



# ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

## Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

### DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MONITOR ELECTROMIOGRÁFICO BASADO EN LA TECNOLOGÍA DE LOS MICRO-CONTROLADORES

Luis Alfonso Loayza Feijoo <sup>(1)</sup>, Ángel Andrés Ramírez García <sup>(2)</sup>, MSc. Miguel Eduardo Yapur Auad <sup>(3)</sup>  
Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación  
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)  
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral  
Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador  
luis.loayza.dielec@gmail.com <sup>(1)</sup>, angelandresr@myldsmail.net <sup>(2)</sup>, myapur@espol.edu.ec <sup>(3)</sup>

#### Resumen

*Este trabajo presenta el diseño, construcción y montaje de un sistema para la adquisición de señales electromiográficas provenientes de los músculos del cuerpo humano. La electromiografía es el estudio electrofisiológico del sistema neuromuscular, que consiste en el registro, mediante electrodos, de los potenciales eléctricos que se producen en el músculo esquelético cuando éste se activa. Se la usa para evaluar el estado de los nervios que controlan la musculatura y permite detectar, con precisión, el grado de compresión o de sufrimiento de los nervios; además ayuda a medir la velocidad de desplazamiento de un estímulo eléctrico. Para la realización del electromiograma se colocan los electrodos de superficie, los cuales son conectados al amplificador que mide la diferencia de potencial eléctrico entre los electrodos; luego se filtra dicho potencial y por último la señal es visualizada en el computador.*

Palabras Claves: Músculos, señales electromiográficas, electrodos.

#### Abstract

*This paper presents the design, construction and installation of a system for the acquisition of electromyographic signals from the muscles of the human body. Electromyography is the electrophysiological study of the neuromuscular system, which registers, by means of electrodes, electrical potentials that occur in skeletal muscles when activated. It is used to check the condition of the nerves that control muscle and it allows to accurately detect the degree of compression or nerve pain; also helps in measuring the speed of movement of an electrical stimulus. For the realization of the electromyogram on the skin surface electrodes are placed, and connected to the amplifier that measures the difference of electrical potential between the electrodes; then this potential is filtered and finally the wave is visualized in the computer.*

Keywords: muscles, EMG signals, electrodes.

## INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se describe el desarrollo, diseño y montaje de un electromiógrafo, cuya función es adquirir las señales eléctricas provenientes de los músculos y mostrarlas en una computadora. En términos médicos, este sistema es para diagnosticar anomalías o deficiencias motoras de las personas.

En el primer capítulo se estudian los aspectos generales del electromiograma. El diseño del electromiógrafo se basa en cuatro etapas importantes como son: Pre-amplificación, filtrado, amplificación y rectificación de media onda, los cuales son descritos respectivamente en el capítulo dos. En el capítulo tres se describe la metodología que se debe seguir para la obtención de la señal electromiográfica, con resultados confiables y precisos, por último en el capítulo cuatro se muestra la obtención de resultados y análisis acerca de los mismos.

### 1. Conceptos básicos.

Se detallarán varios conceptos importantes sobre el estudio de la electromiografía, como reobase y cronaxia, así como una breve historia del EMG, tipos de electrodos y aplicaciones.

#### 1.1 Breve Historia del Electromiógrafo.

Los antecedentes históricos del registro de actividad eléctrica se remontan a mediados del siglo XVII, cuando el médico y científico italiano Francesco Redi, demostró la existencia de un músculo especializado capaz de generar electricidad en el pez raya. También en el campo de la experimentación animal, John Walsh reportó la generación de electricidad por la musculatura de una anguila en 1773.

Posteriormente Luigi Galvani, en 1786, realizó sus famosos experimentos en una máquina electrostática acoplada a ranas, concluyendo la existencia de electricidad en la musculatura de los organismos vivos. En el siglo XIX Guillaume BA Duchenne

realizó el primer trabajo sobre la dinámica y función del músculo, y construyó un equipo de estimulación neuromuscular, en sus comienzos con fines terapéuticos e investigativos.

A mediados de la década de los 80, las técnicas de integración en electrodos habían avanzado lo suficiente, permitiendo la producción de amplificadores pequeños. En la actualidad, un número de amplificadores adecuados están disponibles comercialmente. A principios de la década de los 80, los cables que manejan señales en el rango deseado de los microvoltios también estuvieron disponibles; la reciente investigación ha sido una mejor comprensión de las propiedades de registro de la señal electromiográfica.

### 1.2 Electromiografía

La captación de las señales eléctricas producidas por los músculos durante una contracción muscular se conoce como electromiografía. Las señales electromiográficas son generadas por el intercambio de iones a través de las membranas de las fibras musculares, producido por una contracción muscular; normalmente un músculo consta de miles de células individuales, envueltas en tejido conectivo. Las fibras musculares están organizadas en haces envueltos llamados fascículos, que se encuentran en tejido conectivo.

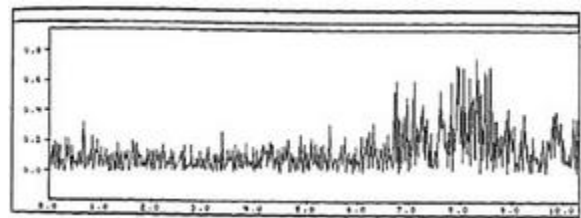


FIGURA 1.1. Señal EMG registrada en el brazo

La electromiografía consiste básicamente en la adquisición, registro y análisis de la actividad eléctrica; generada en nervios y músculos, a través de la utilización de electrodos. Las mediciones extraídas de la señal electromiográfica proporcionan una información muy valiosa acerca de los patrones de activación muscular.

### 1.3 Reobase y Cronaxia

Cronaxia es el intervalo de tiempo requerido para una corriente eléctrica del doble de la fuerza de la reobase, la cual sirve para dar una estimulación a un músculo o una neurona. Reobase es la corriente mínima con duración del impulso indefinido, la cual sólo estimula los músculos o los nervios.

En medicina la cronaxia y los valores de excitabilidad son de gran aporte a la electromiografía, ya que es una técnica para la evaluación y registro de la actividad eléctrica transmitida por el músculo esquelético. La reobase necesariamente no puede ser la corriente eléctrica de elección. La electromiografía se utiliza para el diagnóstico de las neuropatías, miopatías y enfermedades de unión neuromuscular.

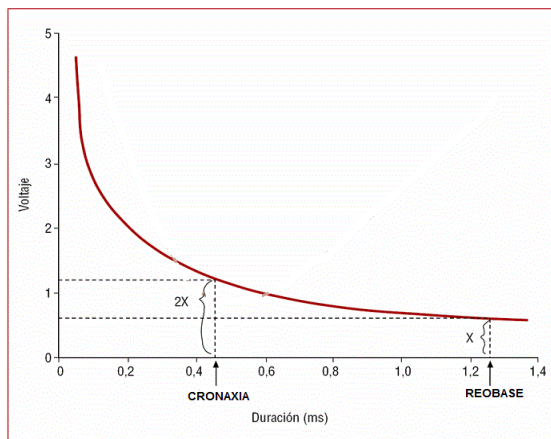


FIGURA 1.2. Voltaje de reobase y cronaxia.

### 1.4. Aplicaciones de la señal EMG

Las señales electromiográficas se utilizan en muchas aplicaciones clínicas y biomédicas. La electromiografía se utiliza como una herramienta de diagnóstico para la identificación de las enfermedades neuromusculares, como la evaluación de dolor lumbar, la kinesiología, y los trastornos de control de motores. Las señales electromiográficas también se utilizan como una señal de control para los dispositivos protésicos de mano, brazos y extremidades inferiores; también como una señal de

control de un dispositivo electrónico, como el teléfono móvil o PDA.

## 2. Principios del diseño del circuito.

A continuación se consideran varios aspectos para diseñar un electromiógrafo, uno de éstos es el valor relativamente bajo que da la lectura de los electrodos, por lo que se empieza colocando la etapa de pre-amplificación, la etapa de filtrado, luego un amplificador para la ganancia que junto a un rectificador de media onda y la correcta adquisición de datos a la PC, permite ver la señal EMG.

### 2.1 Mecanismo para incrementar la amplitud de una señal eléctrica.

Se usa el amplificador de instrumentación AD620 ya que está especialmente construido para propósitos de instrumentación médica; su CMRR es mayor que 100[db] a casi 1[KHz] de frecuencia; su compensación máxima de voltaje es de 50[uV], lo que lo hace un amplificador de instrumentación de gran exactitud, con un rendimiento único en comparación con otros de su clase.

La ganancia de la etapa de pre-amplificación se divide en dos, la ganancia del amplificador de instrumentación y la ganancia de un amplificador operacional en configuración no inversora.

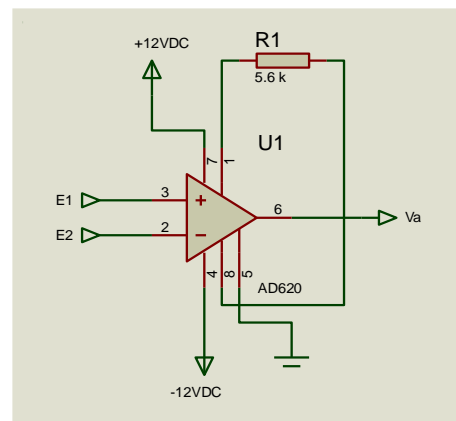


FIGURA 2.1. Amplificador de instrumentación AD620.

## 2.2 Mecanismo analógico para eliminar impurezas de una señal eléctrica.

Se diseñó un filtro activo pasa-banda de 20 a 500[Hz] a partir de dos filtros activos de segundo orden Butterworth con la configuración clásica de Sallen-Key, con la finalidad de obtener las señales de EMG, las cuales se encuentran en ese rango de frecuencias. El filtro pasa-banda se diseñó en forma de cascada, es decir, primero se presenta un filtro pasa-alto dejando pasar frecuencias mayores a 20[Hz] y a la salida de éste se conecta un filtro pasa-bajo para evitar el paso de frecuencias mayores de 500[Hz].

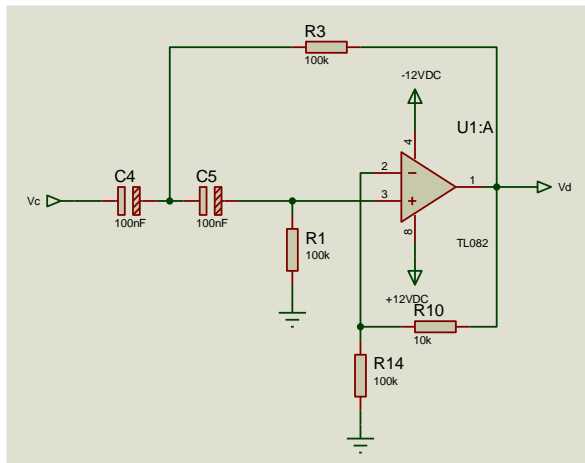


FIGURA 2.2. Filtro pasa-bajo

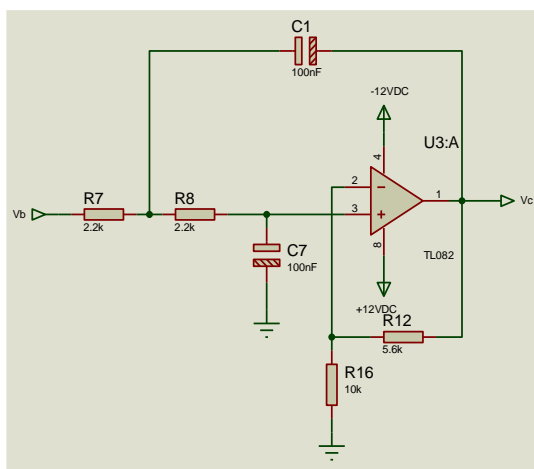


FIGURA 2.3. Filtro pasa-alto

## 2.3 Mecanismo para acondicionar una señal eléctrica.

Esta etapa estabiliza la señal filtrada y la amplifica por un factor de 9.2.

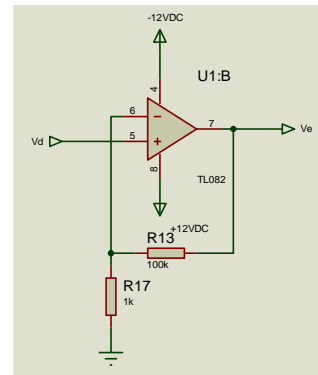


FIGURA 2.4. Amplificador no inversor.

Un solo potencial de acción está compuesto por una señal con un componente positivo y uno negativo; es por esta razón que se eligió el método de rectificación de media onda, así se evita tomar los componentes negativos y se toman sólo los positivos por cada potencial de acción.

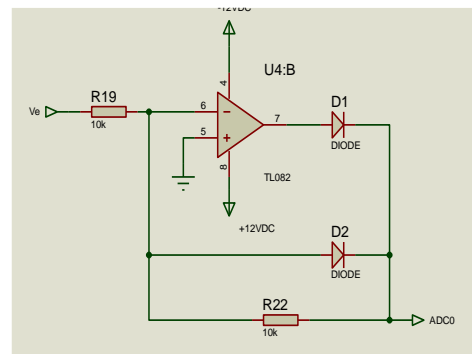


FIGURA 2.5. Amplificador no inversor.

## 2.4 Mecanismo para convertir una señal eléctrica analógica a digital.

Para este proyecto se ha elegido la tarjeta de adquisición de datos M.E.I&T 04 USB de IDETEC, M.E. I&T 04 USB la cual consta de un módulo de

entrenamiento y desarrollo que permite realizar múltiples tareas con el micro-controlador 16F886.



FIGURA 2.6. Módulo M.E.I&T 04 USB de IDETEC.

## 2.5 Elección, adquisición y visualización de las señales electromiográficas por medio de LabVIEW.

Para esta etapa se selecciona la plataforma de LabVIEW, ya que presenta en sus herramientas un puerto llamado NI VISA Serial, el cual permite configurar el puerto serial de la PC, con un baud rate, que es la tasa de transferencia de datos del micro-controlador, la cual es de 19200 [bits/seg].

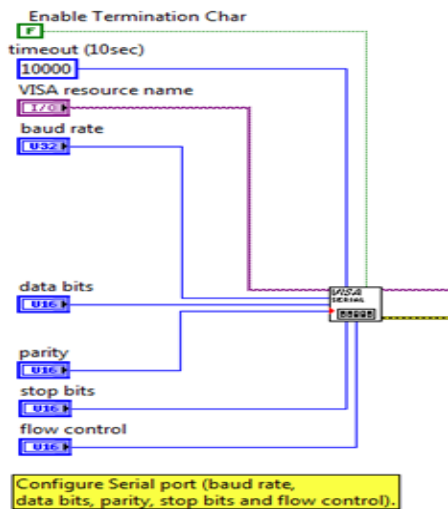


FIGURA 2.7. Puerto de configuración VISA serial.

El bloque VISA Read es el que se encarga de leer el dato que hay en el puerto, y luego enviar este dato en forma de string.

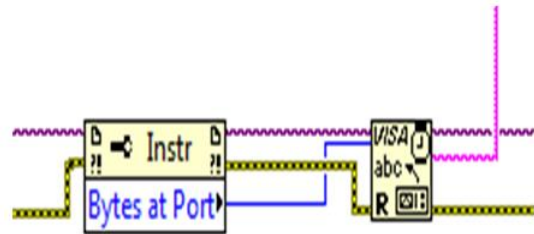


FIGURA 2.8. Puerto de configuración VISA read

Cada uno de estos bloques se encarga de convertir, independientemente por verdadero a un dato analógico, la señal EMG integrada y la señal EMG pura, ya que el PIC convierte la señal analógica a un dato digital; es decir, si la entrada analógica es 0 V bota 0 y si es 5 V el dato a la salida es 255, por lo que en este bloque se divide el resultado para 255, obteniendo así el procedimiento contrario para hacer la conversión digital-analógica.

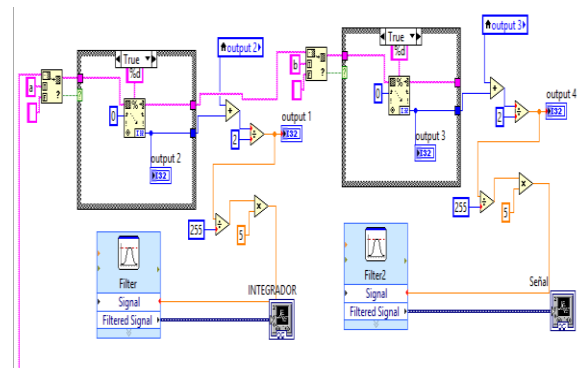


FIGURA 2.9. Recepción serial y configuración digital analógica.

## 3. Implementación del electromiógrafo.

En las secciones anteriores se mostró la forma como se adquiere la señal EMG del sistema fisiológico, para que ésta pueda ser procesada por una PC; pero para la captación de esta señal, es necesaria la utilización de electrodos que son los encargados de la adquisición de biopotenciales, en este caso, para detectar el potencial de acción de los músculos.

### 3.1 Posicionamiento de los electrodos.

La capa de cloruro de plata permite que la corriente emitida por el músculo pase mucho más libremente a través de la junta entre el gel electrolítico y el electrodo, lo cual implica que el ruido eléctrico es menor comparado con los electrodos metálicos.

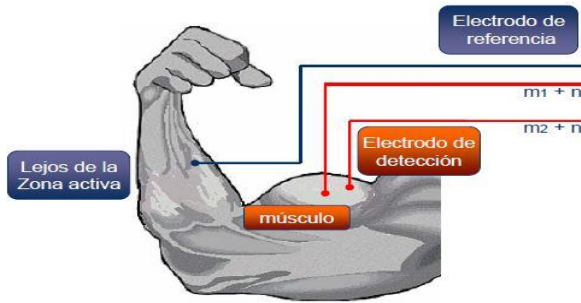


FIGURA 3.1. Ubicación de los electrodos.

Cabe recalcar que este cada electrodo es un punto de registro; en proyecto solo se utilizan 3 electrodos, siendo uno de referencia eléctrica y los otros dos captan la señal.

### 3.2 Equipo completo del electromiógrafo.

Luego de tener la correcta ubicación de los electrodos, se los acopla al circuito EMG para así poder visualizar la señal electromiográfica en la pantalla de la PC.

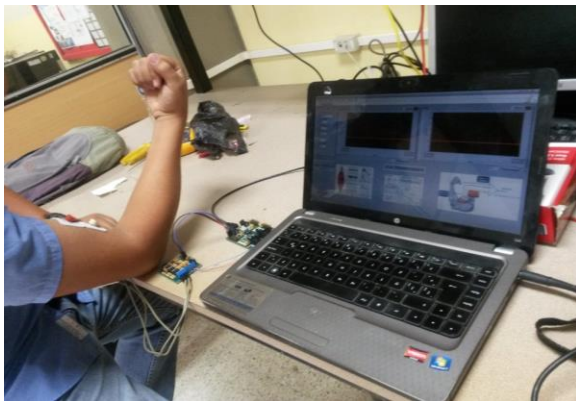


FIGURA 3.2. Equipo completo del EMG.

## 4. Gráficas y Resultados.

A continuación se muestran dos señales; la primera es la señal EMG normal y la segunda es la señal integrada, ambas con el músculo bíceps sometido a una tensión; este movimiento genera más actividad poblacional de potenciales de acción así como el aumento de la amplitud coincidiendo estas dos señales entre 3 y 4 voltios.

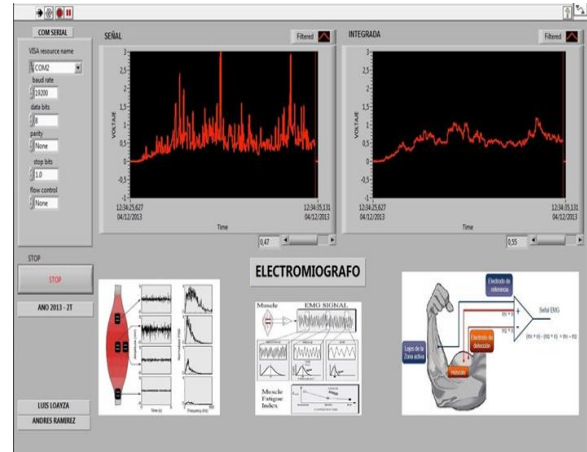


FIGURA 4.1. Gráfica del músculo bíceps en LabVIEW.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las conclusiones que se obtuvieron se mencionan a continuación:

El microcontrolador, PIC 16F866, es parte fundamental del desarrollo de este proyecto, debido a que su función es tomar los datos analógicos enviados por el circuito electromiógrafo y luego procesarlos a datos digitales, los cuales adquiere la PC mediante el software de LabView, y se puede observar el resultado final en la PC.

Se pudo obtener la señal EMG lo suficientemente ampliada y filtrada, lo cual permitió observar, mediante el software utilizado, la reacción que hay en el músculo al momento que el brazo está sin flexionar, semiflexionado o totalmente flexionado.

La utilización en el diseño e implementación del proyecto de la etapa de rectificación es muy

importante, ya que ésta permitió eliminar la parte negativa de la señal, para que luego el micro-controlador, el cual adquiere señales entre 0 y 5 V, pueda convertirla a una señal digital.

Las recomendaciones al momento de hacer el diseño y pruebas son las siguientes:

Se recomienda utilizar los electrodos de superficie Ag/AgCl para este tipo de pruebas en electromiografía, debido a su facilidad de uso y bajo costo.

Se recomienda usar el gel conductor antes de colocarse los electrodos, para que haya una mayor conductividad, así la señal puede ser receptada de la mejor manera.

Se recomienda utilizar siempre una tierra para el paciente; es por esto que se utiliza un tercer electrodo, el cual es el de referencia en el sistema y se ubica en cualquier parte del cuerpo.

## REFERENCIAS

- [1] Barraquer-Bordas L. Neurología Fundamental. Barcelona: Ed. Toray SA; 1963. p. 502-67.
- [2] Thibodeau, Patton, “Estructura y función del cuerpo humano”, Editorial Elsevier, 13ª Edición.
- [3] Gowitzke A. Barbara, Milner Morris, “El cuerpo y sus movimientos bases científicas”.
- [4] Gartner P. Leslie, Hiart L. James, “Texto Atlas de Histología”, Mc Graw Hill, segunda edición.
- [5] Guyton , Arthur y Hall, John E. “Tratado de fisiología medica: Fisiología de la membrana, del nervio y del músculo”. España: McGraw-Hill interamericana, decimoprimer edición.
- [6] Electrofisiología humana. Un enfoque para ingenieros. Pilar Castellanos Ábrego / Rafael Godínez Fernández / Joel Jiménez Cruz /Verónica Medina.
- [7] Adel S. Sedra y C. Smith “Circuitos microelectrónicos”.
- [8] Cameron John R. “Medical physics”.
- [9] Franco Sergio, “Diseño con amplificadores operacionales y circuitos integrados analógicos”

[10] Hermens, H. B. Frenks, “SENIAM 5: the state of the art on sensors and sensors placement procedures for surface electromyography”.

[11] Hoja de datos del AD620 ANALOG DEVICES.

[12] Khandpur R.S. “Biomedical instrumentations. Technology and aplicaciones”, MacGraw-Hill.

[13] Merletti, Roberto “Electromyography – Physiology, Engineering, and Noninvasive Applications”. Editado por: Merletti, Roberto; parker, Philip 2004 John Wiley & Sons.

[14] Neuman, M. R. “Biopotential Electrodes”. The Biomedical Engineering Handbook: Second Edition. Ed. Joseph D. Bronzino Boca Raton: CRC Press LLC, 2000.

[15] Searle A. and L Kirtup “A direct comparison of wet, dry and isolating bioelectric recordings electrodes”. Departament of Applied Physics, university of technology, Sydney, Broadway, NSW, 2007, Australia.

[16] Hoja de datos de M.E. I&T de IDETEC.

[17] Amplificador de instrumentación: Disponible en <http://www.wikipedia.com>.

[18] Electrodo de superficie: Disponible en <http://www.3m.com>