

Metodología y diseño para la construcción de electrodos concéntricos para electromiografía

Irving Aaron Cifuentes González

Centro de Investigaciones Regionales "Dr. Hideyo Noguchi", Universidad Autónoma de Yucatán, Avenida Itzáes No. 490 x Calle 59 Colonia Centro, C.P. 97000, Tel/Fax: 01(999)9245809

irving.aacg@gmail.com

Nelson Sosa Macmahon

Universidad Tecnológica de Tehuacán, Prolongación de la 1 sur No. 1101 San Pablo, Tel/Fax:

01(238)3803100,

nelson.sosa@uttehuacan.edu.mx

Oscar Bautista Merino

Universidad Tecnológica de Tehuacán, Prolongación de la 1 sur No. 1101 San Pablo, Tel/Fax:

01(238)3803100

César Adrian Maza Valle

Universidad Tecnológica de Tehuacán, Prolongación de la 1 sur No. 1101 San Pablo, Tel/Fax:

01(238)3803100

Alfredo Namigtle Jiménez

Universidad Tecnológica de Tehuacán, Prolongación de la 1 sur No. 1101 San Pablo, Tel/Fax:

01(238)3803100

Resumen

Las señales electromiográficas (EMG) son detectadas por medio de sensores invasivos y no invasivos y representan la actividad eléctrica muscular. Dada su naturaleza biológica, las señales de EMG presentan variaciones debido al ruido inherente a los instrumentos de medición, cambios de impedancia entre la superficie de registro y la piel, ruido del

ambiente e interferencias electromagnéticas. Por otro lado, también son altamente sensibles al cambio de la posición, material y distancia de separación de los electrodos con los cuales se registra la actividad eléctrica. Dado este inconveniente, en la literatura se han presentado algunas configuraciones de electrodos las cuales, dada su geometría, presentan la característica de ser independientes de la ubicación sobre la superficie de la piel, evitando las altas variaciones debidas a la posición de los electrodos. Sin embargo, no presentan una metodología clara de especificaciones electrónicas y mecánicas para el acoplo y ensamble del electrodo. En este trabajo plantea una metodología para la construcción e implementación de varios electrodos concéntricos con diferentes dimensiones para su posterior estudio y caracterización.

Palabras Claves: Electrodos concéntricos, electromiografía, instrumentación biomédica

1. Introducción

La Electromiografía (EMG), consiste en el registro de los potenciales generados por la actividad eléctrica de los músculos mediante el uso de electrodos, ya sean superficiales o invasivos [1]. La principal diferencia entre estas técnicas, superficial e invasiva, radica en la precisión de los potenciales eléctricos que pueden ser registrados. Con la electromiografía invasiva es posible obtener el potencial eléctrico de una sola motoneurona, sin embargo, esta técnica es bastante dolorosa para el paciente ya que los electrodos son insertados de manera intramuscular y por lo general se requiere de supervisión médica. En la segunda técnica, la electromiografía de superficie (sEMG), los electrodos son colocados en la superficie de la piel alrededor del músculo a monitorear, generalmente se usa una configuración diferencial. La ubicación de los electrodos no produce dolor al paciente, sin embargo, la actividad eléctrica registrada suele estar acompañada de ruido y artefactos, esto debido a que representa el promedio de los potenciales producidos por las motoneuronas que se encuentran alrededor de la zona de medición de los electrodos [2].

Para el registro de las señales de EMG se hace uso de electrodos. Un electrodo es un transductor que permite una transferencia iónica del tejido vivo del cuerpo hacia un dispositivo electrónico el cual se encarga de procesar la señal para posteriormente obtener información útil de la medición [3]. La amplitud de la señal de EMG depende de muchos factores, entre ellos tenemos los siguientes:

- **Distancia inter-electrodo:** Es la distancia que separa a los electrodos usados en la adquisición de la señal de EMG.
- **Material de los electrodos:** El material y tipo de los electrodos también influye de manera considerable en el registro de EMG. Para el registro de sEMG, es posible elegir entre dos tipos de electrodos, los electrodos de gel o húmedos y los electrodos secos. Los electrodos húmedos constan de un gel conductor para mejorar el transporte iónico entre la interface electrodo-piel. Los electrodos más populares de éste tipo son los de Ag/AgCl. Los electrodos secos son generalmente placas de metales nobles altamente conductores como lo son la plata, oro, platino y titanio. A diferencia de los electrodos húmedos, los electrodos secos no requieren uso del gel conductor, sin embargo, su uso mejora la calidad de la señal registrada.
- **Ruido y “artefactos”:** Se refiere a las interferencias que se pudieran presentar al momento de realizar los registros de las señales y tienen varios orígenes; puede ser ruido electromagnético proveniente de la línea de alimentación o ruido biológico proveniente de algún otro proceso electroquímico como las señales de Electroencefalografía (EEG) o Electrocardiografía (ECG). También se presenta el artefacto por movimiento de los cables conductores de los electrodos o algún falso contacto con la piel [4].

Un sistema de adquisición de señales de EMG consiste de varias etapas: etapa de adquisición y pre-amplificación, etapa de digitalización y finalmente la etapa de procesamiento o de extracción de la información [5].

Cada una de estas etapas es de vital importancia, sin embargo, se debe de tener un especial cuidado en la etapa de adquisición y de pre-amplificación, sobre todo para tratar de evitar las variaciones debidas a la posición de los electrodos. Hasta el momento no

hay una metodología que ayude a contrarrestar estos problemas, sin embargo, algunos autores han propuesto una nueva configuración geométrica para la construcción de nuevos electrodos, los cuales, presentan las características de un filtro isotrópico, lo cual permite obtener registros de EMG independientemente de la ubicación del electrodo sobre la superficie de la piel. El trabajo de Bhullar et al. [6], fue el primero en proponer esta configuración de electrodos concéntricos. Sus resultados muestran que los electrodos concéntricos presentan mejor selectividad de los potenciales de acción registrados en comparación con la configuración bipolar tradicional. Por otro lado, Farina et al. [3] demostró que el incrementar los anillos concéntricos equivalía a aumentar el orden del filtro isotrópico, obteniendo registros de EMG más libres de ruido, sin embargo, en este trabajo no se menciona el proceso de la manufactura de los electrodos ni los bloques electrónicos necesarios para realizar el registro. Los resultados presentados en los trabajos son prometedores y resultarían de gran utilidad para el futuro desarrollo de aplicaciones basadas en control mioeléctrico, es por esta razón que en este trabajo se presenta el desarrollo de una metodología para llevar a cabo la construcción y la integración de varios electrodos concéntricos, haciendo énfasis tanto en la superficie conductora, como en la sección electrónica correspondiente a la pre-amplificación.

2. Desarrollo

Para la fabricación de los electrodos secos suelen usarse metales nobles, tales como la plata, oro y platino. Éstos materiales presentan las características de no reaccionar o reaccionar muy poco con otros compuestos químicos, por lo que se dice que son químicamente inertes. Debido a esto, muchos de los electrodos utilizados para los registros de biopotenciales suelen estar fabricados de estos metales. En este trabajo se optó por trabajar con el acero inoxidable y plata, debido a que su costo no es tan elevado.

Como se ha mencionado, en este trabajo se pretende desarrollar un grupo de electrodos concéntricos para registrar la actividad de EMG utilizando varias medidas y materiales, ya que con anterioridad se había desarrollado un primer diseño “artesanal” utilizando plata para los anillos concéntricos y teflón como dieléctrico. Sin embargo, este primer prototipo presenta una mala geometría debido a su método de fabricación. Aun así, fue posible registrar actividad de EMG. Es por esta razón que pretende desarrollar el mismo trabajo pero mejorando los métodos de fabricación.

Se fabricaron tres electrodos concéntricos (A, B y C) con diferentes dimensiones (ver Fig. 1, Fig. 2, Fig. 3), usando como material conductor acero inoxidable del tipo austenítico, el cual presenta las siguientes características: excelente resistencia a la corrosión, excelente soldabilidad, excelente factor de higiene y limpieza y no presenta características magnéticas.

Los anillos concéntricos serán montados sobre una superficie de PTFE (Teflón), el cual posee excelentes características dieléctricas, además de ser bastante inerte ya que presenta un enlace químico en las moléculas prácticamente irrompibles, teniendo elevada resistencia térmica, química y a los solventes.

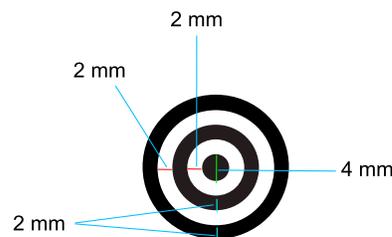


Fig. 1. Diseño del electrodo concéntrico A.

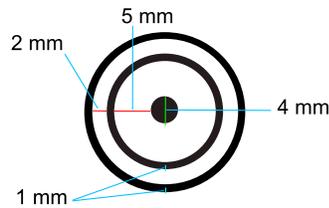


Fig. 2. Diseño del electrodo concéntrico B.

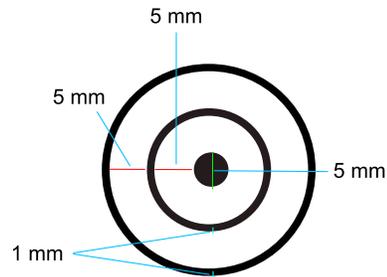


Fig. 3. Diseño del electrodo concéntrico C.

Una vez seleccionados los materiales para realizar los electrodos, se procedió a ensamblar una serie de pines conductores los cuales servirán para unir la superficie conductora de los electros con la tarjeta de circuito impreso que se desarrollará (Fig. 4). Posteriormente se procedió a realizar el montaje de los anillos sobre la superficie dieléctrica (Teflón), esto evitará que se generen corrientes parasitas entre las superficies conductoras, lo que podría incrementar el nivel del ruido (Fig. 5). Finalmente, se ensambló la superficie del electrodo con la tarjeta de circuito impreso (Fig. 6); esta tarjeta incluye una etapa de pre-amplificación, la cual fue diseñada utilizando el amplificador de instrumentación INA326 de la compañía Texas Instruments. El circuito diseñado para la etapa de pre-amplificación se presenta en la Fig. 7.

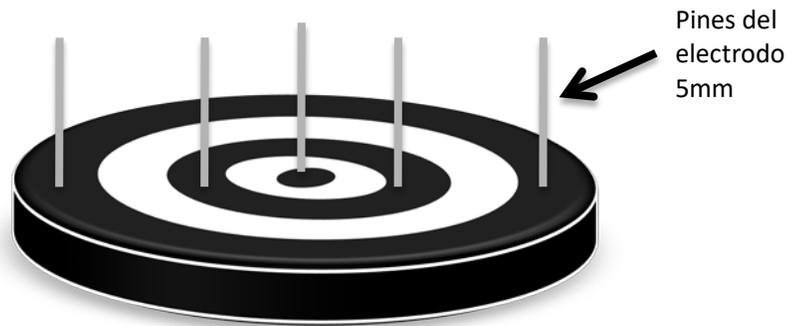


Fig. 4. Conectores para unir la superficie conductora de los anillos concéntricos con la tarjeta de circuito impreso.

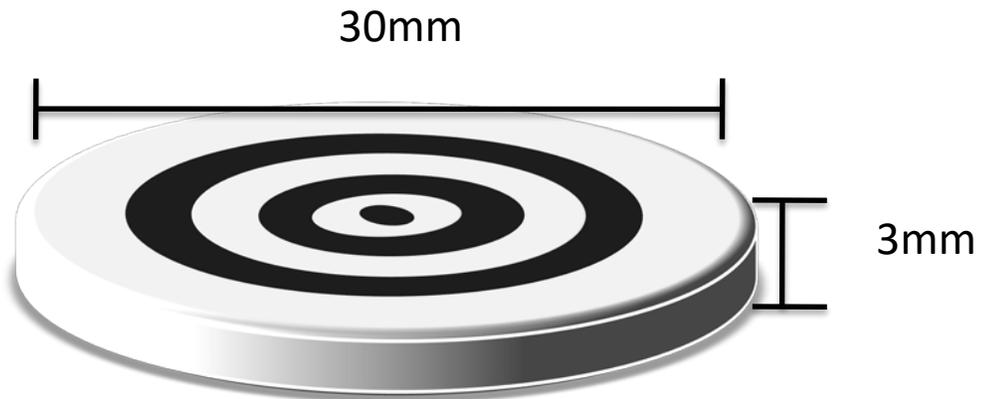


Fig. 5. Montaje de los anillos conductores sobre la superficie dieléctrica.

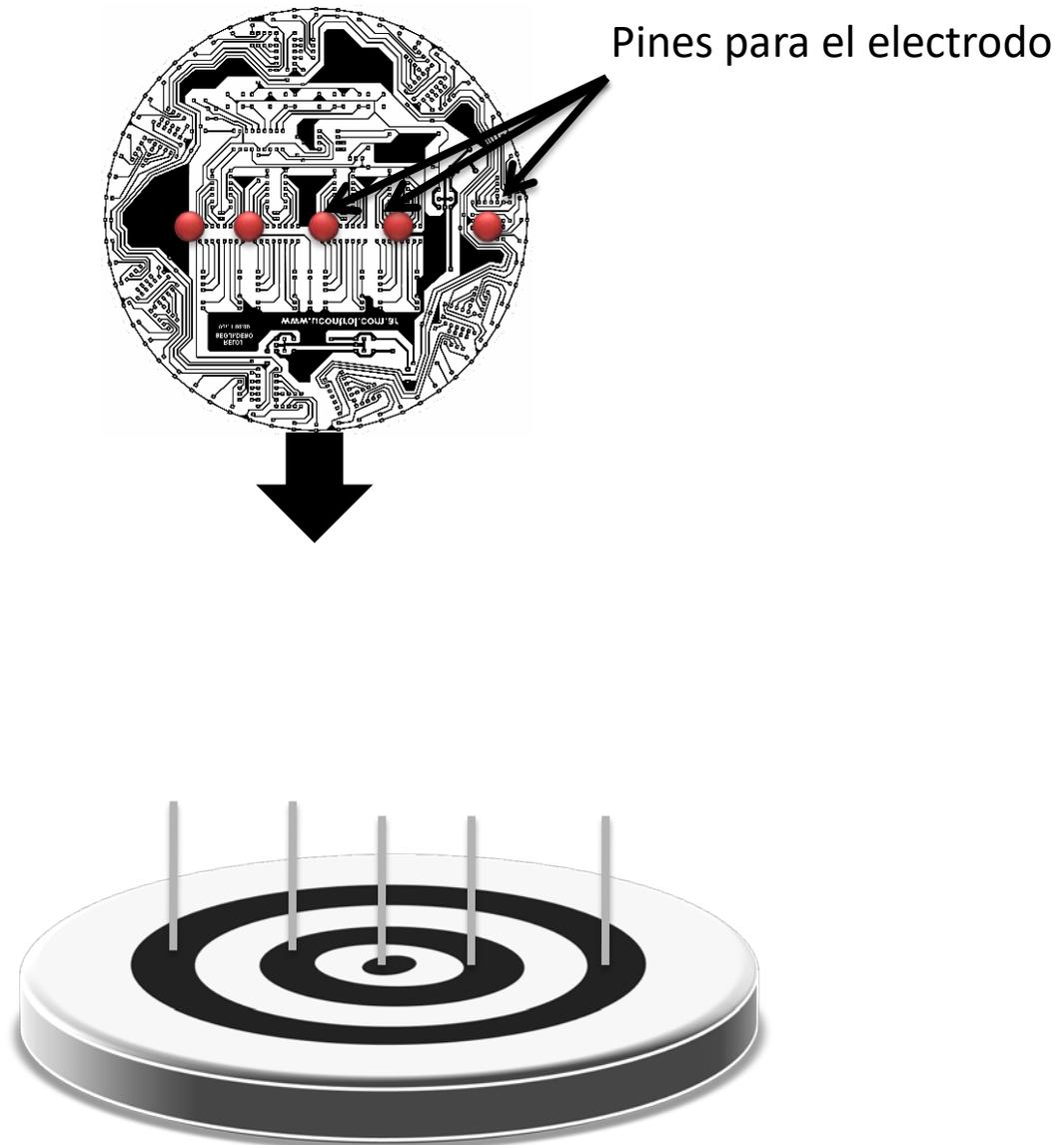


Fig. 6. Montaje del electrodo concéntrico y el circuito de pre-amplificación.

Especificaciones electrónicas

Para la captura de señales de EMG por medio del electrodo concéntrico, se deben cumplir ciertas especificaciones electrónicas asociada a la naturaleza de este tipo de señales [6].

Por lo tanto, las especificaciones esenciales que debe cumplir el dispositivo electrónico son:

- Corriente de DC de bias <math>< 10\text{nA}</math>.
- CMRR > 74 dB.
- Ancho de banda de 15 a 1kHz.

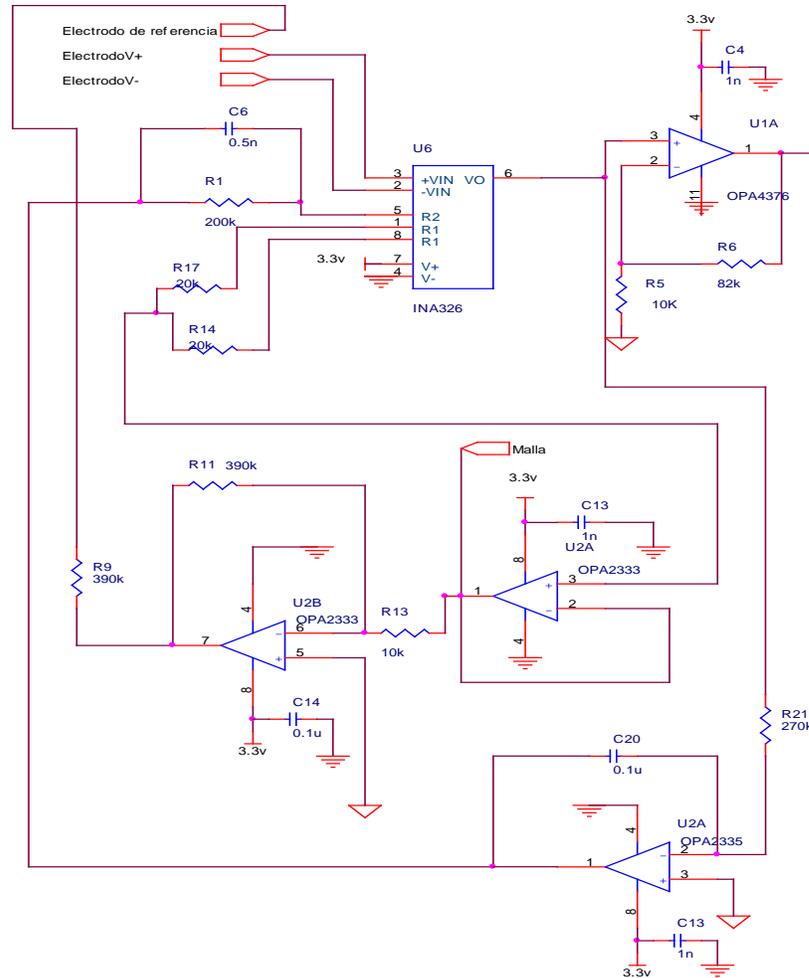


Fig. 7. Diseño electrónico para adquirir señales de EMG.

Métodos de Fabricación

Para la fabricación de los electrodos concéntricos se plantearon dos métodos:

- 1.- Fabricación de un prototipo en los laboratorios de microelectrónica, usando plata para los anillos conductores sobre un substrato de Teflón.

2.- Fabricación de anillos concéntricos de acero inoxidable en el taller de tornos del INAOE.

Debido a que este proyecto aún se encuentra en desarrollo, actualmente solo se cuenta con los anillos de acero inoxidable, sin embargo, se espera tener los electrodos de plata en poco tiempo. El resultado final de la fabricación de cada uno de los electrodos por medio del segundo método se observan a continuación. (Ver Fig. 8, 9 y 10).



Fig. 8. Prototipo A.



Fig. 9. Prototipo B.



Fig. 10. Prototipo C.

3. Resultados

La captura de la señal EMG fue realizada en el bíceps derecho por medio de un electrodo fabricado previamente de forma “artesanal” (ver Fig. 11). Este electrodo cuenta con la etapa de pre-amplificación (ver Fig. 12).

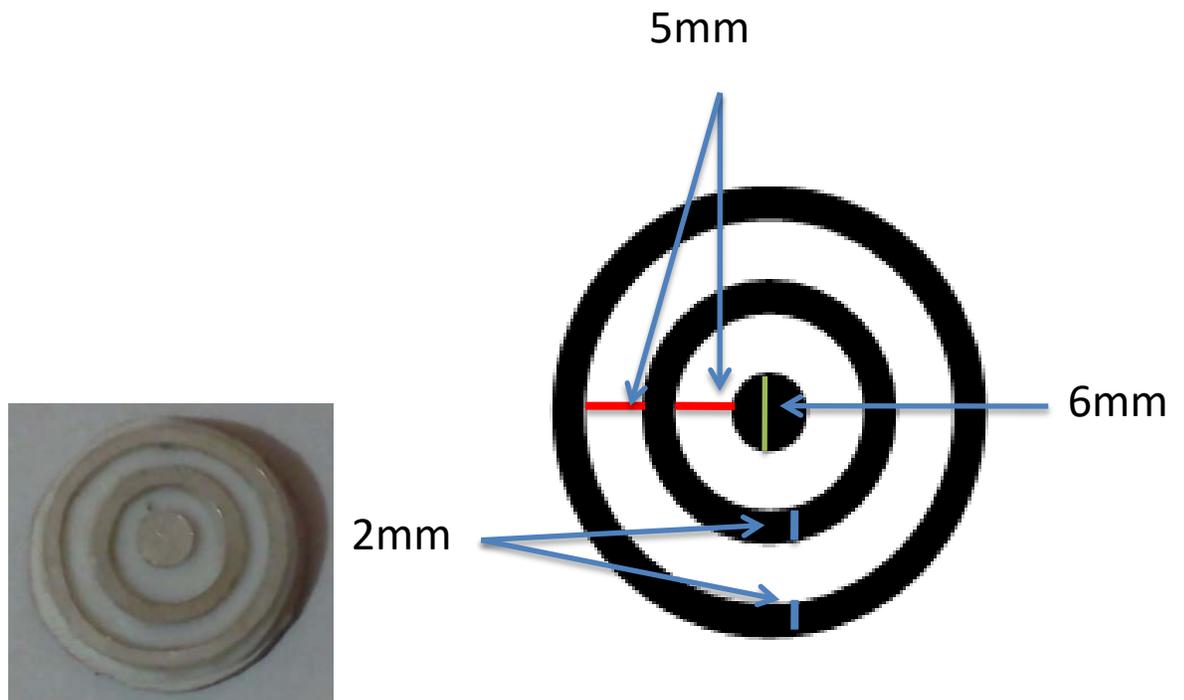


Fig. 11. Prototipo artesanal, anillos concéntricos.



Fig. 12. Tarjeta PCB del prototipo artesanal montada en la espalda del electrodo.

El proceso para el registro de la actividad de EMG es como sigue:

1. La señal es registrada por el electrodo concreto y es pre-amplificada usando una ganancia de 920. Se realizaron diferentes registros bajos las mismas condiciones ambientales, pero con variaciones en el esfuerzo físico del usuario.
2. La señal de EMG es convertida a digital con ayuda de la tarjeta de adquisición de datos NIUSB6009 de National Instruments. Debido a que la frecuencia máxima de la señales de EMG es de aproximadamente 500 Hz, se optó por usar una frecuencia que cumpliera con el criterio de Nyquist, por lo que se usó una frecuencia de muestreo de 10kHz.
3. Una vez digitalizada la señal, se procedió a hacer un procesamiento off-line. Este procesamiento consiste primero en filtrar la señal utilizando un filtro de media móvil.
4. Finalmente, se desarrolló un algoritmo para detección de patrones en la señal de EMG basado en amplitud.

Para ilustrar los resultados de la captura de la señal EMG, se muestran dos gráficas que describen la flexión del bíceps en un tiempo de 1 segundo, después de haber pasado por un pre-procesado digital por medio de un filtro de media móvil (Ver Fig. 13 y Fig. 14).

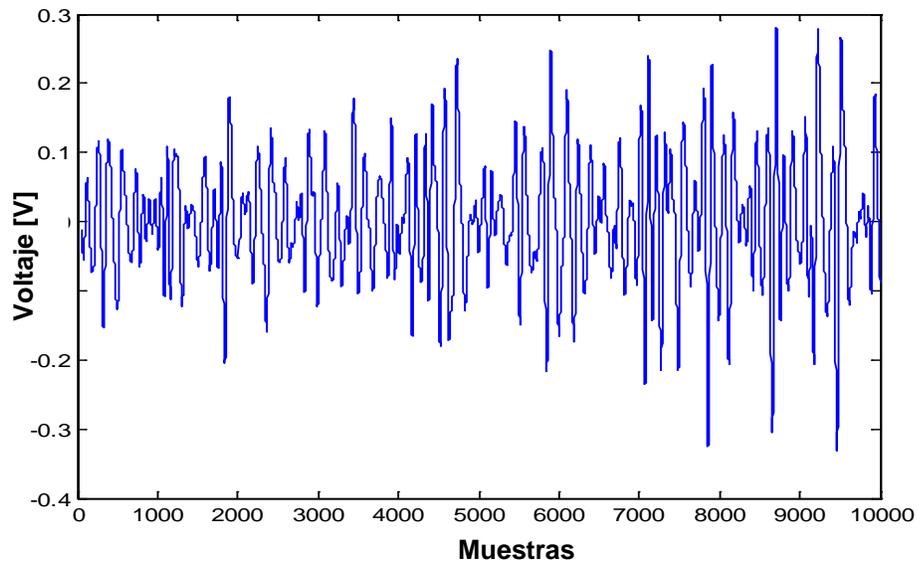


Fig. 13. Captura I de la señal de EMG generada durante la flexión del bíceps.

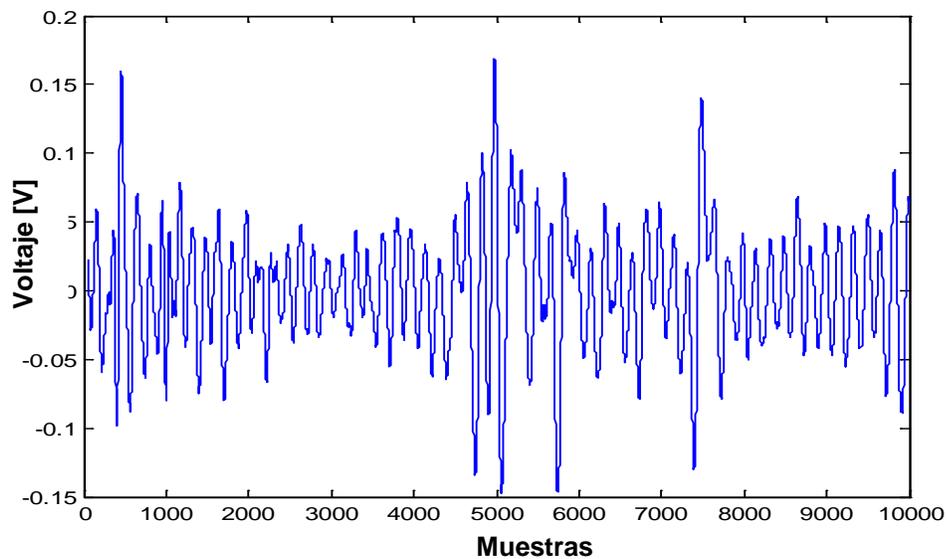


Fig. 14. Captura II de la señal de EMG de la flexión del bíceps.

Una vez hecho el pre-procesado de las señales con el filtro de media móvil, se procedió a la aplicación de nuestro algoritmo para determinar los patrones de una señal propia de EMG. Este algoritmo consiste en un método de umbrales para la localización de los potenciales de acción de las señales de EMG, (ver Fig. 15 y Fig. 16).

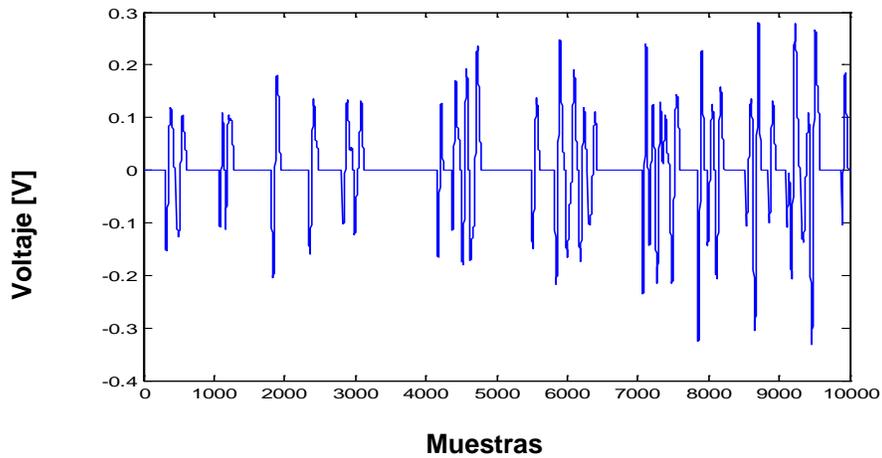


Fig. 15. Potenciales de acción seleccionados de por el algoritmo de umbral para la señal de EMG I.

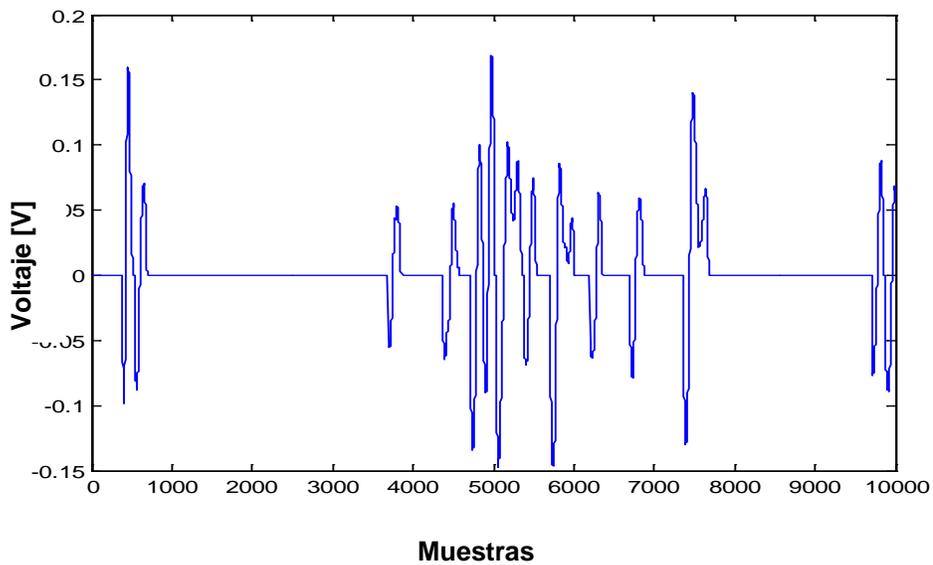


Fig. 16. Potenciales de acción seleccionados de por el algoritmo de umbral para la señal de EMG II.

4. Discusión

Hasta este momento, únicamente se ha desarrollado el primer prototipo de electrodo concéntrico artesanal. Las señales de EMG registradas por este prototipo fueron mostradas en la sección anterior. Así mismo, se diseñó un algoritmo para la selección de potenciales de acción, los cuales conforman la señal de EMG. Este algoritmo es bastante simple y se basa en la detección de umbrales de amplitud de la señal. Esta primera aproximación usando el electrodo artesanal, nos hace pensar que los nuevos diseños (Prototipos A, B y C) pueden obtener un mejor desempeño, y combinados con algún algoritmo de detección, podrían servir para la futura implementación de un sistema de control mioeléctrico. Desafortunadamente, las fallas en la geometría del electrodo artesanal nos impiden realizar una buena caracterización. Algunas de las principales ventajas teóricas del uso de los electrodos concéntricos son mencionadas a continuación.

Los electrodos concéntricos podrían permitir uniformidad en el proceso de adquisición de las señales de EMG, ya que en este caso, las distancias inter-electrodos se mantienen fijas y dadas sus características geométricas, no importaría mucho la posición en la que se colocará el electrodo sobre la piel, ya que siempre actuará como un filtro isotrópico, manteniendo un registro promedio de la actividad eléctrica muscular. Además, el colocar la etapa de pre-amplificación justo detrás de la superficie conductora del electrodo, ayudaría a reducir artefactos generados por el movimiento de cables.

5. Conclusiones

En este trabajo se presentaron los diseños de varios prototipos de electrodos concéntricos para EMG, y se construyó uno de forma artesanal. Se realizaron varias capturas de EMG con este electrodo y lo que se pudo observar es que se presentaba una gran cantidad de ruido, sin embargo fue posible obtener las señales de EMG. Se realizaron capturas de las señales correspondientes a los movimientos de flexión con el brazo derecho con el electrodo colocado sobre el musculo bíceps. Se pudieron notar dos características: cuando se realiza el movimiento con poca fuerza, la amplitud de la señal de EMG y la frecuencia de ocurrencia de los potenciales de acción es baja; mientras que

cuando hacemos el mismo movimiento pero aplicando mucha más fuerza, la amplitud y frecuencia de ocurrencia de los potenciales de acción se incrementa; es decir, a más fuerza se obtienen más potenciales de acción y con una amplitud mayor que aplicando poca fuerza. Se definió como patrón de EMG un potencial de acción que cumple con ciertas características en amplitud, por lo que se desarrolló un algoritmo en MATLAB para poder obtener estas formas de onda particulares del resto de todos los demás potenciales de acción presentes en la señal de EMG. Los resultados obtenidos con este electrodo fueron aceptables; sin embargo se disminuiría en gran cantidad el ruido y se obtendría una mejor forma de onda de la señal de EMG si se desarrollan los prototipos planteados en acero inoxidable, ya que se mejoraría en gran medida el factor simétrico de los anillos. El desarrollo de estos electrodos puede tener un gran impacto en el campo de las prótesis inteligentes y podría dar solución a uno de los principales problemas en el registro de las señales de EMG: la ubicación de los electrodos.

6. Referencias

- [1] P. P. Roberto Merletti, *Electromyography - Physiology, Engineering and Noninvasive Applications*, Wiley-IEEE. 2004, p. 520.
- [2] R. H. Chowdhury, M. B. I. Reaz, M. A. B. M. Ali, A. a a Bakar, K. Chellappan, and T. G. Chang, "Surface electromyography signal processing and classification techniques.," *Sensors (Basel)*., vol. 13, no. 9, pp. 12431–66, Jan. 2013.
- [3] D. Farina and C. Cescon, "Concentric-ring electrode systems for noninvasive detection of single motor unit activity.," *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. 48, no. 11, pp. 1326–34, Dec. 2001.
- [4] A. O. Andrade, A. B. Soares, S. J. Nasuto, and P. J. Kyberd, "EMG Decomposition and Artefact Removal," in *Computational Intelligence in Electromyography Analysis - A Perspective on Current Applications and Future Challenges*, 2012, pp. 1–26.

- [5] M. Z. Jamal, "Signal Acquisition Using Surface EMG and Circuit Design Considerations for Robotic Prosthesis," in *Computational Intelligence in Electromyography Analysis - A Perspective on Current Applications and Future Challenges*, 2012, pp. 427–448.
- [6] N. B. J. H. K. Bhullar, G. H. Loudon, Dr J. C. Fothergill, "Selective noninvasive electrode to study myoelectric signals," *Med. Biol. Eng. Comput.*, vol. 28, no. 6, pp. 581–586, 1990.

7. Autores

M. en C. Irving Aaron Cifuentes González obtuvo su título de Maestría en Ciencias en Ingeniería Electrónica en la especialidad de Instrumentación Electrónica en el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE). Actualmente desarrolla su doctorado en el Centro de Investigaciones Regionales "Dr. Hideyo Noguchi" de la Universidad Autónoma de Yucatán.

M. en C. Nelson Sosa Macmahon obtuvo su título de Maestría en Ciencias en Ingeniería Electrónica en la especialidad de Instrumentación Electrónica en el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE).

M. en C. Oscar Bautista Merino obtuvo su título de Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecánica en la especialidad en Diseño Mecánico en el Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (CENIDET).

M. en C. César Adrian Maza Valle obtuvo su título de Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecánica en la especialidad en Diseño Mecánico en el Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (CENIDET).

Ing. Alfredo Namigtle Jiménez es Ingeniero en Electrónica por el Instituto Tecnológico de Tehuacán (ITT).