

Adquisición Electrónica de la Señal Electromiográfica - Fase 1

Electronic Acquisition of the Electromyographic Signal - Phase 1

Olarte, L. N.^{a*}; Orrego, M. C.^b; Serna, G. S.^c; Villabón, P. X.^d

^{a*} Magíster en Tecnologías de la Información Aplicadas a la Educación – ETIAE, Universidad Pedagógica Nacional – UPN, Especialista en Tecnologías de la información Aplicadas a la Educación – ETIAE, Universidad Pedagógica Nacional – UPN. Ingeniero en Telecomunicaciones, Universidad Militar Nueva Granada. Docente de planta, Programa Tecnología en Electrónica y Comunicaciones. Líder semillero Faraday, Facultad de Ingeniería, Universidad Militar Nueva Granada, 2017. Cr 11 # 101-80 (Bogotá - Colombia).

^b Doctorando en Ingeniería, Máster en Ingeniería de Sistemas Electrónicos, Máster de Ingeniería Biomédica, Universidad Politécnica de Madrid, Especialista en Gerencia Integral de las Telecomunicaciones, Escuela de Comunicaciones Militares. Especialista tecnológico en interventoría de proyectos de telecomunicaciones, Sena. Licenciado en Electrónica, Universidad Pedagógica Nacional, Tecnólogo en Telecomunicaciones, Sena. Certificado en el área de electrónica y telecomunicaciones. Docente de planta, Programa Tecnología en Electrónica y Comunicaciones, semillero Faraday, Facultad de Ingeniería, Programa Tecnología en Electrónica y Comunicaciones, Universidad Militar Nueva Granada, 2017. Cr 11 # 101-80 (Bogotá - Colombia).

^c Semillero Faraday, Facultad de Ingeniería, Programa Tecnología en Electrónica y Comunicaciones, Universidad Militar Nueva Granada, 2017. Cr 11 # 101-80 (Bogotá - Colombia).

^d Semillero Faraday, Facultad de Ingeniería, Programa Tecnología en Electrónica y Comunicaciones, Universidad Militar Nueva Granada, 2017. Cr 11 # 101-80 (Bogotá - Colombia). nancy.olarte@unimilitar.edu.co

Fecha de recepción: junio de 2016 / **Fecha de aceptación:** noviembre de 2016

Resumen

El presente documento evidencia la propuesta de investigación enfocada al diseño electrónico para la adquisición y acondicionamiento de la señal electromiográfica, a partir de métodos no invasivos para su posterior análisis en amplitud y tiempo, variables que permitieron evaluar la actividad eléctrica de nervios y músculos. Hoy en día, en el área de biomedicina, la obtención y acondicionamiento de datos electrofisiológicos de individuos es de gran importancia. En primer lugar, el adecuado procesamiento y visualización del patrón esperado de señal puede

brindar al especialista la lectura óptima de datos, proporcionando diagnósticos correctos, y en segundo lugar, la incidencia favorable en el tiempo mediante el tratamiento médico óptimo hacia el paciente que mejore sus condiciones de vida. Por otro lado, debido al posconflicto en nuestro país, existen individuos que tienen marcas ocasionadas por la violencia y que implican tratamientos físicos, algunos de ellos consisten en rehabilitaciones que comprometen la evaluación en el tiempo de la respuesta muscular en algunos lugares del cuerpo. Esta es la justificación social de la investigación, cuya fase inicial comprende el acondicionamiento, bajo componentes electrónicos y la señal electromiográfica para su posterior análisis en el tiempo. Para cumplir con la fase propuesta, se ha venido realizando una metodología secuencial, la cual comprende la revisión del estado del arte relacionada al diseño, implementación y análisis de circuitos, para acondicionar, mediante métodos no invasivos, la señal electromiográfica de patrón básico, seguido de la simulación y visualización de la señal en *software* libre, luego, la identificación de cambios en la amplitud y frecuencia y perturbaciones en la señal, las cuales pueden ser mitigadas por medio del diseño de filtros. Los resultados iniciales indican que el tipo de sensor, el contacto con la piel y el movimiento del paciente ocasionan la perturbación del resultado de la señal acondicionada por métodos electrónicos. Así mismo, la correcta lectura digital del patrón de señal en el formato adecuado proporcionaría en fases posteriores, el almacenamiento y acceso remoto de diferentes respuestas musculares de pacientes en el tiempo para consulta del especialista de forma remota, disminuyendo costos de traslados de los pacientes, al realizar seguimientos en línea.

Palabras clave: simulación, visualización, acceso remoto, respuesta muscular.

Abstract

This document evidences the research proposal, focused on the electronic design for the acquisition and conditioning of the electromyographic signal, from non-invasive methods for subsequent analysis in amplitude and time, variables that will allow evaluating the electrical activity of nerves and muscles. Nowadays in the area of biomedicine, the obtaining and conditioning of electrophysiological data of individuals is of great importance. Firstly, the adequate processing and visualization of the expected signal pattern can provide the specialist with optimal reading of data by providing correct diagnoses, and second, the favorable incidence over time through optimal medical treatment to the patient that improves their conditions of life. On the other hand, due to the post-conflict in our country, there are individuals who have marks caused by violence that involve physical treatments, some of them, rehabilitations that compromise the evaluation over time of the muscular response of some parts of the body. This is the social justification of the investigation, whose initial phase includes the conditioning under electronic components of the electromyographic signal for its subsequent analysis over time. In order to comply with the proposed phase, a sequential methodology has been carried out which includes the review of the state of the art related to the design, implementation and analysis of circuits, to condition the basic pattern electromyographic signal by means of non-invasive methods, followed by the simulation and visualization of the signal in free software, then the identification of changes in the amplitude and frequency and disturbances in the signal, which can be mitigated by the design of filters. The initial results indicate that the type of sensor, the contact with the skin and the movement of the patient cause the disturbance of the result of the signal conditioned by electronic methods. Likewise, the correct digital reading of the signal pattern in the appropriate format would provide, in later phases, the storage and remote access of different muscle responses of patients over time to consult the specialist remotely, decreasing patient transfer costs when performing follow-ups On-line.

Palabras clave: simulación, visualización, acceso remoto, respuesta muscular.

Introducción

A través de las actividades cotidianas de la vida diaria, los movimientos que el ser humano realiza se llevan a cabo gracias a los músculos, lo que contribuyen a generar señales posibles de registrar a través de la piel mediante el correcto posicionamiento de sensores (Díaz, 2014). Este registro aporta al especialista información para conocer de forma detallada su dinámica, enfocando sus estudios hacia la rehabilitación de pacientes en el uso clínico (Díaz, 2014).

Para el tratamiento de señales fisiológicas, específicamente del área de Neurología en Electromiografía (EMG) se busca de forma permanente el uso de la electrónica análoga y digital, compatibles entre sí, a fin de tener a disposición la señal mioeléctrica pura y libre de ruido, dependiendo del músculo del miembro estudio del cuerpo humano a analizar (Alva, 2012).

Aunque han existido investigaciones que involucran desarrollos en el área de acondicionamiento electrónico de señales para su posterior almacenamiento digital, se han presentado inconvenientes como: escoger el sensor adecuado, las técnicas para capturar la señal en lo posible no invasivas y la lectura de datos con la menor perturbación posible en la visualización, junto con parámetros de seguridad de la información del paciente (Olarte y Cowans, 2017).

Un ejemplo claro para la adquisición de señales en animales y humanos ha sido el uso de transductores, los cuales convierten señales eléctricas en

voltaje. En el caso particular para este proyecto, ha sido el electroquímico o electrodo, también empleado para adquirir señales en electrocardiogramas, electroencefalogramas y electromiogramas, entre otros (Marí y Tur, sf.).

Ahora bien, estudios realizados en el Hospital Militar Central, en la última década, evidencian que los soldados que han ingresado a causa de un evento estresante (estresor físico o psicológico), específicamente violento en combate, evidencian frente al evento una respuesta que busque la adaptación y equilibrio (homeostasis) y la respuesta puede ser adaptativa o patológica (Corzo y Bohórquez, 2009).

El evento traumático provoca una demanda para el organismo y dependiendo del contexto biopsicosocial del individuo, los mecanismos de recuperación y adaptación serán suficientes o no para su estabilidad en el tiempo (Corzo y Bohórquez, 2009). Particularmente en su recuperación física es importante evaluar la respuesta muscular, incluso para aquellos pacientes que se encuentran en terapia para la recuperación e incremento de su calidad de vida.

El presente documento se divide en: introducción, en la cual se aborda la necesidad del proyecto, seguido del referente teórico, en el que se involucran conceptos indispensables para la comprensión de la señal básica a acondicionar, luego está la metodología por fases para su ejecución, seguida de los resultados que se tienen hasta el momento con sus conclusiones y por último, las referencias bibliográficas.

Este artículo se deriva del proyecto de iniciación científica (PIC-ING-2524) titulado “Adquisición y Acondicionamiento electrónico de la señal electromiográfica - Fase I”, del Grupo de Investigación e innovación Tecnológica en Electrónica y Comunicaciones (GI-iTEC), semillero Faraday del programa de la Tecnología en Electrónica y Comunicaciones de la Universidad Militar Nueva Granada.

Referente Teórico

Partiendo del concepto que una señal electrofisiológica es aquella que tiene una forma o patrón específico continuo en el tiempo, adquirida mediante transductores, y cuyo origen es la actividad eléctrica de órganos o fibras musculares (Cherniz, et al., 2002), se tiene a continuación la definición de la señal electromiográfica, la cual es de gran importancia en este estudio y puede ser adquirida mediante electrodos de superficie:

Señal Electromiográfica o EMG. Las señales eléctricas asociadas con la contracción del músculo se denominan electromiográficas (EMG). El estudio de las EMG es llamado electromiografía, la cual puede ser intramuscular o superficial y la electrofisiología de la contracción del músculo, se denomina al registro de los datos en un electromiograma y su procesamiento (Winter, 2009).

La señal EMG de superficie se denomina SEMG y representa la suma de potenciales de acción de unidades motoras (PUM) individuales, que se generan por las descargas continuas e irregulares de las unidades motoras activas en el músculo; ello se evidencia en su trazado de forma irregular (Ver Figura 1), la cual puede variar en amplitud y frecuencia, dependiendo de la zona muscular de estudio (Fernández, et al., 2007). La primera contracción se denomina ráfaga de contracción activa, seguido por un periodo valle entre contracciones o periodo real y finalizando con picos de amplitud no reproducibles.

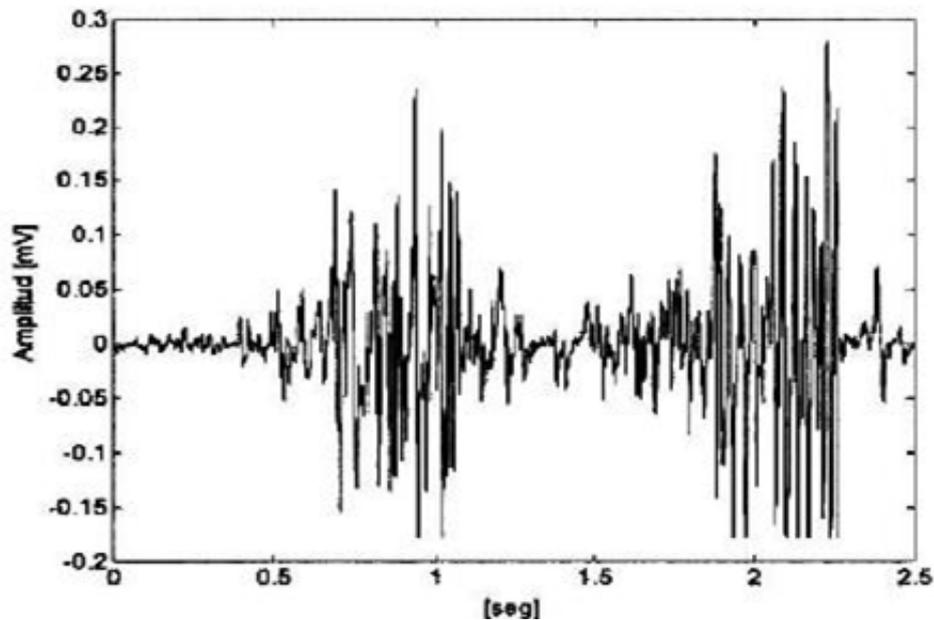


Figura 1. SEMG durante contracciones intermitentes del músculo extensor de la muñeca. Fuente: Fernández, et al., 2007.

Asímismo, para observar el comportamiento muscular, los patrones de actividad temporal y la fatiga de un músculo, es necesario caracterizar la señal SEMG, a partir de la diferenciación de las propiedades del tejido al separar las fuentes generadoras de señal de los electrodos superficiales, identificar también la frecuencia de trabajo de la señal o los ciclos por segundo, las detecciones propias y óptimas de la señal y la adecuada posición de los electrodos para que el tejido biológico actúe como filtro pasa bajos (Merletty y Farina, 2006).

Electrodo Superficial. Son electrodos de contacto con hidrogel para mejor adherencia a la piel, con película de carbono de alta conductividad y baja impedancia, para conseguir una mejor calidad de la estimulación (lonclinicshop, 2017). Se utilizan para medir o causar actividad eléctrica en el tejido, con el fin de identificar problemas con los músculos y los nervios (NIH, 2017). Algunos de los electrodos desechables se pueden apreciar en la Figura 2.



Figura 2. Electrodo adhesivo de botón.
Fuente: Neuroline, 2017.

Metodología

En esta investigación, la metodología se desarrolla de manera secuencial

por fases, las cuales se aprecian en la Figura 3.

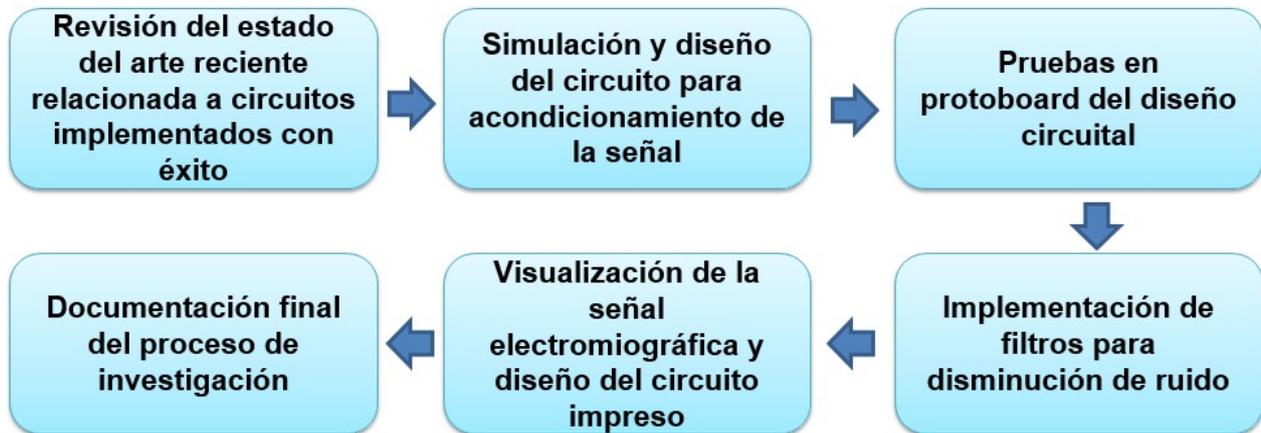


Figura 3. Fases del proyecto.

Para la revisión del estado del arte se realizó una búsqueda exhaustiva reciente sobre artículos y libros en bases de datos reconocidas, las cuales evidenciaron las técnicas invasivas y superficiales para la adquisición de la señal.

Así mismo, antes de realizar montaje en protoboard se realizó la simulación del circuito en el *software* libre Proteus, teniendo en cuenta una frecuencia de 30Hz y amplitud de 2,5mV amplificada a partir del operacional de instrumentación AD620.

Las pruebas iniciales con protoboard mostraron bastante perturbación o ruido de la señal, cambiando extensiones resortadas para electrodos por cables rectos, con el objetivo de no tener pérdidas de amplitud.

Así mismo, se cambiaron los electrodos comunes por los desechables de botón, marca 3M, los cuales permitieron mejorar la visualización de la señal, aunque el movimiento del antebrazo del sujeto de prueba hacía que se alterara la señal respuesta.

En las últimas etapas se mejoró el registro de la visualización de la señal en protoboard, se solicitó la adquisición de una nueva tarjeta de adquisición Olimex SHIELD – EKG – EMG Arduino para trabajar en paralelo a la adquisición de la respuesta muscular de forma electrónica.

Resultados

En esta sección, los resultados se dividen en resultados parciales y resultados esperados.

Resultados parciales. Se realizó la revisión del estado del arte reciente de circuitos diseñados e implementados con éxito, para el acondicionamiento de la señal electromiográfica, mediante técnicas no invasivas, encontrando que existen desarrollos que involucran diferentes tipos de electrodos húmedos para la adquisición de la señal y que estos deben estar distribuidos preferiblemente en una zona específica del cuerpo humano para su estudio, por ejemplo brazo, antebrazo o piernas. Así mismo, se adelantó la simulación del circuito en el *software* libre proteus, incluyendo el amplificador de instrumentación AD620.

A su vez se viene adelantando la simulación y diseño circuital de la señal bajo respuesta muscular base, mediante la tarjeta de adquisición Olimex SHIELD – EKG – EMG Arduino Electrocardiography EKG Electromiography EMG shield (Figura 4a), pero para mejores resultados es necesario otra tarjeta de la misma marca en paralelo, junto con dos cables cada uno, resortados de entrada tipo *plug* para tres derivaciones de electrodos tipo botón (Figura 4b).



Figura 4a. Tarjeta de adquisición Olimex Shield EKG-EMG Arduino.
Fuente: Olimex, 2017.



Figura 4b. Cable con tres derivaciones para electrodos tipo botón.
Fuente: Chou, 2016.

Resultados Esperados. Se esperaba identificar cambios de amplitud, tiempo y frecuencia de la señal para evidenciar posibles perturbaciones, en comparación con las señales ya tratadas en otros estudios. Esto con el fin de ayudar a parametrizar y caracterizar un voltaje de entrada adecuado mínimo para cada estudio.

También se esperaba diseñar filtros para mejorar la lectura de la señal en el tiempo, así como realizar pruebas con electrodos secos de superficie y comparar la respuesta muscular con los electrodos húmedos.

Al determinar con exactitud cambios en amplitud y frecuencia, comparados con el patrón típico de la señal electromiográfica, se esperaba obtener un patrón definido para entrenamiento de redes neuronales, ingresando datos típicos y atípicos de pacientes reales.

Por otro lado, se consideró escoger el formato asociado para almacenar en el tiempo, las señales almacenadas de diferentes sujetos estudio. Lo anterior para que en el mediano plazo se lograra el acceso remoto a diferentes respuestas musculares en el tiempo para consulta del especialista de forma remota, disminuyendo costos de traslados de los pacientes, al realizar seguimientos en línea.

Conclusiones

Aunque se realizaron simulaciones de circuitos esquemáticos en el *software* Proteus y también pruebas con una mínima población de personas en perfecto estado de salud, paralelamente en *hardware* se viene adquiriendo la señal con la tarjeta electrónica Olimex SHIELD – EKG – EMG Arduino Electrocardiography EKG Electromiography EMG Shield, mientras se

identificaba la población objeto de estudio, la cual debía contar con los permisos pertinentes del comité de ética.

A su vez, el tipo de sensor, el contacto con la piel y el movimiento de los sujetos estudio ocasionaron la perturbación del resultado de la señal acondicionada por métodos electrónicos.

Se ha considerado para la población objetivo, posibles casos ya identificados de salud ocupacional de personal docente y administrativo, reportado en la Universidad Militar, también se consideraban tener conversaciones con la facultad de medicina de la universidad para posiblemente tener población militar que se encontraba en tratamiento neurofisiológico, en lo posible, víctimas de combate.

Referencias Bibliográficas

Alva, C.A., (2012). *Procesamiento de señales de electromiografía superficial para la detección de movimiento de dos dedos de la mano*. Lima: Universidad Ricardo Palma.

Cherniz, A., Cian, L. & Escobar, S. (2002). *Sistema de adquisición multicanal para el registro de señales electrofisiológicas*. Salão de iniciação científica - Livro de resumos. Porto Alegre: UFRGS.

Chou, H. (2016). *Arduino and Olimex EMG Shield*. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=EYYtTpSvYtE>

Corzo, P. & Bohórquez, A. (2009).

Prevalencia del trastorno por estrés agudo y trastorno por estrés postraumático en soldados colombianos heridos en combate. *Revista Med*, 17(1), 14-19.

Díaz, D. (2014). *Investigación y desarrollo de interfaces para discapacidad: interfaz mixta EMG-MMG para recoger actividad muscular voluntaria*. España: Universidad de Valladolid.

Fernández, J., Acevedo, R. & Tabernig, C. (2007). Influencia de la fatiga muscular en la señal electromiográfica de músculos estimulados eléctricamente. *Revista EIA*, 7, 111-119.

Ionclinicshop (2017). *Electrodo Superficial de Contacto*. Recuperado de <https://www.ionclinicshop.com/electrolisis-percutanea/4-electrodo-superficial-de-contaco.html>

Marí, J. & Tur. (s.f). *Instrumentación y métodos de registro en experimentación animal*. s.l.:s.n.

Merletti, R. & Farina, D. (2006). Myoelectric manifestations of muscle fatigue. s.l. *Wiley Encyclopedia of Biomedical Engineering*.

Neuroline (2017). *Electrodos de superficie desechables*. Recuperado de <http://www.neuroline.es/ElectrodoSuperficieDesechable.html>

NIH, I. N. d. C. (2017). *Electrodo Superficial*. Recuperado de <https://www>.

cancer.gov/espanol/publicaciones/
diccionario?cdrid=467866

Olarte, N.E. & Cowans, J. (2017).
Señal respiratoria a partir del
acondicionamiento electrónico de la
señal ECG. *Scientia et technica*, 22(1),
114-121.

Olimex (2017). *SHIELD-EKG-EMG*. Recu-
perado de [https://www.olimex.com/
Products/Duino/Shields/SHIELD-
EKG-EMG/](https://www.olimex.com/Products/Duino/Shields/SHIELD-EKG-EMG/)

Winter, D. (2009). *Biomechanics and motor
control of human movement. s.l.*