

Diseño de un Método para Capturar Señales Mioeléctricas de Miembros Superiores

Leidy Carvajal¹

¹ Universidad de la Amazonía, Programa Ingeniería de Sistemas, Florencia, Caquetá
levacabe@hotmail.com

Resumen. Actualmente la amputación de miembros superiores es una situación que está limitando a aquellas personas afectadas, impidiendo su desempeño motriz y haciendo difícil la realización de las tareas cotidianas; además es una problemática con la que estamos conviviendo sin darle la importancia que merece, pues existen posibles soluciones que mejorarían la calidad de vida de los amputados. Una solución es el desarrollo de prótesis mioeléctricas capaces de suplir la imagen corporal y simular los movimientos de las manos, por lo tanto en el presente artículo se presentan los resultados de una investigación del estado del arte sobre los distintos métodos de captura de señales mioeléctricas de los miembros superiores, mostrando inicialmente la evolución en el diseño de prótesis, para posteriormente analizar algunos trabajos relacionados al tema y finalizar con la idea de un método para capturar señales mioeléctricas de miembros superiores, debido a que con el anterior se obtiene las señales de los músculos involucrados y éstos son los datos funcionales de una prótesis mioeléctrica. El método propuesto hace parte de una primer fase de futuras investigaciones y desarrollos en relación al tema.

Palabras Clave: Prótesis, señales mioeléctricas, músculo, mioeléctrica, amplificador, filtro, robótica, inteligencia artificial, redes neuronales.

1. Introducción

Un humano es un ser principalmente funcional y su cuerpo e inteligencia es la esencia de lo que hace. El órgano principal para la manipulación física del medio son las manos, en donde la punta de los dedos contiene algunas de las zonas con más terminaciones nerviosas del cuerpo humano, son la principal fuente de información táctil sobre el entorno, por eso el sentido del tacto se asocia inmediatamente con las manos [7]. Según Sarmiento en [5] la mano ha sido la compañera fundamental del cerebro para convertir el pensamiento en acción, en ella, las ideas se traducen mecánicamente en acciones, creando representaciones jerárquicas para configurar los procesos necesarios en el control de movimientos.

Infortunadamente desde tiempos atrás algunos seres humanos han vivido la falta de una parte funcional de su cuerpo como los miembros superiores debido al efecto de una amputación, donde amputar según el Diccionario de la Real Academia Española, “es la acción de cortar y separar enteramente del cuerpo un miembro o una porción de él”[8].

Este contexto ha generado la necesidad de diseñar prótesis las cuales son dispositivos que intentan complementar la imagen corporal y simular la funcionalidad de esta parte del cuerpo. Para lograr este objetivo la mecánica jugó un papel primordial en sus primeros diseños, por esta razón se les dio el nombre de prótesis mecánicas o convencionales (gancho y mano mecánica). Más adelante con el avance tecnológico y más específicamente en el área de la robótica y la electrónica, se lograron desarrollar prótesis mejoradas en sus sistemas de control y adaptación hasta lograr una prótesis controlada con impulsos musculares, a la cual se le dio el nombre de prótesis Mioeléctrica (mio= músculo, eléctrica= electrónica) [9] y tienen la finalidad de restaurar la funcionalidad perdida, así como recuperar la imagen física, la simetría corporal y colaborar con el desarrollo psicológico de la persona, para crear una percepción de totalidad al recobrar movilidad y aspecto.

Estas prótesis mioeléctricas como su nombre lo dice deben capturar las señales producidas cuando la persona contrae un músculo y éste genera un determinado voltaje de acuerdo a la fuerza de la actividad realizada, conocidas como señales mioeléctricas que posteriormente serán sometidas a un estudio de electromiografía donde según Dario es la disciplina que trata la detección, el análisis y el uso de señales eléctricas que emiten las contracciones musculares [11]. Por lo tanto los datos de las señales mioeléctricas superficiales son una fuente de información muy apropiada para el control de dispositivos prostéticos [10], pues estos son la base fundamental para generar movimiento en el dispositivo electrónico.

En relación a la problemática de la amputación se identifica que es una situación no ajena a nuestro departamento del Caquetá y la incidencia de amputaciones es bastante elevada, pues a través de la historia se ha conocido gran cantidad de casos, principalmente por motivos de guerra en los combates con los grupos al margen de la ley, por enfermedades en las que es necesario, por infecciones adquiridas donde la amputación es la única salida e incluso por negligencia en centros de salud donde diagnostican esta solución habiendo otros procedimientos a realizar. Además es un tema que en nuestro departamento ni en la Universidad de la Amazonía se le ha dado importancia de generar investigación, existiendo en Colombia de acuerdo al censo del DANE del año 2005 alrededor de 385.000 personas con discapacidad de miembro superior.

Por ejemplo en nuestro departamento hay jóvenes que han perdido alguno de sus miembros superiores debido a accidentes en motocicletas, teniendo como consecuencia impedimentos a la hora de realizar sus tareas diarias; entonces esta dificultad se puede disminuir si se diseña una prótesis que internamente tenga un método de capturar las señales producidas por músculos que no han sido afectados, por medio de sensores llamados electrodos, para obtener esa señal, amplificarla a un valor capaz de simular un movimiento y realizarle un tratamiento para la eliminación de cualquier ruido producido durante la captura de la señal mioeléctrica.

Por consiguiente tengo la idea de investigar sobre los diferentes métodos que existen para capturar esas señales de un músculo de los miembros superiores, para evaluarlos de acuerdo a diferentes características, con el objetivo de diseñar un nuevo método, teniendo en cuenta lo más relevante de los otros métodos, que sirva de marco referencial a futuras investigaciones en la región y en el mundo.

Las contribuciones son las siguientes:

- Breve evolución de las prótesis de miembro superior la cual encontraremos en la sección 2.
- Trabajos relacionados sobre métodos para capturar señales mioeléctricas de miembros superiores, describiendo los aportes en cada una de las etapas de un método: captura, amplificación y filtrado, lo cual podemos encontrar en la sección 3.
- Dar a conocer una idea del Método propuesto para capturar señales mioeléctricas de miembros superiores, que se presenta en la sección 4.
- Las conclusiones y el trabajo futuro de la investigación realizada, que encontraremos en la sección 5.

2. Evolución de las prótesis de miembro superior

Las prótesis de miembro superior han tenido a través de los años una evolución en paralelo con los materiales manipulados por el ser humano en cada época y con la tecnología, como también con el entendimiento de la biomecánica del cuerpo humano [1], donde según [2] la biomecánica se define como la ciencia que estudia los movimientos de los sistemas biológicos desde el punto de vista de la mecánica.

El origen de la prótesis de miembro superior data del año 2000 a. C., encontrada en una momia egipcia, la cual estaba sujeta al antebrazo por medio de un cartucho adaptado al mismo. Posteriormente con la aparición del hierro se realizaron algunos diseños de prótesis de miembro superior como: la primer mano de hierro registrada fabricada por el general romano Marcus Sergius durante la Segunda Guerra Púnica (218-202 a. C.), *la Mano de alt-Ruppin*, el Primer brazo artificial móvil llamado *Le petit Loraine* en el S. XVI. [1].

En el siglo XIX se emplean el cuero, los polímeros naturales y la madera en la fabricación de prótesis, así como se incorporó los resortes como elementos de ayuda a la transmisión de la fuerza y para la sujeción. Bajo esta tendencia se pueden identificar diseños de prótesis de miembro superior como la mano elaborada por el alemán Peter Beil para el cierre y apertura de los dedos [3]. Durante el siglo XX se incorporan diversos elementos metálicos para el diseño de las prótesis como anillos, ganchos y otros, obteniendo prototipos con la capacidad de realizar trabajo de fuerza y precisión, dando origen a las prótesis neumáticas y eléctricas.

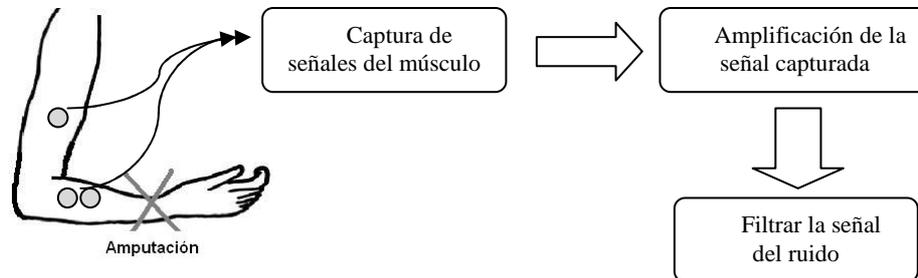
Igualmente es el siglo del origen de las prótesis mioeléctricas, el cual es el tema de interés del proyecto, éstas prótesis con mando mioeléctrico comienzan a surgir en el año de 1960 en Rusia [1], inicialmente cumplían funciones de abrir y cerrar un gancho pero en la actualidad el trabajo de la robótica ha generado un avance en la funcionalidad y estética de éstas, pues en el transcurso de los siguientes años se han construido diversas prótesis que han ido perfeccionando sus métodos de funcionamiento y estructura, al punto de apoyar en gran parte la simulación de las acciones de la mano y brindar la posibilidad de replicar con precisión varios movimientos[5], por ejemplo actualmente con la aplicación de la biónica, es decir con el estudio de soluciones biológicas a la técnica de los sistemas de arquitectura, ingeniería y tecnología moderna [6] se han desarrollado las llamadas manos biónicas donde David Gow uno de los grandes investigadores en este campo, ha inventado una

prótesis que mueve desde el dedo pulgar hasta los dedos de la mano, como si realmente fuera una mano humana, es controlada por la mente y los músculos y se llama *I-Limb*[6].

Por lo tanto, se puede concluir que la gran evolución en el diseño de prótesis de miembros superiores se ha identificado desde la historia como un proceso ligado a los avances tecnológicos, y cada vez las investigaciones han dado resultado a modelos más realistas y funcionales.

3. Trabajos relacionados sobre métodos para capturar señales mioeléctricas de miembros superiores

Un método de captura de señales mioeléctricas de miembros superiores debe tener como objetivo obtener una señal mioeléctrica pura para una posterior aplicación o utilización, por lo tanto es importante resaltar que cualquier método debe incluir procesos tanto de captura, adecuación de la magnitud de la señal, eliminación de ruidos e interferencias, para un respectivo análisis y procesamiento. Hoy en día existen diversidad de métodos para capturar señales mioeléctricas de miembros superiores, con la implementación de diferentes elementos o técnicas y con diversas etapas para el procesamiento de la señal mioeléctrica. Haciendo una recopilación de información se identifica que las etapas más relevantes para la captura de señales mioeléctricas de los miembros superiores son: captura, amplificación y filtrado (Ver gráfica 1).



Gráfica 1: Etapas de captura de señales mioeléctricas de los miembros superiores

A continuación se mencionan algunos métodos utilizados para capturar señales mioeléctricas de los miembros superiores, describiendo cada una de las etapas:

3.1. Captura

Las señales mioeléctricas son capturadas típicamente mediante electrodos bipolares de superficie, ubicados sobre la piel [12], aunque en algunas prótesis se utilizan electrodos implantados cuando se tiene el prototipo final. En ésta etapa se debe identificar el músculo generador de la señal mioeléctrica, para lo cual se recomienda la asistencia de personal médico especializado, quienes pueden identificar con mayor precisión las regiones musculares con mayor compromiso en la ejecución de los movimientos de interés y debe realizarse particularmente con cada paciente [16]

debido a que las señales mioeléctricas son propias de cada quien; también identificar el número de electrodos a utilizar, analizar la posición de los electrodos e identificar la distancia entre éstos.

Según Sarmiento en [5] se identifica el músculo activador con los electrodos artificiales y su respectiva referencia hasta lograr un umbral que sea superado durante la contracción muscular; ubicados en el flexor común de los dedos, aunque Dorador en [1] identifica que la ubicación de los electrodos superficiales para la captura de las señales mioeléctrica es en la zona de los bíceps.

En [13] para el momento de la captura de la señal mioeléctrica utiliza electrodo superficial de tipo seco esto quiere decir de contacto directo con la piel del paciente y en configuración bipolar, cada uno de ellos tiene las dos superficies de contacto que proveen la señal en forma diferencial y una tercer superficie que constituye la referencia o masa. Los electrodos tienen superficies rectangulares de 3mm x 8mm, con electrodo de referencia de posición central de modo de asegurar un buen contacto con la piel del paciente y la distancia de los electrodos con el de referencia es de 10mm.

Es importante tener en cuenta que el número de electrodos corresponde al número de canales a procesar y éste es un parámetro esencial en el desempeño del clasificador y en el número de movimientos a identificar [16]. Mista en [14] describe que para el desarrollo de su investigación utiliza tres electrodos activos, hechos con barra de plata 1000 de 2 mm de ancho y 10 mm de largo y una separación de 10 mm; por lo contrario, Aguilar en [15] utiliza dos electrodos para tomar la señal y otro de referencia.

3.2. Amplificación

Las señales producidas por fenómenos mioeléctricos son potenciales eléctricos relativamente pequeños de (1mV-10mV) y requieren sofisticados amplificadores para facilitar su cuantificación. El propósito principal del amplificador es incrementar el nivel de la señal que se obtiene con los electrodos excluyendo cualquier tipo de interferencia [12].

En esta etapa se aplica el proceso de amplificación a las señales mioeléctricas capturadas, para producir niveles adecuados de las señal para análisis futuros, según [12] por lo menos una amplificación de 1000 y según [16] unas 500 veces. Se utilizan amplificadores operacionales o sistemas de amplificación que permitan aumentar la magnitud de éstas.

Vélez en [17] utilizan una etapa de amplificación de señales mioeléctricas a partir de un circuito no-inverso, aplicado a un amplificador operacional, igualmente en [18] se utiliza un amplificador de instrumentación con una ganancia de 130 y de respuesta lineal en el rango desde 0,05 Hz hasta 1000 Hz, así como en [20] se basan en un amplificador de instrumentación de entrada diferencial AD624AN, en [21] por medio de un amplificador de unidad de procesamiento como lo es el INA 114, que a su vez permite variar el factor de amplificación con la modificación de un juego de resistencias y en [22] por medio de un amplificador de instrumentación AD620 diseñado con una ganancia de 1000.

El control de potenciales mioeléctricos en un codo se da a partir de un acondicionamiento de amplificación a la señal análogamente por medio de un

circuito amplificador de bioinstrumentación, de manera que pueda ser procesada posteriormente en un computador después de transmitirla a través de una tarjeta de adquisición de datos [19].

3.3. Filtrado

En esta etapa las señales biológicas del cuerpo humano se someten a un proceso de depuración o filtro de información por medio de diferentes métodos que permitan seleccionar las mejores frecuencias de un espectro que registradas a partir de la etapa de amplificación. Los orígenes de ruido que más interfieren en la señal mioeléctrica son: la interferencia capacitiva debido al cuerpo del paciente, la interferencia capacitiva debido al equipo de medida, que se produce por la fuente de alimentación del equipo al cual llegan las señales electrocardiográficas y la interferencia inductiva, que es causada por la red eléctrica, la cual produce campos magnéticos que varían con el tiempo, los que a su vez inducen voltajes en la red formada por los electrodos del paciente [12].

Según Cifuentes en [23] durante su etapa de filtrado para señales mioeléctricas construye filtros analógicos para obtener los mejores registros posibles, estas señales se presentan en el rango de frecuencia de 10 a 500Hz.

Una técnica para evitar el ruido de la toma de corriente y del ambiente es anexar un filtro rechaza bandas de muesca de 50 o 60Hz [24] y en [18] por medio de filtro notch se bloquea la señal de 50/60 Hz de una red eléctrica. Un manipulador robótico industrial en 2D, utiliza un filtrado pasabanda activo de cuarto orden entre 10 y 500Hz para la depuración de señales mioeléctricas [25]. En [17] se utiliza un filtro rechaza banda, el cual se encarga de rechazar exclusivamente el ruido de 60Hz para entregar a la salida una señal completamente pura de distorsiones, además de este aplica un filtro pasa bajos el cual limita las entradas de frecuencia mayor a 1,3Hz y un filtro pasa altos el cual las señales de entrada con valores de continua.

En [12] se implementaron filtros digitales utilizando un filtro pasa alto sencillo, la mayor parte de estos filtros se denominan Filtros de Lynn y son descritos en [26] y aplicados al procesamiento de señales electrocardiográficas en [27] y en [28], los Filtros de Lynn tienen una versión Pasa Alto y Pasa Bajo.

Por lo contrario en [29] se deja a un lado la etapa de filtro ya que los electrodos utilizados son implantados que entregan señales definidas que no necesitan de este proceso.

4. Método propuesto para capturar señales mioeléctricas de miembros superiores

Debido a que no existe un estándar que identifique las actividades a realizar para capturar señales mioeléctricas de miembros superiores, después de identificar y analizar los métodos más utilizados o comunes entre diversos proyectos para la captura de señales mioeléctrica de miembro superior, se identifica la necesidad de plantear un método diferente que cumpla con la característica de obtener una señal más pura y con la implementación de inteligencia artificial para ello. Se deja claro que el presente método planteado es conclusión de la investigación del estado del arte sobre el tema, mas no de la práctica.

Las etapas propuestas para la captura de la señal mioeléctrica de miembro superior son:

4.1. Captura

El proceso de captura de la señal mioeléctrica proveniente del músculo se realiza mediante la utilización de electrodos bipolares, el número se determina según la cantidad de canales de señal que se quieran identificar. Para el proceso de identificación de los músculos que generan la señal se acude a una persona experta que conozca concretamente la ubicación adecuada de los electrodos sobre el músculo de interés. Posteriormente al tener ubicados los electrodos en la zona de los músculos de utilidad, se recomienda que la distancia entre electrodo sea aproximadamente de 10mm.

4.3. Pre-Amplificación

Para cumplir con el objetivo de manipular la señal mioeléctrica capturada se desarrolla la etapa de pre-amplificación por medio de un amplificador de instrumentación como el INA 125 o INA 128, donde se amplificará la señal de los músculos de los miembros superiores hasta un valor promedio que nos permita su manipulación.

4.2. Pre-Filtrado

Caicedo define la Inteligencia Artificial como la rama de las ciencias computacionales que trata sobre la construcción y comprensión de entidades y agentes inteligentes, usando como modelo los seres vivos en sus aspectos morfológicos, cognitivos y sociales, en particular el ser humano [30]. Una técnica de Inteligencia Artificial son las redes neuronales, que son sistemas compuestos de elementos de procesamientos simples en paralelo masivamente interconectados y con organización jerárquica, los cuales intentan interactuar con los objetos del mundo real del mismo modo que lo hace un sistema nervioso biológico.

Teniendo en cuenta lo anterior, se propone realizar la etapa de pre-filtrado utilizando inteligencia artificial mediante la técnica de red neuronal, la cual mediante un aprendizaje supervisado se le suministrará la descripción de funciones características de las señales mioeléctricas de interés, apoyados en la herramienta tecnológica MatLab.

4.4. Amplificación

La señal mioeléctrica pre-filtrada se vuelve a amplificar por medio del mismo proceso realizado en la pre-amplificación, pero en esta etapa la señal debe quedar amplificada las veces que se desea para su óptima manipulación.

4.5. Filtrado

Para lograr los objetivos del método propuesto en relación a la obtención de una señal más pura, se identifica la necesidad de volver a filtrar la señal amplificada con la finalidad de eliminar el ruido generado por el circuito de la etapa de amplificación, siguiendo los mismos parámetros de la etapa de pre-filtrado.

5. Conclusiones y trabajo Futuro

La construcción de prótesis mioeléctricas de miembros superiores es un tema de valiosa importancia a nivel mundial. A pesar que en el departamento del Caquetá no se ha evolucionado la mentalidad de aplicar tecnología para el desarrollo de soluciones a los problemas de amputación de la población afectada, se desea por medio de investigaciones en la Universidad de la Amazonía dar un aporte para generar cultura correspondiente a la robótica y por lo tanto a las prótesis mioeléctricas.

Se debe tener en cuenta que cada vez se busca la optimización en el análisis y tratamiento de las señales mioeléctricas para su aplicación en el control de prótesis; entonces, como se está en una primera etapa del proyecto, se pretende ir perfeccionando los procesos por medio de la investigación para futuros desarrollos óptimos, usando las técnicas más apropiadas para el análisis de las señales y aprovechando al máximo los avances tecnológicos.

Después de haber realizado la revisión y análisis del estado del arte con respecto a los métodos de captura de señales mioeléctrica de miembros superiores y de haber propuesto una idea del método para lograr los objetivos, se pretende implementar y desarrollar este método para validar su óptimo funcionamiento y finalmente ser implementado en una prótesis mioeléctrica, como desarrollo de proyecto de grado.

6. Literatura Citada

1. Dorador, J.M.; Ríos, P.; Flores, L.I.; Juárez, A.: Robótica y Prótesis inteligentes, Revista Digital Universitaria UNAM, Vol. 6, No. 1, (2005).
2. Biomecánica de la Actividad Física y del deporte, disponible en <http://www.futbolcarrasco.com/apartados/inef/3curso/pdf/4.pdf>, visitado el 15 de marzo 2011.
3. Flores, R.I; Juárez, A.M; Castillo, E; Dorador, J.M.: Actualidad y tendencias en el diseño de Prótesis de miembro superior, Departamento de Ingeniería Mecatrónica, Facultad De Ingeniería, U.N.A.M.
4. Pilaquinga, D. I.: Diseño y Construcción de una mano robótica Controlada mediante un guante sensorizado, Escuela Politécnica Nacional, Quito (2009).
5. Sarmiento, L.C.; Páez, J. J.; Sarmiento, J. F.: Prótesis mecatrónica para personas amputadas entre codo y muñeca, Tecné, Episteme y Didaxis, No. 25, (2009).
6. Méndez, T.; Martínez, M.; Iglesias, F.: La Mano Biónica, disponible en <http://www.ate.uniovi.es/8695/documentos/trabajos%202009-10/2%BA%20trabajo%202009-10/22%20enero%201030/mano%20bionica.pdf>, visitado el 18 de marzo 2011.

7. Gómez, F.A.; Guzmán, V.D.: Prótesis mioeléctrica, Boletín Informativo INNOVAR, No.148, (2009).
8. Diccionario de la lengua Española: Real Academia Española, definición de amputar, disponible en http://buscon.rae.es/draeI/SrvltConsulta?TIPO_BUS=3&LEMA=amputar, visitado el 26 de marzo 2011.
9. ROBOTHA, Robótica Humano-Asistencial, Prótesis Mioeléctricas, disponible en <http://robotha.com/mioelectrica.htm>, visitado el 26 de marzo 2011.
10. Cabrera, J.S.; Jaramillo, H.F.: Mejora de procesos para el desarrollo de dispositivos prostéticos de mano, Revista de la Facultad de Ingeniería, Vol. 11, No. 21, pp. 92-104.(2010)
11. Dario, P.; Carrozza, M.C.; Menciassi, A.; Micera, S.; Zecca, M.; Cappiello, G.; Sebastiani, F.; Freschi, C.; On the development of a cybernetic hand prosthesis, Scuola Superiore Sant'Anna; (2003).
12. Vidal, C.: Desarrollo de un Sistema de Adquisición y Tratamiento de Señales Electrocardiográficas; Rev. Fac. Ing. - Univ. Tarapacá, vol. 13, No. 1, (2005)
13. Alfaro, M.; Joliat, L.; Vicario, S.: Desarrollo de una Prótesis Mioeléctrica de Miembro Superior, Bioparx ACE.
14. Mista, C.A.; del Rio, A.O; Tabernig, C.: Sistema microcontrolado para adquisición y análisis de electromiografía superficial, Facultad de Ingeniería. UNER, Segundo Congreso Virtual, Microcontroladores y sus Aplicaciones, (2010).
15. Aguilar, J.A.; Aristizabal, B.J.; Quiñones, M.E.: Detección de Señales Mioeléctrica y su análisis con Redes Neuronales, Pontificia Universidad Javeriana.
16. Romo, H.A.; Realpe, J.C.; Jojoa, P.E.: Análisis de Señales EMG Superficiales y su aplicación en Control de Prótesis de Mano, Revista Avances en Sistemas e Informática, Universidad del Cauca, Vol. 4, No. 1, pp. 127-135, (2007).
17. Vélez, C.A.: Diseño y Elaboración del circuito de Electromiografía, Proyecto-Control MIOFEEDBACK, Vol Informe, No 2, (2009).
18. Muñoz, B.E.; Paruma, O.H.; Flórez, J. F.: Aplicaciones de las señales mioeléctricas para el Control de interfaces hombre-máquina, Universidad del Cauca. [4]
19. Uribe, M.; Saldarriaga, I.C.; Bernal, M.; Reyes, S.; Torres, R.; Torres, A.: Diseño y Construcción de una articulación de codo controlada por potenciales mioeléctricos, Revista CES Medicina, Vol 16, No 2, pp.39-42, (2002).
20. Orosco, E.; López, N.; Soria, C.; Guzzo, M.: Procesamiento de señales Mioeléctricas implementado en Procesador digital de señales, Universidad Nacional de San Juan.
21. Barreda, L.E.: Electromiografo, Dpto. de Electrónica, (2005).
22. Aparicio, A.; Caicedo, L.A.; Cuy, J.E.: Prototipo de prótesis para mano utilizando músculos de alambre (nitinol) para la generación de movimiento, Universidad Santo Tomás de Aquino Bogotá, (2004).
23. Cifuentes, I.A.: Diseño y construcción de un sistema para la detección de señales electromiografías, Universidad Autónoma de Yucatán, pp.1-110, (2010).
24. Khandpur, R.S.: Biomedical instrumentations. Technology and aplicaciones, MacGraw-Hill.
25. López, N.; Soria, C.; Orosco, E.; Sciascio, F.; Valentinuzzi, M.: Control mioeléctrico para movimiento en 2D de un manipulador robótico industrial, Universidad Nacional de San Juan.
26. M.L. Ahlstrom. "Digital Filters for RealTimeECG Signal Processing Using Microprocessors", IEEE Transactions on Biomedical Engineering, Vol. 32, No. 9, pp. 708-713, (1985)
27. Pan, J; Tompkins, W.: A Real-Time QRS Detection Algorithm; IEEE transactions on Biomedical Engiening; Vol. BME-32. No.3. (1986)

28. Hamilton,P,S; Tompkins,W.: Quantitative Investigation of QRS Detection Rules Using the MIT/BIH Arrhythmia Database; IEEE transactions on Biomedical Engiening; Vol. BME-33. No.12. (1986).
29. Escudero, Z.; Leija, L.; Álvarez, J.; Muñoz, R.: Prótesis para extremidad superior controlada mediante la interpretación de la señal mioeléctrica en músculos remanentes, Sección Bioelectrónica CINVESTAV-IPN, (1997).
30. Caicedo, E. F.: Sistemas inteligentes: De la Inteligencia individual a la Inteligencia de Enjambres, Institución Universitaria Tecnológico Pascual Bravo.