

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE  
MONITOREO PARA LA ADQUISICIÓN  
DE SEÑALES ELECTROMIOGRÁFICAS  
NO INVASIVAS EN EXTREMIDADES  
SUPERIORES.**

**DESIGN OF A MONITORING SYSTEM  
FOR THE ACQUISITION OF NON-  
INVASIVE ELECTROMYOGRAPHIC  
SIGNALS IN UPPER EXTREMITIES**

**PROJETO DE UM SISTEMA  
DE MONITORAMENTO PARA  
A AQUISIÇÃO DE SINAIS  
ELETROMIOGRÁFICOS NÃO  
INVASIVOS NAS  
EXTREMIDADES  
SUPERIORES**

**Ángela María González Amarillo**

Escuela de Ciencias Básicas  
Tecnología e Ingeniería, GIDESTEC,  
Universidad Nacional Abierta y a Distancia  
[angela.gonzalez@unad.edu.co](mailto:angela.gonzalez@unad.edu.co)

**Adriana Granados Comba**

Escuela de Ciencias Básicas  
Tecnología e Ingeniería,  
Universidad Nacional Abierta y a Distancia  
[adriana.granados@unad.edu.co](mailto:adriana.granados@unad.edu.co)

**Javier Antonio Ballesteros-Ricaurte**

Escuela de Ingeniería de Sistemas y  
Computación, Universidad Pedagógica y  
Tecnológica de Colombia  
[javier.ballesteros@uptc.edu.co](mailto:javier.ballesteros@uptc.edu.co)

*Fecha de recepción:* 20 de mayo 2017

*Fecha aprobación:* 10 de septiembre 2017

## Resumen

Las técnicas y las tecnologías para recopilar, analizar, representar y almacenar datos médicos de manera fiable han evolucionado vertiginosamente. Una de estas metodologías es la electromiografía clínica de superficie, la cual permite registrar y analizar actividad bioeléctrica útil para el diagnóstico de los trastornos neuromusculares congénitos o adquiridos, así como determinar la localización anatómica exacta del problema e intensidad. La señal electromiográfica es una técnica utilizada para diversas aplicaciones en diferentes áreas como la neurología, la rehabilitación, la ortopedia, entre otras. Este artículo presenta el diseño de cada una de las etapas del desarrollo e implementación para la simulación de señales electromiográficas (EMG) de superficie, mediante un método no invasivo, el cual proporciona la actividad eléctrica de los músculos con una gran objetividad y prontitud las cuales son comprobadas en músculos de miembros superiores. Para la implementación de los circuitos, se utilizan componentes de fácil adquisición contribuyendo con el desarrollo tecnológico del país.

**Palabras clave:** Electrofisiología, Electromiografía, Electrodo, Músculos, Tendones, Amplificador Operacional.

## Abstract

The techniques and technologies to collect, analyze, represent and store medical data in a reliable way have evolved rapidly. One of these methodologies is the clinical surface electromyography, which allows recording and analyzing bioelectric activity useful for the diagnosis of congenital or acquired neuromuscular disorders, as well as determining the exact anatomic location of the problem and intensity. The electromyographic signal is a technique used for various applications in different areas such as neurology, rehabilitation, orthopedics, among others. This article presents the design of the stages of the development and implementation for the simulation of surface electromyographic (EMG) signals, by means of a non-invasive method, which provides the electrical activity of the muscles with great objectivity and promptness which are checked in upper limb muscles. For the implementation of the circuits, components of easy acquisition are used, contributing to the technological development of the country.

**Key words:** Electrophysiology, Electromyography, Electrodes, Muscles, Tendons, Operational Amplifier.

## Resumo

As técnicas e tecnologias para coleccionar, analisar, representar e armazenar dados médicos de forma confiável evoluíram rapidamente. Uma dessas metodologias é a eletromiografia de superfície clínica, que permite gravar e analisar a atividade bioelétrica útil para o diagnóstico de transtornos neuromusculares congênitos ou adquiridos, bem como determinar a localização anatômica exata do problema e da intensidade. O sinal eletromiográfico é uma técnica utilizada para várias aplicações em diferentes áreas, como neurologia, reabilitação, ortopedia, entre outros. Este artigo apresenta o design de cada uma das etapas de desenvolvimento e implementação para

simulação de sinais eletromiográficos de superfície (EMG), utilizando um método não-invasivo. Que proporciona a atividade elétrica dos músculos com grande objetividade e rapidez que são verificados nos músculos dos membros superiores. Para a implementação dos circuitos, São utilizados componentes fáceis de usar, contribuindo para o desenvolvimento tecnológico do país.

**Palavras-chave:** eletrofisiologia, eletromiografia, eletrodos, músculos, tendões, Amplificador Operacional

## I. INTRODUCCIÓN

Una señal electromiografía (EMG) es la representación gráfica bidimensional de los registros de la respuesta muscular o de la actividad eléctrica en respuesta a la estimulación nerviosa del músculo liso o estriado o partes del cuerpo humano en función del tiempo (Reaz, & Hussain, 2006). Generalmente, el registro de la actividad eléctrica de una parte del cuerpo humano se lleva a cabo a través de un electrodo, el cual es un elemento conductor, normalmente metálico, que recibe o transfiere corriente eléctrica de un cuerpo al entrar en contacto con el mismo; existen dos métodos para el uso de la electromiografía, uno es el superficial y el otro es el intramuscular (Kim, Kim, Kim & Yoo, 2017). El método superficial emplea un área en la cual el electrodo se puede utilizar para controlar la imagen general de la activación muscular, a diferencia de la actividad de sólo unas pocas fibras como se observa utilizando un EMG intramuscular.

El EMG tiene aplicaciones en estudios de patologías neuromusculares y trastornos del músculo esquelético (Akhtar, Aghasadeghi, Hargrove & Bretl, 2017). Según la metodología de Ductal, primero se registra la señal del músculo en reposo para detectar presencia de actividad espontánea que podría ser determinante en el diagnóstico de patologías asociadas y luego, se estudia la actividad electromiográfica de la

activación voluntaria del músculo (Verikas, Parker, Bacauskiene, & Olsson 2017).

La detección de potenciales EMG se logra mediante el uso de dos o más electrodos (uno de los cuales es generalmente un electrodo de referencia), que actúan como la interfaz entre el músculo (o su superficie) y los circuitos electrónicos activos encargados de amplificar y filtrar la señal eléctrica detectada débilmente (Clancy, Martinez-luna, Wartenberg, Dai & Farrell, 2017). La primera etapa de un amplificador EMG que corresponde a un sistema de amplificación diferencial o amplificador de instrumentación se denomina front-end analógico, y a menudo está físicamente unido al electrodo, con el objetivo de mejorar la inmunidad a la interferencia (Malanda, Rodríguez-falces, Porta & Navallas, 2017).

Por tal motivo, las señales del EMG son utilizadas para el desarrollo de prótesis de extremidades superiores e inferiores. El EMG cuenta con un alto grado de precisión, el cual permite valorar en qué estado se encuentran los nervios que controlan los músculos, permitiendo analizar el grado de comprensión o de sufrimiento de los nervios (Khushaba, Al-timemy, Kodagoda, & Nazarpour 2016). Por medio del EMG se puede identificar enfermedades musculares; como debilidades causadas por lesión de un nervio fijado o una debilidad por trastornos del sistema nervioso.

Este documento contiene la descripción general del sistema que hace posible el monitoreo de señales de electromiografía (EMG), la sección II presenta la descripción de las fases que integran el sistema, la sección III contiene los resultados obtenidos, la sección IV desarrolla la discusión alrededor de los resultados obtenidos, y, por último, se presentan las conclusiones del ejercicio investigativo alrededor del dispositivo diseñado.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

En la actualidad, las enfermedades musculares son cada vez más frecuentes, lo cual hace que se eleven los costos en la atención de la misma, por lo que se hace necesario contar con soluciones tecnológicas de auto monitoreo de fácil acceso y sobre todo confiable. El objeto de estudio de esta investigación fue el desarrollo de alternativas tecnológicas para hacer uso eficiente de las señales electromiográficas, mediante la creación de un dispositivo, ya que, en la mayoría de las veces, supera las posibilidades de uso por su costo y el desarrollo tecnológico de la infraestructura física que permite el ejercicio académico.

Los elementos de proyecto como el recurso humano y las formas de implementación, además del diseño (computacional y electrónico), la evaluación y el desarrollo de contenidos, hasta su aplicación, se deben manejar e integrar en el proyecto, bajo criterios de desarrollo y puesta en marcha, señalando el orden de intervención y ejecución de cada uno.

### A. Metodología de desarrollo

El proceso metodológico para la ejecución de este proyecto, conllevó cuatro fases, cada una comprendió el estudio de viabilidad económica y de infraestructura tecnológica. Este proyecto es de tipo investigativo,

el cual busca la creación de un dispositivo que interprete las señales electromiográficas. En el cumplimiento de los objetivos se plantean las siguientes fases:

#### Fase 1

- Revisión del estado del arte en el desarrollo de sistemas de monitoreo para la adquisición de señales electromiográficas.
- Selección de dispositivos físicos usados en el proyecto, teniendo en cuenta su función y rangos de operación.
- Caracterización de los dispositivos a usar
- Tarjeta de adquisición de datos.
- Diseño del circuito electrónico digital y análogo combinado con los elementos y actuadores del sistema.
- Diseño del controlador del sistema.
- Simulación del controlador en la plataforma Matlab y Proteus.
- Respuesta en lazo abierto y cerrado del sistema de control en físico.

#### Fase 2

- Diseño del algoritmo de control, con base en la información suministrada por los dispositivos hardware.
- Caracterización de dispositivos derivados de plataformas de hardware libre.

#### Fase 3

- Implementación del prototipo a nivel físico para la locación seleccionada como estudio de caso.
- Implementación del sistema de control a nivel físico sobre el prototipo.
- Implementación del sistema de transferencia de datos.

Fase 4

- Realización de pruebas de verificación y corrección de errores.
- Prueba de campo.
- Recolección y documentación de datos e información del proyecto.
- Socialización de la información obtenida.

B. Etapas de obtención de la EMG

Para la implementación del sistema de registro de señales EMG se realizan las etapas presentadas en la figura 1, las cuales permiten llevar un análisis minucioso de cada uno de los elementos que componen este sistema.



Figura 1. Fases del sistema básico de registro de señales EMG.

Fuente: Autores

Teniendo en cuenta la figura 2, la primera etapa del sistema es la adquisición de la señal electro-biológica, la cual es obtenida por medio de la diferencial de voltaje entre los dos electrodos. Para ello, es necesario realizar una ganancia la cual oscila entre la escala de 100 a 110; la segunda etapa consiste en la adecuación de la señal; la

tercera, se da la amplificación e inversión de la señal; la cuarta hace una rectificación de la señal; la quinta realiza un suavizado por medio de un filtro a la señal y una amplificación y por último se realiza una visualización de la señal EMG mediante una validación con un Electrocardiograma, con el fin de comprobar el margen de error.

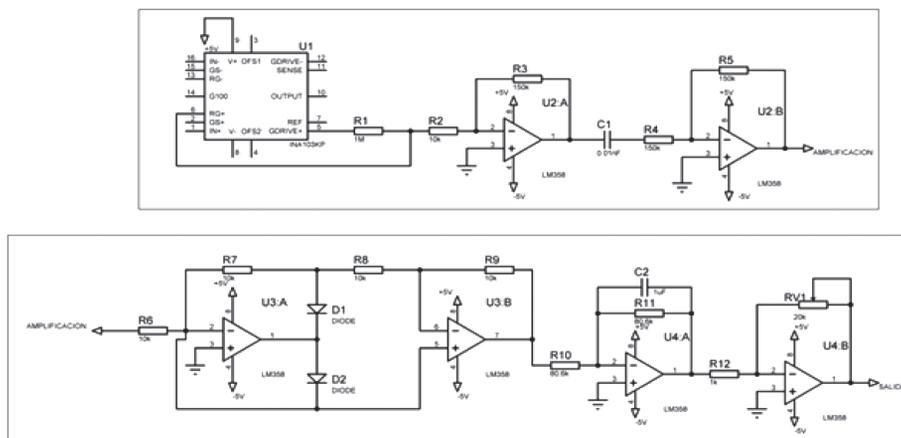


Figura 2. Sistema de señales electromiográficas

Fuente: Autores

A continuación, se realiza la descripción de cada una de las etapas que componen el amplificador de señales electrofisiológicas EMG.

### 1. Adquisición de la señal:

En esta etapa se usa el amplificador diferencial INA106 el cual permite hacer la adquisición de la señal y la amplificación, es decir, medir los pequeños voltajes diferenciales que se obtiene de los dos electrodos colocados en el músculo y darles una ganancia ( $G=110$ ); esta ganancia es obtenida al hacer uso de resistencias de megas entre el terminal inverso y la salida (Phillip, 2005). En la figura 2 se presentan diferentes arreglos de los amplificadores operacionales que permiten obtener la señal electro biológica, dar una ganancia y realizar un filtrado para así obtener la mejor simulación de la señal.

### 2. Acondicionamiento y amplificación

En este caso se utiliza un amplificador TL072 con una configuración inversora para generar una ganancia aproximada de -15, la cual ayuda a obtener una señal más definida, luego se añade un filtro de paso alto entre la salida del primer amplificador inversor y la entrada del segundo amplificador inversor para acoplar la señal de CA y filtrar el ruido de baja frecuencia, como se observa en la figura 2. El segundo amplificador presenta una configuración inversora con una ganancia de -1. Debido al acople que se presenta entre los dos amplificadores por cuestiones de señales corriente alterna (AC) y corriente directa (DC), se trabaja a una frecuencia que se determina de acuerdo a la relación.

### 3. Rectificación

En esta etapa se rectifica la señal usando un rectificador de onda completa activa. El

rectificador toma la porción negativa de la señal y la convierte en positivo por lo que toda la señal se encuentra dentro de la región de voltaje positivo. Es usado con un filtro paso bajo para entregar la señal de AC a un voltaje de DC.

Como se observa en la Figura 2, se realiza la inversión de la señal para que se tenga una señal puramente positiva; al realizar el análisis teórico, se obtiene que en la salida se va a tener el valor absoluto de la señal de entrada para ambas polaridades de la señal de entrada.

### 4. Suavizado

En esta etapa, ver figura 2, se utiliza la frecuencia de corte del filtro de la señal para así producir una señal sin ruido. Debido a que es un filtro activo, hay un efecto secundario de la inversión de la señal, luego es necesario invertir la señal una vez más, y si se requiere, se puede amplificar más si se desea utilizando otro circuito amplificador inversor.

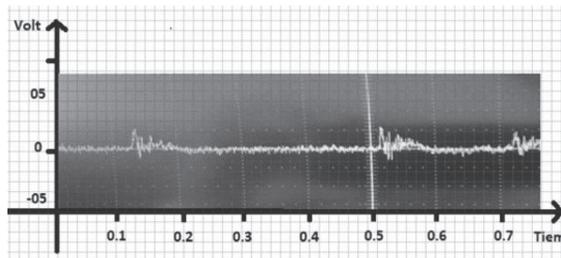
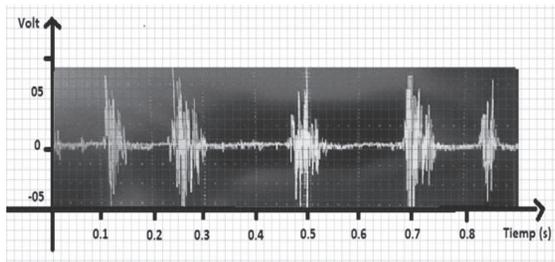


Figura 3. Señal de salida filtrada de la primera etapa.

Fuente: Autores

Las etapas de filtrado como se mostraron en la teoría anterior serán acondicionadas y medidas una a una. La figura 3 muestra la señal de salida de la primera etapa.

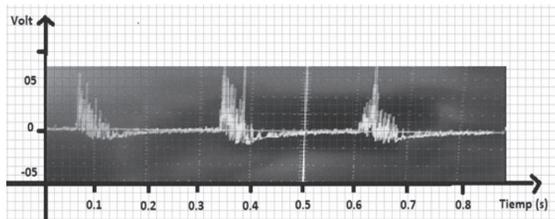
La señal anterior pasa a una nueva etapa de acondicionamiento y filtrado y se tiene como resultado la gráfica de la Figura 4.



**Figura 4.** Señal filtrada de la segunda etapa.

Fuente: Autores

Como se puede observar en la figura anterior la señal tiene una ganancia y comportamiento en amplitud distinta a la señal de entrada. Está lista para una nueva etapa de adquisición y filtrado, la figura 5 permite observar la nueva etapa, donde se puede observar la atenuación y bajo ruido, lista nuevamente para la nueva etapa.



**Figura 5.** Señal filtrada de la tercera etapa.

Fuente: Autores

El sistema de adquisición de señales de EMG puede ser capaz de adquirir información de los impulsos eléctricos de más de un músculo, se puede usar dos juegos de electrodos para monitorear un grupo muscular, por ejemplo, el grupo muscular del brazo; en este caso en particular, los electrodos se pueden colocar sobre el músculo bíceps y sobre el músculo tríceps, esto hace que se tengan varias respuestas o combinaciones de patrones de EMG al ejecutar algún movimiento complejo, por ejemplo flexiones, estirar, o rotar el brazo. El grupo de músculos que se puede encontrar en el brazo (ver figura 6) y que pueden

ser objeto para obtener señales electromiográficas son los siguientes:



**Figura 6.** Plano superficial de extremidad superior

Fuente: Imagexia, <http://www.imagexia.com/musculos/brazo-musculos/>

Los electrodos deben ser colocados en grupos de 3, dos colocados de forma paralela a las fibras musculares, y uno en un grupo muscular diferente, preferiblemente un hueso. Los electrodos bipolares EMG de superficie se ubican a una distancia de 20mm y 30mm, cuando los electrodos bipolares están siendo aplicados sobre músculos relativamente pequeños, la distancia entre éstos no debe superar 1/4 de la longitud de la fibra muscular. De esta forma se evitan los efectos debidos a tendones y terminaciones de las fibras musculares.

Las señales electromiográficas dan una muestra de la actividad eléctrica en los músculos durante una contracción. Sin embargo, estas señales están altamente relacionadas con la posición del electrodo sobre el músculo de interés. El objetivo al ubicarlos es conseguir una ubicación estable donde se pueda obtener una buena señal electromiográfica.

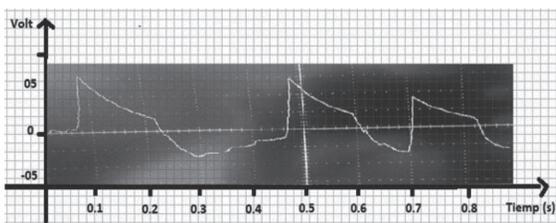


Figura 7. Señal filtrada de la última etapa.

Fuente: Autores

Como resultado final en la etapa de filtrado la señal se adecua correctamente como lo muestra la figura 7, esta señal es la que sirve para la disposición del sistema de señales electromiográficas, para que los expertos puedan analizar el diagnóstico generado por el dispositivo y así lo utilicen en la toma de

decisiones. Los electrodos se pueden ubicar sobre la superficie de la piel de manera longitudinal: esto es, entre la terminación de la neurona motora que envía el impulso eléctrico al músculo (aproximadamente línea media del músculo) y el tendón distal, o transversal: sobre la zona media del músculo, de tal forma que la línea que une los electrodos, sea paralela con el eje longitudinal del músculo (Adel & Luykx, 1991).

### III. RESULTADOS

Los parámetros de entrada y salida manejados en cada etapa del circuito del sistema EMG a implementar están descritos a continuación en la tabla 1:

Tabla 1. Resultados de la implementación del sistema de registro de señales de EMG

Etapa	Parámetro de entrada	Parámetro de salida
Adquisición	En este caso se obtiene la diferencia de potencial que se presenta por la señal electromiografía	Se obtiene una tensión con ganancia, que permite amplificar la señal electromiografía
Amplificación	Se obtiene la señal de la etapa de adquisición y se da una ganancia de -15 en esta etapa también se hace la inversión de la señal	Se obtiene la señal adquirida con una ganancia de 15 e invertida esta señal para eso se pasa por un arreglo inversor con ganancia de -1 para obtener la señal.
Rectificación	La señal de entrada de esta etapa es de característica AC y por ello consta de partes positiva y negativa.	La señal es tratada con un rectificador de onda completa para que salga sólo positiva y filtrada para que sea de tensión continua.
Filtrado	La señal posee cierta cantidad de ruido y por lo tanto es necesario disminuirlo.	Se implementa un filtro pasa bajo, lo que elimina el ruido, pero invierte la señal, luego debe invertirse de nuevo.

Fuente: Autores

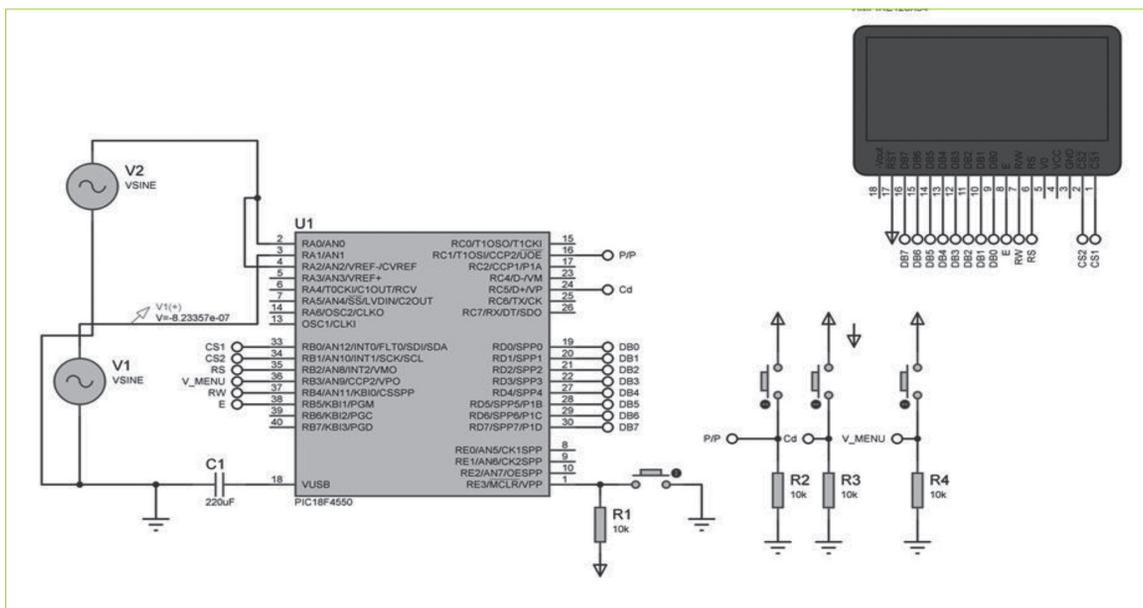


Figura 8. Diseño electrónico del prototipo.

Fuente: Autores

El diseño del circuito eléctrico del dispositivo para la captura de señales Electromiográficas propuesto se puede ver en la figura 8.

Con el sistema de registro de señales EMG es posible desarrollar un prototipo de Biofeedback (proceso que permite a un individuo aprender cómo cambiar la actividad fisiológica a efectos de mejorar la salud y el rendimiento) (Villamizar & Sc, 2012). El Biofeedback es una técnica utilizada en Psicología Clínica, basada en la generación de estímulos biológicos y físicos en un ser humano (como el calor, el hambre o un pinchazo), los cuales disparan alguna conducta de interés (como la sudoración, la salivación o alguna manifestación de dolor) (Hoz, Franklin, Marques & Gallego, 2015); tales conductas pueden ser medidas a través de variables fisiológicas con la finalidad de diseñar estrategias para reforzar o suprimir conductas en la persona, de manera tal que,

pueda aprender a controlar ciertas funciones fisiológicas como tratamiento para a la conducta de interés.

Otra aplicación del sistema de registro de señales EMG es la utilización como herramienta de diagnóstico y tratamiento para nervios musculares que no cumplen su función normal al no enviar la señal correspondiente para que el músculo reaccione y actúe como debería hacerlo, por lo cual estas señales podrían procesarse para que un sistema externo pueda suplir la labor de movimiento requerida.

#### IV. DISCUSIÓN

Con el fin de optimizar el sistema de adquisición de señales de EMG es importante tener en cuenta las mejoras establecidas en cada una de sus fases de implementación, estas son presentadas en la tabla 2.

**Tabla 2.** Mejoras realizadas a cada fase.

Etapa	Mejoras
Adquisición	<p>Con el INA106, la resistencia que va entre los pines 5 y 6, y la resistencia del pin 1, se puede configurar la ganancia, es decir, que la ganancia proporcionada variará de acuerdo a los parámetros dados para esta etapa.</p> <p>Con esto, se tendrá que la pequeña señal de referencia de los electrodos pueda ser más legible y adecuada para su tratamiento.</p>
Amplificación	<p>Esta etapa puede ser mejorada de acuerdo a necesidades específicas, configurando las resistencias a implementar en las dos etapas de los amplificadores inversores se tendrá ganancias dadas por las relaciones previamente descritas.</p> <p>Esto dará a la señal una intensidad y amplitud más legible para poder llevar la señal a una lectura y procesamiento más efectivo.</p> <p>Las características del capacitor de acople y las resistencias utilizadas acá, darán al sistema una determinada frecuencia de trabajo, por ello al variar esta capacitancia se tendrá una frecuencia deseada. Adicionalmente es muy útil este acople en la eliminación de error de desplazamiento del Vd. de la señal.</p>
Rectificación	<p>La rectificación cumple que generalmente el nivel DC que se obtiene a partir de una entrada sinodal puede mejorar al 100% mediante el proceso de rectificación de onda completa.</p>
Filtrado	<p>Las características del capacitor de la etapa de filtraje de la señal junto a las resistencias implementadas, darán al sistema una frecuencia de trabajo en relación a dichos parámetros establecidos.</p> <p>Esto es muy útil para la eliminación de ruido en la señal. Además, a través del circuito amplificador inversor si se desea se le puede dar más ganancia a la señal en esta etapa.</p>

Fuente: Autores

Se podría implementar una etapa compuesta por un circuito microcontrolador el cual cuenta con A/D, estos microcontroladores permiten realizar la conversión directamente sin elementos externos a él. Para este caso una de las formas más adecuadas para tener una mayor rapidez en la conversión sería útil utilizarlas interrupción para obtener un periodo de muestreo más rápido y no esclavizar al

microcontrolador a esperar a que se realice la conversión (Boschetti, 2002).

El desarrollo del proyecto pretendió influir positivamente en la implementación de dispositivos electrónicos en el área de la medicina, en esta oportunidad un medidor de señales electromiográficas implementado sobre una plataforma programable (Microcontrolador). El objeto del desarrollo es realizar la implementación electrónica con visualización en

tiempo real por medio de una pantalla gráfica de cristal líquido (GLCD) para la adquisición de biopotenciales y lograr tratamiento de señales mediante algoritmos y modelos matemáticos, esto con el propósito de determinar patologías o síntomas adversos en la salud de un paciente. En el ámbito médico existen dispositivos y elementos de diferentes fabricantes involucrados en el desarrollo de procedimientos médicos, los cuales, son principalmente concebidos para la generación de imágenes y análisis de información, junto a sistemas de información utilizados, implica tener deficiencias respecto a la comunicación y transmisión de información (Moreno, González & Ballesteros, 2015), por lo que se requiere un gran esfuerzo en la implementación de estándares y homogeneización de esta información.

## V. CONCLUSIONES

El diseño del sistema que aquí se describe da solución a una alternativa de monitoreo de señales electromiográficas utilizando una técnica no invasiva a costo reducido y fácil mantenimiento. En la electromiografía (EMG) no invasiva, son muchas las variables que se deben tener en cuenta, de acuerdo al tipo de aplicación que se desee. En un electromiograma básicamente para el estudio de la señal, los parámetros cambian dependiendo de la aplicación, ya sea el simple estudio de la señal o el estudio de la velocidad de conducción.

La unión de otro tipo de subsistemas incorporados al subsistema (EMG) diversifica las aplicaciones del mismo; al punto, que es posible realizar procesos de bio-feedback con (EMG) para aplicaciones como son la reducción de estrés, tratamientos de incontinencia, hasta el entrenamiento de amputados para prótesis mioeléctricas. Los subsistemas se pueden ir complejizando, en la medida que se requieren

otras aplicaciones, por ejemplo, el electro estimulación como subsistema unido a la actividad (EMG) y bio-feedback, puede producir un orden de aplicación importante en la fisioterapia.

La tecnología debe promover esquemas de incursión en beneficio de la salud y del desarrollo tecnológico local para lograr aproximaciones científicas alrededor de la Bio-Ingeniería. La adaptación de visualización en tiempo real y la posibilidad de acceso a información por medio de señales obtenidas directamente del cuerpo humano, son factores que permiten potenciar los niveles de desarrollo para pensar implementaciones más complejas en la ejecución de tareas en el área médica. Una aplicación futura puede estar encaminada a la Telemedicina y al diagnóstico asistido por ordenador con el fin de determinar patologías tempranas en lugares remotos o de difícil acceso al servicio profesional en salud.

## VI. REFERENCIAS

- Laplante, Phillip A. (2005). *Comprehensive dictionary of electrical engineering*. Boca Raton, FL: Taylor & Francis.
- Reaz, M., & Hussain, F., (2006). *Techniques of EMG Signal Analysis: Detection, Processing, Classification and Applications*. Biological Procedures.
- Adel, R., & Luykx. (1991). *Electroterapia de frecuencia baja y media*. Netherland: Editorial Alfa.
- Akhtar, A., Aghasadeghi, N., Hargrove, L., & Bretl, T. (2017). Estimation of distal arm joint angles from EMG and shoulder orientation for transhumeral prostheses. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 35, 86–94. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2017.06.001>

- Boschetti, G. (2002). *¿Que es la electroestimulación? Teoría, práctica y metodología del entrenamiento.*, Barcelona: Editoria Paidotribo.
- Clancy, E. A., Martinez-luna, C., Wartenberg, M., Dai, C., & Farrell, T. R. (2017). Two degrees of freedom quasi-static EMG-force at the wrist using a minimum number of electrodes q. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 34, 24–36. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2017.03.004>
- Hoz, E. D. La, Franklin, J., Marques, D. A., & Gallego, O. (2015). Utilidad del Biofeedback Perineal en las disfunciones del piso pélvico.
- Khushaba, R. N., Al-timemy, A., Kodagoda, S., & Nazarpour, K. (2016). Combined influence of forearm orientation and muscular contraction on EMG pattern recognition. *Expert Systems With Applications*, 61, 154–161. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2016.05.031>
- Kim, B., Kim, L., Kim, Y., & Yoo, S. K. (2017). ScienceDirect Cross-association analysis of EEG and EMG signals according to movement intention state. *Cognitive Systems Research*, 44, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.cogsys.2017.02.001>
- Malanda, A., Rodriguez-falces, J., Porta, S., & Navallas, J. (2017). Biomedical Signal Processing and Control Motor unit profile: A new way to describe the scanning-EMG potential, 34, 64–73. <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2016.12.020>
- Moreno, O., González, J. & Ballesteros, J. (2015). Transformación de archivos DICOM a formatos XML, JPEG y PNG. *Revista Científica*, 21, 71-80. Doi: 10.14483/udistrital.jour.RC.2015.21.a7
- Verikas, A., Parker, J., Bacauskiene, M., & Olsson, M. C. (2017). Exploring relations between EMG and biomechanical data recorded during a golf swing, 88, 109–117. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2017.06.041>
- Villamizar, J., & Sc, P. M. (2012). Brazo robótico controlado por electromiografía.
- Laplante, Phillip A. (2005). *Comprehensive dictionary of electrical engineering*. Boca Raton, FL: Taylor & Francis.
- Reaz, M., & Hussain, F., (2006). *Techniques of EMG Signal Analysis: Detection, Processing, Classification and Applications*. Biological Procedures.