
SEGUNDO MOMENTOS DE PROBABILIDAD**

**ACQUISITION OF UPPER LIMB EMG SIGNALS IN HUMANS
AND THEIR CHARACTERIZATION THROUGH FIRST AND
SECOND PROBABILITY MOMENTS**

Jesus Alfredo Muciño Segura
Instituto Politécnico Nacional, México

Pedro Guevara López
Instituto Politécnico Nacional, México

Gustavo Delgado Reyes
Universidad Veracruzana, México

Leobardo Hernández González
Instituto Politécnico Nacional, México

Jorge Salvador Valdez Martínez
Universidad Tecnológica Emiliano Zapata, México

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i3.11744

Adquisición de Señales EMG de Miembro Superior en Humanos y su Caracterización a través del Primer y Segundo Momentos de Probabilidad

Jesus Alfredo Muciño Segura¹jmucinos1400@alumno.ipn.mx<https://orcid.org/0009-0002-5465-4459>Instituto Politécnico Nacional – ESIME
Culhuacán, México**Pedro Guevara López**pguevara@ipn.mx<https://orcid.org/0000-0001-5373-1403>Instituto Politécnico Nacional – ESIME
Culhuacán, México**Gustavo Delgado Reyes**gusdelgado@uv.mx<https://orcid.org/0000-0003-4743-4757>Universidad Veracruzana
México**Leobardo Hernández González**lhernandezg@ipn.mx<https://orcid.org/0000-0002-4555-8695>Instituto Politécnico Nacional - ESIME
Culhuacán, México**Jorge Salvador Valdez Martínez**jorgevaldez@utez.edu.mx<https://orcid.org/0000-0002-0136-9497>Universidad Tecnológica Emiliano Zapata
México

RESUMEN

En este trabajo se presenta una metodología para la adquisición de señales mioeléctricas (EMG) de miembro superior (brazo derecho) y su caracterización utilizando el primer y segundo momentos de probabilidad (media aritmética y varianzas recursivas), con el objetivo de determinar el tipo de movimiento o grado de movilidad medidos. Para la adquisición de los datos se utiliza un sensor EMG con sus electrodos, una tarjeta microcontrolada Arduino, el software Tauno y una computadora con una distribución de GNU/Linux basada en Ubuntu (Zorin) comunicada por puerto USB. Como caso de estudio se analizan las señales EMG obtenidas de un paciente masculino joven saludable y sin afecciones para que las señales sean lo más confiables posibles. Al final de cada experimento se obtiene un archivo CSV para su análisis fuera de línea con el software Octave para la programación de un script que procese la información obtenida y su caracterización mediante los dos primeros momentos de probabilidad.

Palabras clave: EMG, caracterización de señales, grado de movilidad, gnu/Linux, momento de probabilidad

¹ Autor principal:

Correspondencia: pguevara@ipn.mx

Acquisition of Upper Limb EMG Signals in Humans and Their Characterization through First and Second Probability Moments

ABSTRACT

This paper presents a methodology for the acquisition of myoelectric signals (EMG) of the upper limb (right arm) and their characterization using the first and second moments of probability (arithmetic mean and recursive variance), in order to determine the type of movement or degree of mobility measured. For data acquisition, an EMG sensor with its electrodes, an Arduino microcontroller board, Tauno software and a computer with a GNU/Linux distribution based on Ubuntu (Zorin) communicated via USB port are used. As a case study, EMG signals obtained from a healthy young male patient with no medical conditions are analyzed to make the signals as reliable as possible. At the end of each experiment, a CSV file is obtained for offline analysis with Octave software for programming a script to process the information obtained and its characterization by means of the first two moments of probability.

Keywords: EMG, signal characterization, degree of mobility, GNU/Linux, moment of probability

Artículo recibido 20 mayo 2024

Aceptado para publicación: 22 junio 2024



INTRODUCCIÓN

En este trabajo se aborda la metodología para la caracterización de señales electromiográficas (EMG) adquiridas de forma experimental de varios pacientes para su estudio. En este sentido, algunos antecedentes de la adquisición de señales EMG se presentan en el trabajo desarrollado por Izurieta Freire, J. G. (2018), en donde se demuestra que estudiando las señales electromiográficas de las extremidades del cuerpo humano se pueden detectar padecimientos de forma temprana sobre el estado de los músculos, entre otras alteraciones, obteniendo diagnósticos más precisos (Paredes, C. A. C., Pantoja, D. E. L., & Acosta, M. F. J., 2011). Al poder obtener lecturas de las señales EMG se pretende clasificar los grados de movilidad del cuerpo humano y usar esta información para implementarla en diversas áreas (Vaca Herrera, E. R., 2017). Con base en lo antes mencionado, en esta investigación se pretende realizar la clasificación de los grados de movilidad del brazo de un usuario del sistema propuesto. Para ello, se realiza la adquisición de señales EMG y estas se caracterizan y procesan mediante un dispositivo digital, para posteriormente utilizar esa misma información en el campo del desarrollo de prótesis biomecánicas. De acuerdo con trabajos previos de adquisición de señales EMG (Sánchez, C. A., 2004), se puede adquirir la señal EMG de modo no invasivo para su procesamiento (Gila, L., Malanda, A., Rodríguez Carreño, I., Rodríguez Falces, J., & Navallas, J., 2009).

Existen trabajos previos los cuales buscan mejorar la calidad de vida del paciente de acuerdo a la afección que poseen (Gabriel Sanz, S., 2012), ya sea por algún accidente que deteriora el movimiento o por la pérdida misma de la extremidad (De la Rosa Steinz, R., & Liptak, L., 2002).

Este estudio abarca a personas del sexo masculino y femenino de varias edades, desde los 18 años hasta los 65 años, sujetos saludables, e incluso, sujetos con golpes y padecimientos degenerativos de las articulaciones.

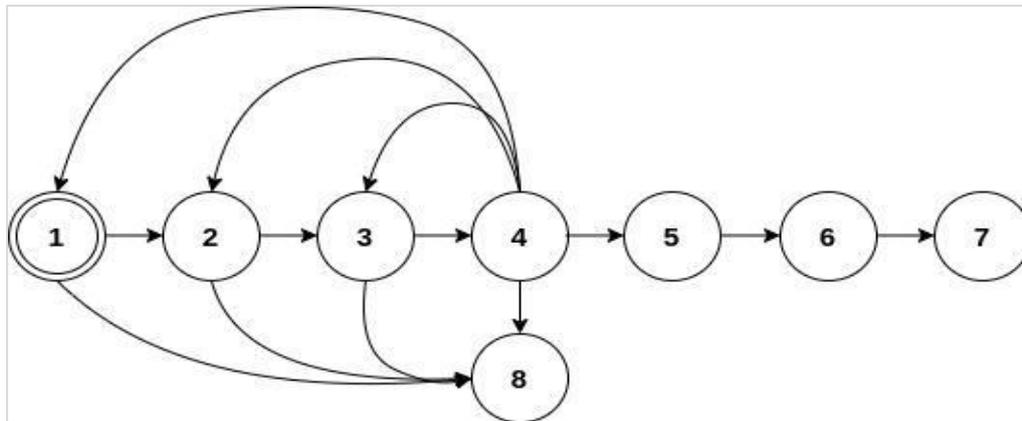
De acuerdo con los antecedentes mencionados, uno de los objetivos adicionales de este trabajo es manejar distintos tipos de señales electromiográficas (EMG), captadas de usuarios en estado saludable así como con alguna afección, obtenidas experimentalmente para su clasificación mediante los momentos primero y segundo de probabilidad (Mejía, M. B. T., López, P. G., Baldovinos, D. L. G., Rosas, J. L. C., & Ponomaryova, I., 2023). Con este estudio se pretende tener incidencia o aplicación en áreas tales como diseño de prótesis (Tolosa, L., Torrealba, R. R., & Silva, R., 2008), mecanismos

auxiliares (Dawson, M. R., Sherstan, C., Carey, J. P., Hebert, J. S., & Pilarski, P. M., 2014) , terapias físicas (Guerrero, M. N. V., 1990), tratamientos médicos (Alberca, J. M. G., & Prieto, C. G., 1997), acondicionamiento físico (Córdova Martínez, A., Nuin Amuriza, I., Fernández Lázaro, D., Latasa, I., & Rodríguez Falces, J., 2017), etc.

METODOLOGÍA

El procedimiento metodológico abarca desde la elección de los pacientes hasta el manejo de los datos. Dicho procedimiento se explica a continuación, mediante el esquema que se aprecia en la Figura 1. Este esquema ilustra la secuencia de las etapas y cómo cada una conduce a la siguiente, dependiendo del progreso del experimento.

Figura 1. Diagrama de la metodología empleada en el proceso de adquisición de señales EMG y su caracterización



Fuente propia

Tabla 1. Etapas del proceso de adquisición de señales EMG y su caracterización.

Etapa	Actividades realizadas
1	Selección y obtención de datos del paciente
2	Preparación del paciente
3	Preparación del sistema de adquisición de señales mioeléctricas (hardware y software)
4	Adquisición de señales mioeléctricas por grado de libertad
5	Registro, depuración de señales adquiridas y finalización de las mediciones
6	Análisis fuera de línea de la señal registrada, preparación de datos y cálculo del primer y segundo momento de probabilidad
7	Presentación de resultados
8	Fallo del experimento y finalizado

A continuación, se realiza una descripción más detallada de cada una de las etapas mencionadas.

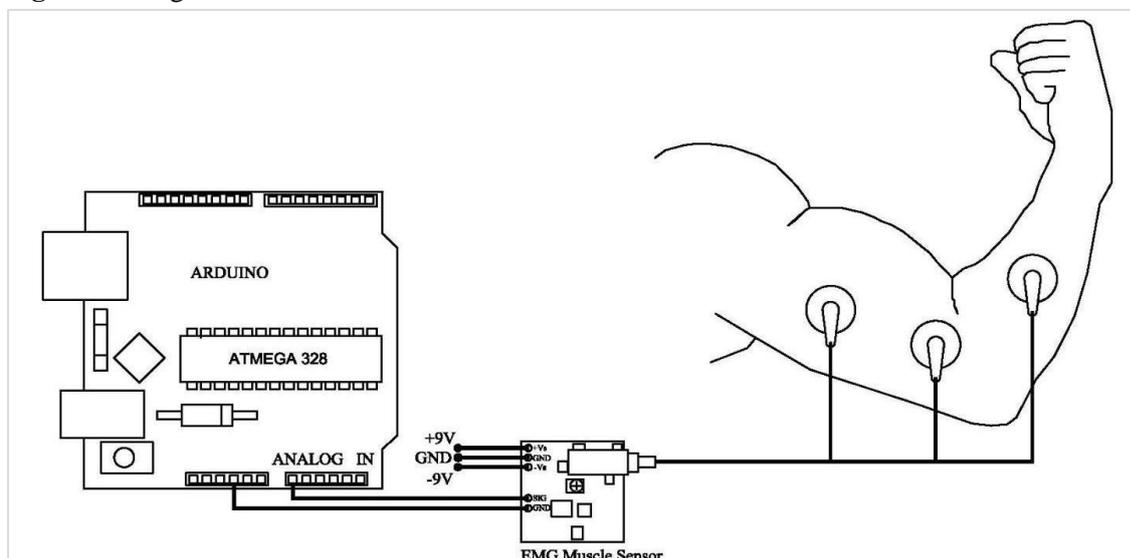
1. Selección y obtención de datos del paciente

Se busca una persona con extremidad superior dispuesta a participar en el estudio, que sea mayor de 18 años y pueda entender las instrucciones para realizar el estudio.

2. Preparación del paciente

Antes de empezar el estudio se lleva a cabo una recopilación de datos del paciente como: sexo, edad, peso, y altura; además de posibles heridas o afecciones musculares. Todo esto con la finalidad de poder clasificar posteriormente los datos y tener una referencia. Después, se le colocan los electrodos mioeléctricos para poder hacer las conexiones como se muestra en la Figura 2 para seguir con la prueba.

Figura 2. Diagrama de conexión sensor-músculo-microcontrolador

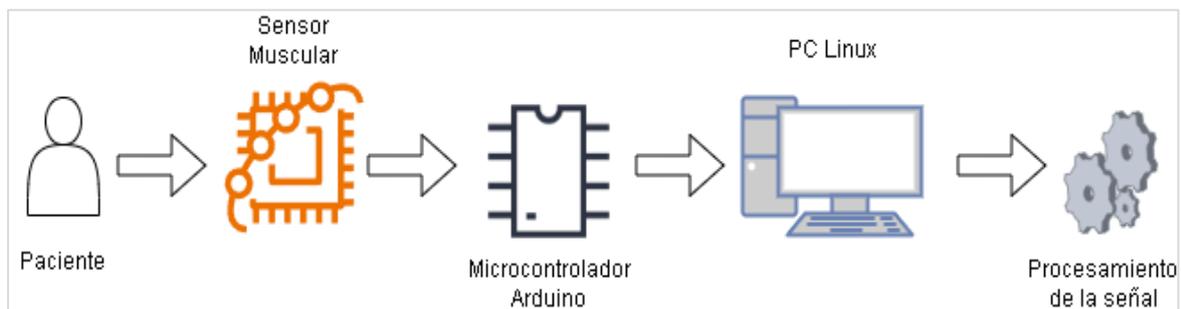


Fuente propia

3. Preparación del sistema de adquisición de señales mioeléctricas (hardware y software)

Una vez que el paciente está listo, se realizan las conexiones pertinentes entre el sensor, la computadora y el paciente, como se observa en la Figura 3, para después abrir la terminal de Linux y establecer los permisos necesarios y tener habilitado el puerto USB. Una vez habilitado el puerto que se va a utilizar, se abre el software de Arduino IDE con el cual se establece conexión entre el sensor muscular y la computadora. Véase también en la figura 3, la secuencia en que se va estableciendo la conexión. También se usa el software de Tauno Serial Plotter para observar la señal graficada al momento y una vez terminado el ensayo, analizar la señal y guardar los datos.

Figura 3. Diagrama de conexión



Fuente propia

4. Adquisición de señales mioeléctricas por grado de libertad

Para obtener la señal en cada uno de los grados de movilidad, primero se le explica al paciente cómo se va a realizar la prueba, la cantidad de veces a repetir y dejar el brazo en estado de reposo para no fatigar el músculo y generar información irrelevante en el software Tauno. Cada prueba consiste en el brazo partiendo del reposo, después se realiza un movimiento de contracción y relajación muscular en intervalos constantes, manteniendo la tensión muscular durante aproximadamente 3-5 segundos de manera que el sensor y el software pueda registrarlo exitosamente. Este movimiento se debe repetir al menos 5 o 6 veces para tener una lectura confiable del grado de movilidad a registrar. Es importante realizar una prueba preliminar para corregir posibles fallos, ya sean del paciente al momento de realizar la prueba, una mala conexión, un mal funcionamiento de software, etc.; así como para poder ver si se está realizando el sensado de manera adecuada.

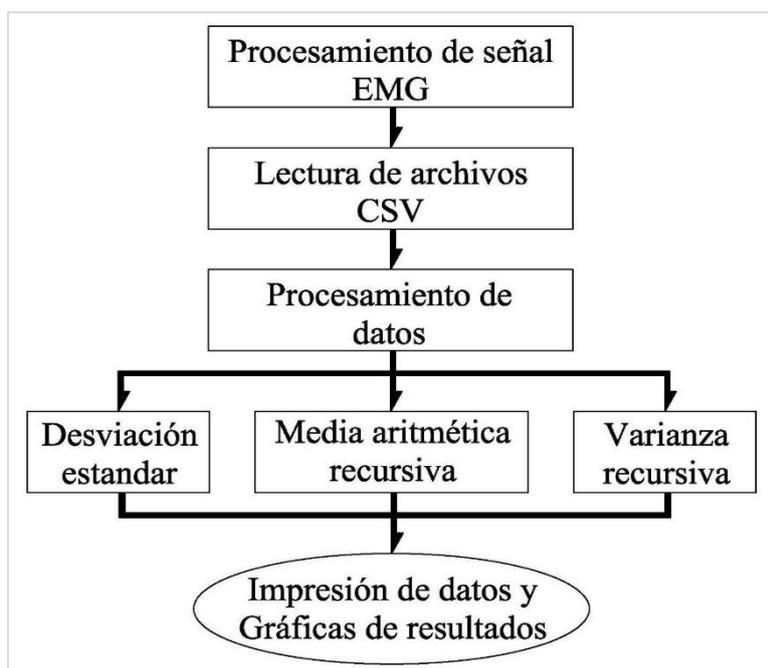
5. Registro, depuración de señales adquiridas y finalización de las mediciones

Al finalizar la prueba exitosamente se procede a guardar los datos obtenidos en un archivo de tipo CSV, con el cual se exporta al software de procesamiento de datos Octave (Cifuentes, J. M. V., & Sánchez, C. M., 2006). Este procedimiento debe repetirse con cada uno de los grados de movilidad hasta terminar con todos los que se pretenden adquirir. Al finalizar las pruebas se desconecta el sensor de los electrodos de broche y el paciente puede retirarlos y desecharlos ya que estos no se reutilizan. Si los electrodos se encuentran muy adheridos a la piel puede usarse un paño húmedo para removerlos de manera más cuidadosa sin irritar la piel del paciente.

6. Análisis fuera de línea de la señal registrada, preparación de datos y cálculo del primer y segundo momento de probabilidad

Una vez obtenidos los datos en formato CSV para su análisis, se montan en el software Octave, en donde se ejecuta un script que procesa la información, proporcionando la señal recreada a partir de los datos leídos. Dicho script procesa los datos calculando la media recursiva, la varianza y la desviación estándar. Al finalizar su ejecución, este programa muestra las gráficas que se obtienen para poder observar cómo se comporta el sistema (ver Figura 4).

Figura 4. Diagrama de procesamiento de señal EMG

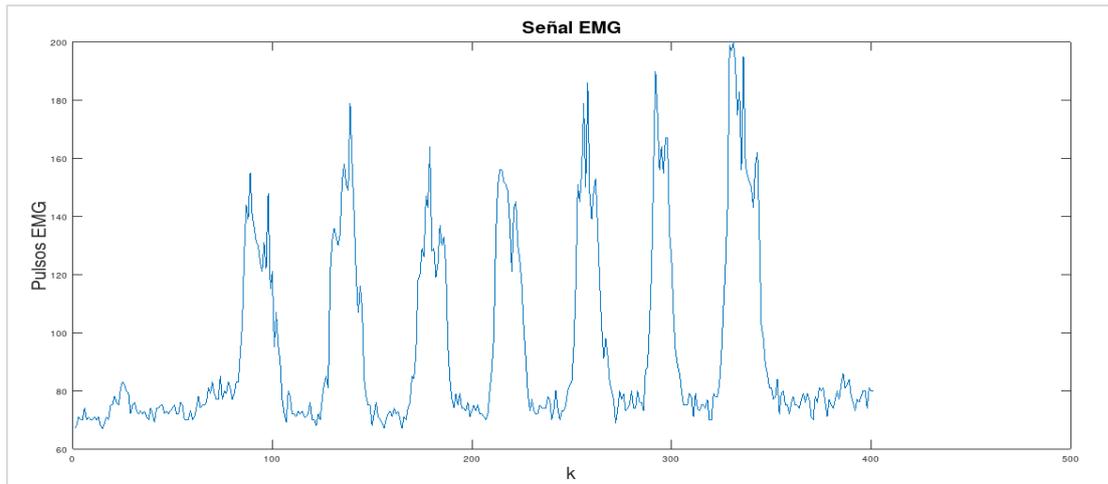


Fuente propia

7. Presentación de resultados

Ya que los datos han sido procesados y se obtienen resultados, estos se compilan en una bitácora individual de cada paciente, detallando los datos obtenidos, las condiciones en las cuales se dieron las pruebas, gráficas, observaciones y conclusiones. Los resultados obtenidos serán utilizados en un trabajo futuro enfocado en el uso de prótesis biónicas (Gabriel Sanz, S., 2012)(ver Figura 5).

Figura 5. Gráfica de la señal adquirida

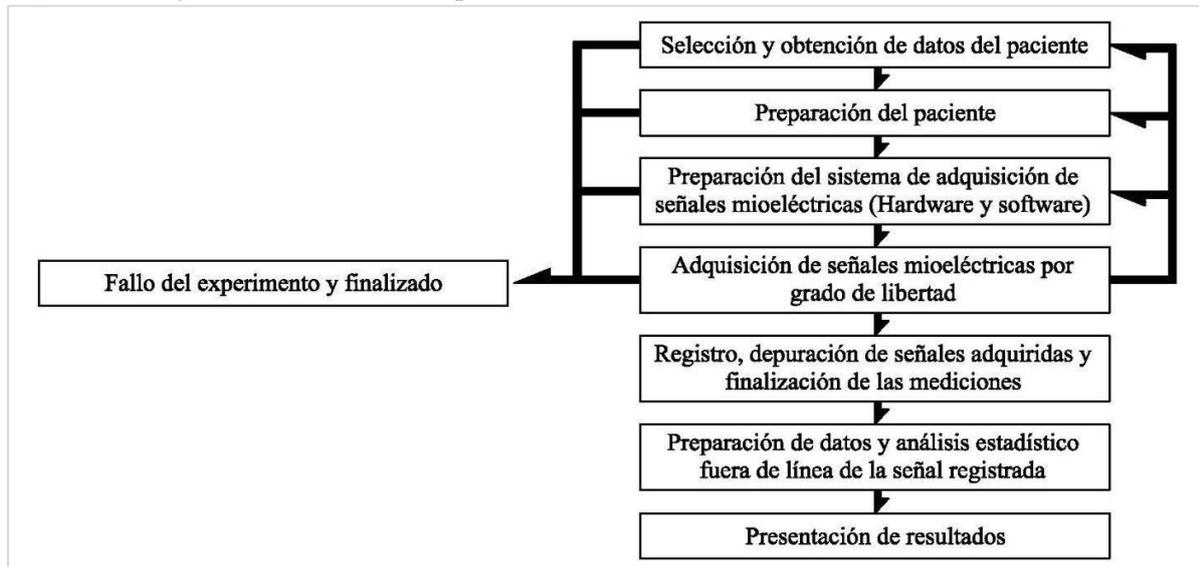


Fuente propia

8. Fallo del experimento y finalizado

Durante la prueba puede haber errores humanos, tanto en la conexión de los dispositivos electrónicos, así como en la ejecución de la prueba o en el software de adquisición de datos, lo cual puede derivar en una revisión, sustitución de algún elemento o hasta en la cancelación de la prueba, dándola por finalizada y resultando como fallido el experimento. En la Figura 6 se puede ver un diagrama de una parte del procedimiento para la realización del experimento.

Figura 6. Diagrama de estados del experimento



Fuente propia

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para cada paciente se obtienen resultados concernientes a 5 grados de movilidad, los cuales son:

1. Apertura y cierre de puño
2. Doblar muñeca
3. Giro de muñeca
4. Agarre (sujetando un objeto cilíndrico de 1 kg.)
5. Contraer el bíceps

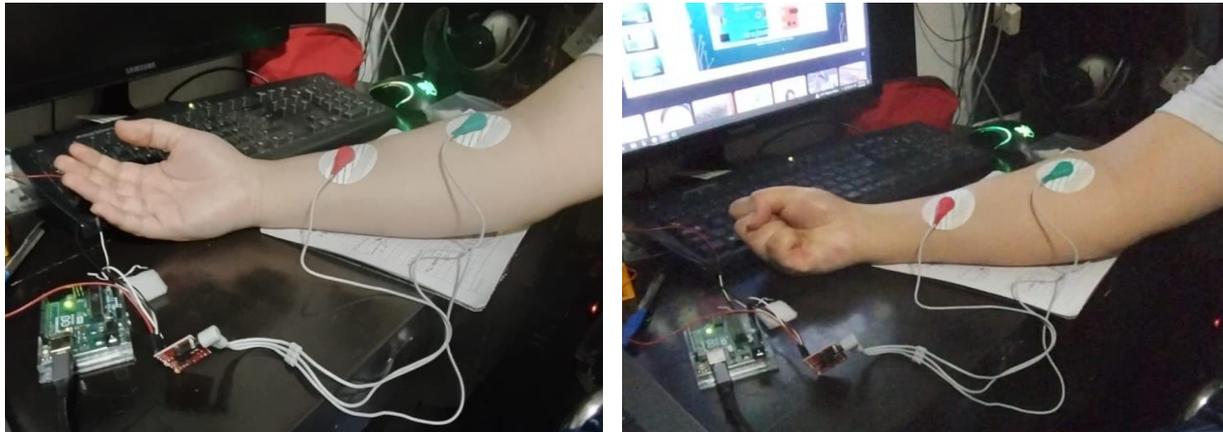
De los cuales, se presentan 2 en este artículo y se muestran a continuación: la señal obtenida, media aritmética recursiva y varianza e histograma. En la Tabla 2, se exponen las condiciones en las cuales han sido realizados los experimentos para los grados de movilidad No.1 y No. 5, los cuales consisten en la apertura y cierre de puño, y contraer el bíceps, respectivamente. En estos se pueden ver datos obtenidos del experimento tales como media aritmética, varianza, número de mediciones, etc., así como las unidades de cada medición.

Tabla 2. Condiciones de laboratorio.

Grado de Movilidad	No.1 Apertura y Cierre de Puño	No.5 Contraer Bicep	
Fecha de estudio	15 de Febrero 2024	15 de Febrero	Hora 23:00 hrs
Temperatura	Ambiente	Ambiente	27 ° C
Nivel de humedad	33	33	%
Altitud S.N.M.	2,240	2,240	m
Señal Valor Min.	67	96	mV
Señal Valor Max.	200	268	mV
Media Aritmética	94.2519	146.95	mV
Varianza	1027.8	1733.94	mV ²
Desviación Estándar	32.0594	41.6406	mV
No. de Mediciones	401	401	pulsos

En las fotografías de la Figura 7 se puede apreciar la colocación de los electrodos en el paciente para hacer la prueba. Además de la conexión del paciente con el sensor, también es posible observar la conexión entre el sensor y el microcontrolador Arduino, así como la realización del primer ejercicio que consiste en abrir y cerrar la palma de la mano para obtener la señal con los sensores.

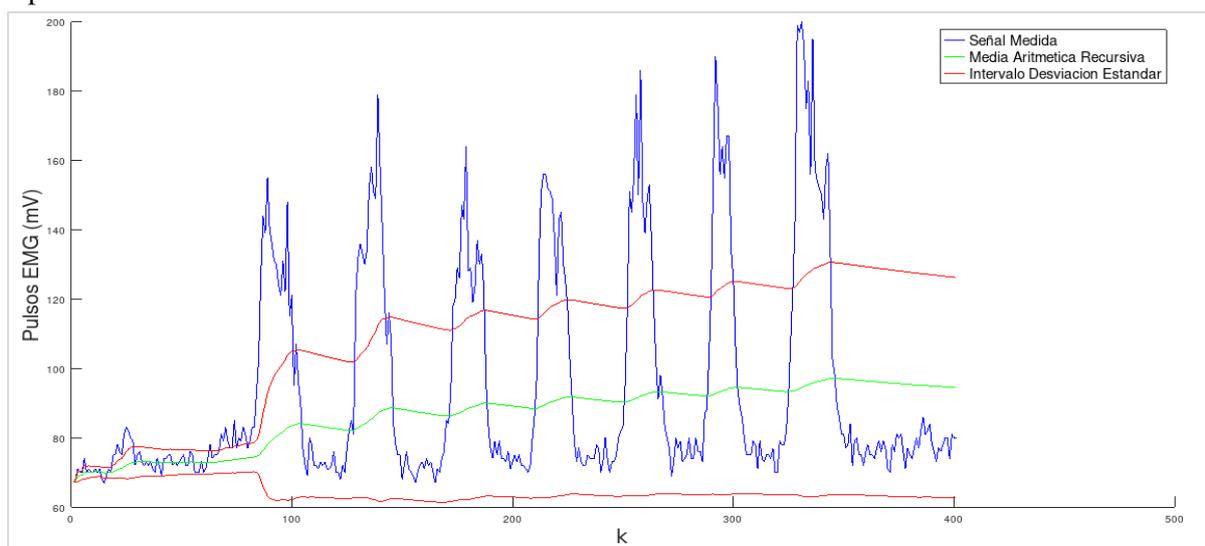
Figura 7. Paciente listo para prueba de grado de movilidad 1 (apertura y cierre de puño)



Fuente propia

En la Figura 8 se observa la señal adquirida del paciente y el primer momento de probabilidad en color verde, a su vez, también se aprecia la desviación estándar, presentada en dos curvas (máximo y mínimo), por lo que con esto mismo se puede observar que la media aritmética recursiva se encuentra centrada en el intervalo y esta misma tiende a converger a una constante.

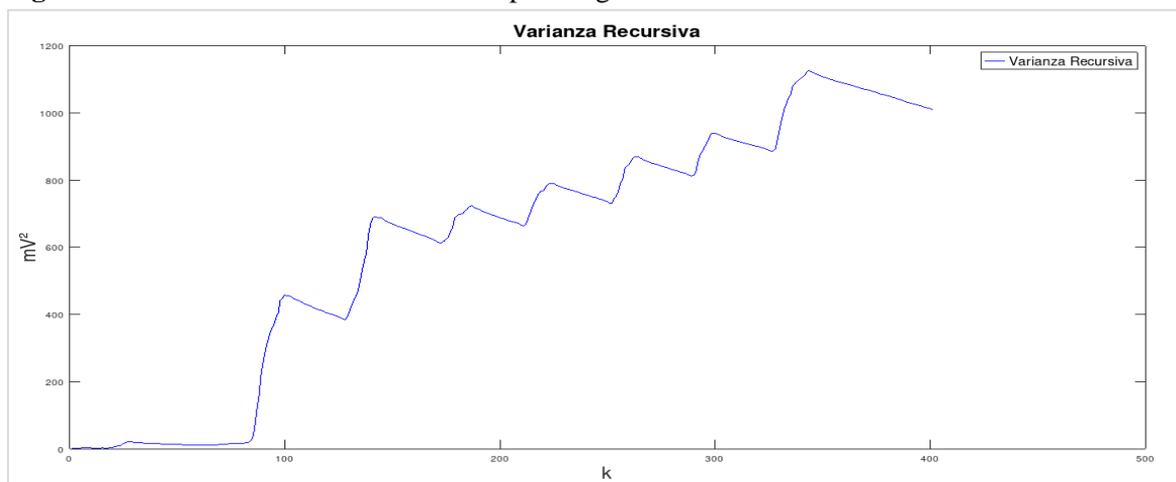
Figura 8. Gráfica de la señal EMG en mV. Primer y segundo momentos de probabilidad (media aritmética recursiva y su respectiva desviación estándar) para el grado de movilidad 1, donde k representa el número de muestra



Fuente propia

En la Figura 9, se puede observar la varianza recursiva; esta gráfica muestra cuánto varían los datos con respecto a la media aritmética. Es importante mencionar que para el cálculo adecuado de la varianza, el primer valor de las mediciones no debe ser cero sino el primer valor medido por el sensor EMG, ya que de ser así se ven afectados los valores recursivos, así como la forma de la gráfica. Como se observa, la gráfica de la varianza es acotada, sin embargo, se aprecia que los datos tienden a estar dispersos, pero estos tienen una dispersión uniforme.

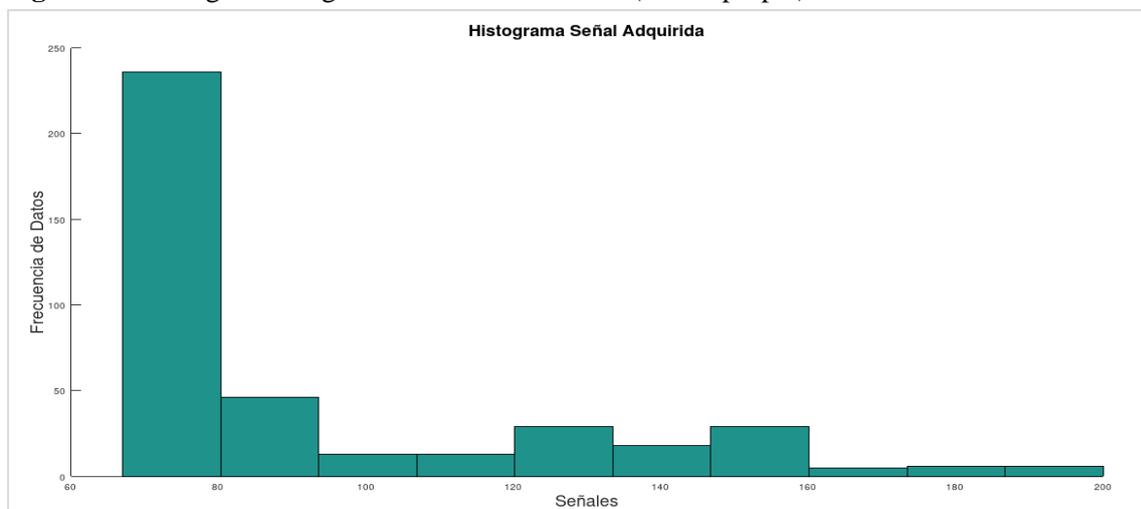
Figura 9. Gráfica de la varianza recursiva para el grado de movilidad 1



Fuente propia

De acuerdo a la gráfica de la varianza que se muestra en la Figura 9, se puede afirmar que los datos están distribuidos de manera uniforme y con el histograma (Figura 10), se observa que están distribuidos a lo largo del eje horizontal.

Figura 10. Histograma de grado de movilidad No. 1 (fuente propia).



Fuente propia

A continuación, se muestran las evidencias de la realización del experimento No.5, cuyas condiciones

de realización se encuentran presentes en la tabla 2.

Como se puede apreciar en la figura 11, en referencia al grado de movilidad No. 5, la colocación de los electrodos siempre es la misma que en los experimentos anteriores, lo que varía con respecto a los demás ejercicios es el movimiento que realiza el paciente y con ello se adquiere la señal EMG correspondiente.

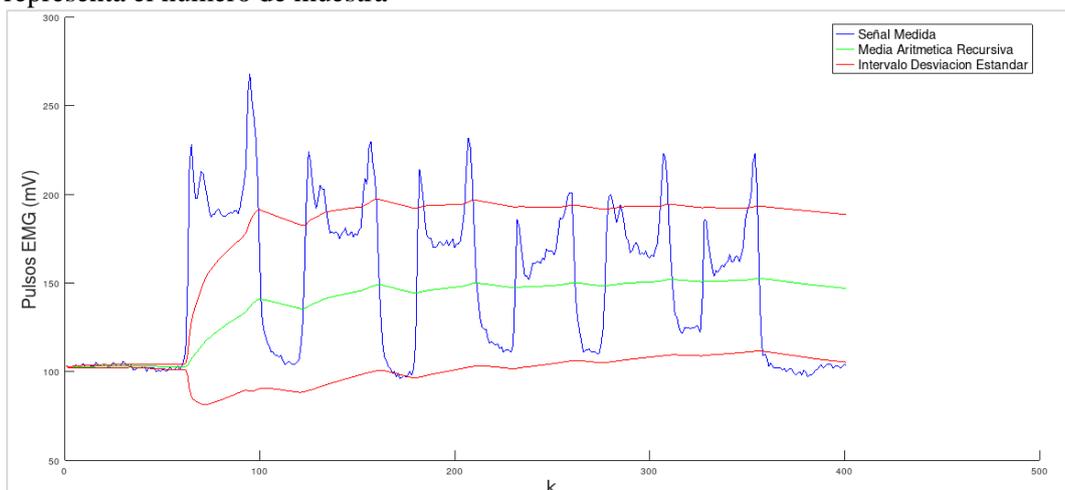
Figura 11. Grado de movilidad No. 5 contraer bíceps



Fuente propia

En la Figura 12 se observa la señal adquirida del brazo en el experimento de grado de movilidad No. 5, en la cual se aprecia en color azul la señal EMG adquirida por el ejercicio, en verde la media aritmética recursiva y en color rojo la media aritmética más, menos la desviación estándar para acotar su variación.

Figura 12. Gráfica de la señal EMG en mV. Primer y segundo momentos de probabilidad (media aritmética recursiva y su respectiva desviación estándar) para el grado de movilidad 5, donde k representa el número de muestra

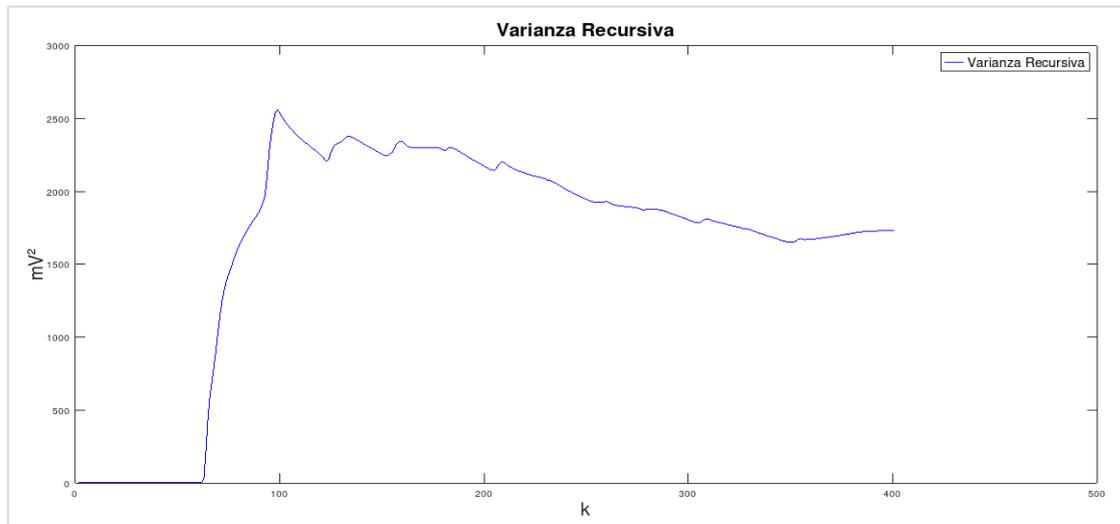


Fuente propia

En este grado de movilidad, se puede apreciar que el segundo momento de probabilidad (Figura 13) tiende a disminuir, por lo que se ve que los datos están más agrupados al centro a diferencia de la prueba

del grado de movilidad 1.

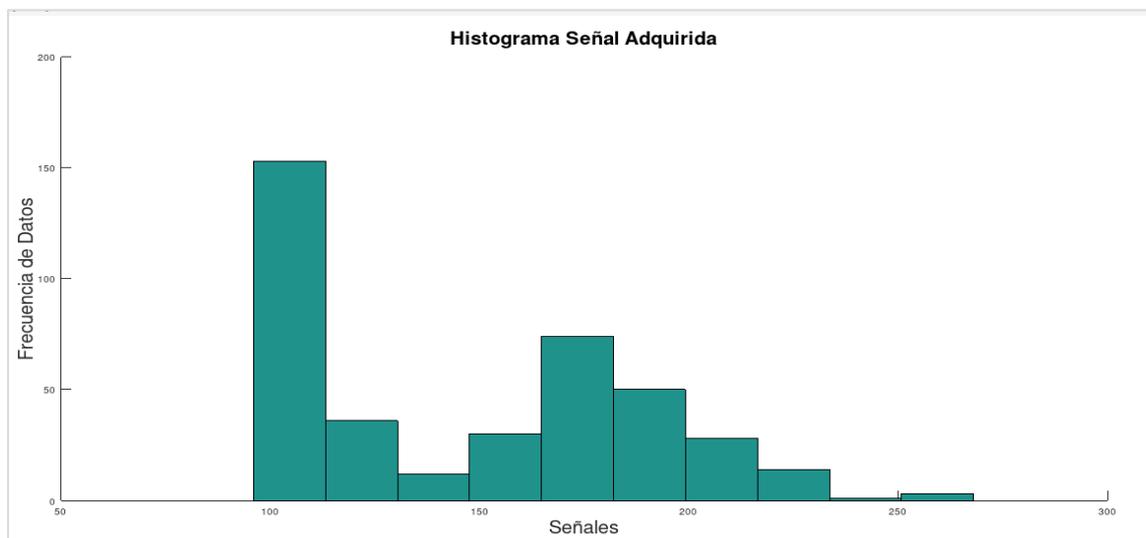
Figura 13. Segundo momento de probabilidad, varianza recursiva, grado de movilidad No. 5



Fuente propia

De acuerdo con la Figura 14, se observa que el histograma tiende a estar agrupado en el centro. Respecto a los dos grados de movilidad mostrados, se puede notar que cada uno cuenta con su forma de señal captada, primer y segundo momento de probabilidad e histograma con sus diferencias, dependiendo del movimiento que realice el brazo.

Figura 14. Histograma grado de movilidad No. 5.



Fuente propia

CONCLUSIONES

Es importante medir y caracterizar las señales EMG en los miembros superiores en humanos (extremidades superiores) para determinar si está presente algún problema físico o padecimiento en los

pacientes o para diseño de prótesis biónicas. Al medir las señales mioeléctricas de los músculos se busca conocer las señales correspondientes a cada movimiento en un mismo grupo muscular, como en este caso es el del antebrazo. En este artículo se implementa un dispositivo que representa un método no invasivo para tal efecto, el cual está constituido por electrodos, un sensor EMG, una placa microcontrolada Arduino y una computadora con una distribución basada en Ubuntu (Zorin), además de los paquetes de software Tauno y Ovtave; con estas herramientas se busca obtener la señal de cada movimiento mediante una serie de pruebas sin tener que herir al paciente.

Para acotar el experimento se eligieron 5 movimientos básicos que cualquier persona saludable o con alguna afección pudiera llegar a realizar sin que le resultara doloroso o complicado. Además, al ser movimientos simples, la señal obtenida en cada uno de ellos varía lo suficiente para que la señal obtenida sea visiblemente diferente y pudiera ser trabajada.

Con una bitácora de cada paciente se ha realizado un mejor control de cada una de las situaciones que han acontecido. Para este propósito, los datos se guardan y presentan de manera ordenada para que esta información pueda usarse en otras áreas de la ingeniería (como el desarrollo de prótesis biónicas electromecánicas).

En cada una de las pruebas, se obtienen 4 elementos, los cuales son: señal EMG graficada, media aritmética recursiva, varianza recursiva e histograma. Los datos obtenidos de cada grado de movilidad se usan para caracterizar la señal obtenida, ya que a pesar de realizar la adquisición de un mismo grupo muscular, el realizar diferentes movimientos hace que la magnitud de dicha señal varíe, generando diferentes tipos de datos de los movimientos analizados en cada prueba.

La media aritmética recursiva brinda información del sistema para apreciar gráficamente si el sistema tiende a ser estacionario y por ende apreciar que el paciente está en condiciones de realizar la prueba, resultando en datos obtenidos confiables, los cuales hacen posible determinar condiciones como la fatiga muscular, golpes o heridas, aspectos que son determinantes para evaluar la salud de un músculo en particular.

La varianza muestra si los datos obtenidos tienden a ser más dispersos o centrados con respecto a la media y para ver si los picos de la señal están dentro de lo esperado o pudieran presentarse ruidos o alguna afección muscular que afecte la medición. El análisis de los histogramas elaborados confirma lo

que la varianza recursiva presenta, ya que se puede apreciar de mejor manera si los datos tienden a estar sesgados a lo largo del eje horizontal o si están más agrupados al centro del mismo eje. Esto podría derivar en un criterio de discriminación entre diferentes grados de movilidad y ayudar en la clasificación de los movimientos realizados por el usuario del sistema propuesto.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Cifuentes, J. M. V., & Sánchez, C. M. (2006). Manual de iniciación a GNU Octave. Trabajo realizado dentro de un Proyecto Fin de Carrera dirigido por Carlos Medrano Sánchez en la EU Politécnica de Teruel Año.
- Dawson, M. R., Sherstan, C., Carey, J. P., Hebert, J. S., & Pilarski, P. M. (2014). Development of the Bento Arm: An improved robotic arm for myoelectric training and research. *Proc. of MEC*, 14, 60-64.
- De la Rosa Steinz, R., & Liptak, L. (2002). Entrenador mioeléctrico de prótesis para amputados de brazo y mano. *Mapfre medicina*, 13(1), 11-19.
- Gabriel Sanz, S. (2012). Desarrollo y comparación de sistemas de reconocimiento biométrico de personas usando características de la forma de andar (Bachelor's thesis).
- Gila, L., Malanda, A., Rodríguez Carreño, I., Rodríguez Falces, J., & Navallas, J. (2009). Métodos de procesamiento y análisis de señales electromiográficas. In *Anales del sistema sanitario de Navarra* (Vol. 32, pp. 27-43).
- Izurieta Freire, J. G. (2018). Sistema de adquisición de señales EMG (electromiográficas) para detectar miopatías en deportistas de alto rendimiento (Bachelor's thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial. Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones).
- Mejía, M. B. T., López, P. G., Baldovinos, D. L. G., Rosas, J. L. C., & Ponomaryova, I. (2023). Comportamiento de los tiempos de respuesta en la simulación en tiempo real de un sistema dinámico. Caso de estudio: circuito RL en RT-Linux. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(1), 10186-10204.
- Paredes, C. A. C., Pantoja, D. E. L., & Acosta, M. F. J. (2011). Diseño e implementación de un módulo electromecánico para la rehabilitación física de la mano derecha afectada como secuela de un

- ataque cerebrovascular. *Universidad y Salud*, 2(14).
- Sánchez, C. A. (2004). Método de clasificación de la señal EMG del antebrazo basado en redes neuronales artificiales y su aplicación sobre una prótesis virtual.
- Vaca Herrera, E. R. (2017). Prototipo de prótesis de un brazo con 12 gdl controlada mediante ondas cerebrales (Bachelor's thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial. Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones).
- Gabriel Sanz, S. (2012). *Desarrollo y comparación de sistemas de reconocimiento biométrico de personas usando características de la forma de andar* (Bachelor's thesis).
- Tolosa, L., Torrealba, R. R., & Silva, R. (2008). Desarrollo de un Algoritmo para generar una Señal de Control para una Prótesis Mioeléctrica de Rodilla. In *IFMBE PROCEEDINGS* (Vol. 18, No. 2, p. 788). SPRINGER SCIENCE+ BUSINESS MEDIA.
- Alberca, J. M. G., & Prieto, C. G. (1997). Tratamiento de un caso de parálisis facial mediante biofeedback electromiográfico. *Análisis y modificación de conducta*, 23(90), 551-565.
- Córdova Martínez, A., Nuin Amuriza, I., Fernández Lázaro, D., Latasa, I., & Rodríguez Falces, J. (2017). Actividad electromiográfica (EMG) durante el pedaleo, su utilidad en el diagnóstico de la fatiga en ciclistas. *Archivos de medicina del deporte*, 34(180), 217-223.
- Guerrero, M. N. V. (1990). Biofeedback EMG frontal y terapia cognitiva en el tratamiento de cefaleas tensionales, migrañas y cefaleas mixtas. *Análisis y modificación de conducta*, 16(47), 99-119.