

# Acondicionamiento y Aplicación de Señales Mioeléctricas con Arduino

D. Rojas-Balbuena<sup>1</sup>, C. E. Grajeda-Soto<sup>2</sup>, L. O. Alpizar-Garrido<sup>1</sup>, M. Galindo-Mentle<sup>1</sup>,  
M. A. Islas-Salas<sup>2</sup>

**Resumen**— El presente trabajo describe el desarrollo de un acondicionamiento de señales mioeléctricas usando una de las tarjetas que se ha hecho muy popular en los últimos años “Arduino”. Las señales mioeléctricas se ocupan para muchas aplicaciones biomédicas, pero en particular el tema que nos interesa es la manipulación de dispositivos electro mecánicos con fines de rehabilitación o prótesis semi/totalmente automatizadas. Este proyecto está orientado al procesamiento de las señales mioeléctricas principalmente, en una determinada área del antebrazo humano, utilizando electrodos de plata superficiales para su detección, una tarjeta comercial que amplifica y filtra el ruido electrostático y la tarjeta Arduino, la cual se encarga de procesar la señal obtenida para poder mover y controlar un gripper de tres dedos como actuador.

**Temas claves**—señales mioeléctricas, Arduino, electrodos, acondicionamiento, prótesis, mano robot.

**Abstract**— This paper describes the development of a myoelectric signal conditioning using one of the cards has become very popular in recent years "Arduino". The myoelectric signals involved for many biomedical applications, but particularly the topic that interests us is the electro mechanical handling devices for rehabilitation, semi or fully automated prosthesis. This project is oriented mainly processing of myoelectric signals in a specific area of the human forearm, using silver surface electrodes for detection, a business card that amplifies and filters the electrostatic noise and Arduino board, which is responsible for processing the signal obtained to move and control a three-finger gripper.

**Keywords**—myoelectric signals, Arduino electrodes, prosthetics, robot hand.

## I. INTRODUCCIÓN

El cuerpo humano, genera diferentes tipos de señales eléctricas, dependiendo de la parte que la genere, estas pueden clasificarse en oculográficas, electroencefalográficas, electrocardiográficas y electromiográficas. Estas últimas generadas por la contracción de los músculos del cuerpo, en brazos, piernas, abdomen, etc. y son producidas por el intercambio de iones a través de las membranas musculares. A la detección de estas señales, se la conoce como electromiografía y este es el propósito de este trabajo, detectar señales para utilizarlas como medio de control de dispositivos electro-mecánicos o para tener una comunicación hombre máquina [1].

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.

Según Sarmiento en 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”.

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

<sup>1</sup> D. Rojas-Balbuena dorian\_915@hotmail.com, luisoctavioalpizar@outlook.com, gmentle\_16@yahoo.com.mx. Unidad Académica Mantenimiento Área Industrial y Unidad Académica TIC, Universidad Tecnológica de Xicotepéc de Juárez, Av. Universidad Tecnológica N° 1000. Col. Tierra Negra. Xicotepéc de Juárez, Puebla, México. C.P. 73080.

<sup>2</sup> carlos\_lgs@live.com.mx, angelica\_is@live.com.mx. Ingeniería en Mecatrónica e Ingeniería en Sistemas Computacionales, Instituto Tecnológico Superior de Huachinango, Av. Tecnológico No. 80, Col. 5 de Octubre. Huachinango, Puebla, México. C.P. 73173.

la cual se le dio el nombre de prótesis Mioeléctrica (mio= músculo, eléctrica= electrónica) [2].

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

Para la elaboración del presente trabajo se utilizaron electrodos superficiales de cloruro de plata-plata (Ag-Ag Cl) con pasta de cloruro [3], kit de sensores musculares V3 (tarjeta comercial) [4], un plug de audio con cables especiales para electrodos, tela de plata, una batería de 6volts, una tarjeta Arduino UNO R3, IDE de Arduino, una laptop o CPU, un cable USB, jumpers, programa PXL-DAQ y un gripper con servomotor.



Figura 1. Tarjeta Arduino UNO R3.

### A. Electrodo superficiales

Los electrodos superficiales son colocados sobre la piel, estos electrodos son principalmente superficies de metal, sin embargo, debido al estar en contacto directo con la piel hay que tomar ciertas consideraciones: la piel es un tejido conductor cuyo material intracelular y extracelular está compuesto de soluciones electrolíticas, en la cual la corriente es transportada por iones; mientras que el metal es un material altamente conductor, en el cual la corriente es transportada por electrones, en consecuencia, la interfaz electrodo piel es en sí muy ruidosa.

Existen varios tipos de electrodos de superficie, estos se dividen principalmente en dos grandes grupos: electrodos secos y electrodos húmedos. Los electrodos húmedos son aquellos en los que entre la placa de metal y la piel se encuentra una sustancia electrolítica o gel conductor, esto se hace con el fin de minimizar el ruido intrínseco que se genera entre el contacto de la piel y el metal, este gel conductor mejora la conductividad y el flujo de la corriente y por esa razón se determinó que en este proyecto se utilizaran electrodos húmedos [5].

### B. Kit de sensores musculares V3

Este sensor mide la actividad eléctrica filtrada y rectificadora de un músculo mediante electrodos superficiales; la salida 0-Vs Voltios dependiendo la cantidad de actividad en el músculo seleccionado, donde Vs significa el voltaje de la fuente de alimentación.



Figura. 2. Tarjeta V3 para sensores musculares.

Con esta tarjeta se obtiene la señal eléctrica del antebrazo con un rango de valor de voltaje de 40mv hasta 3400mv aproximadamente eso quiere decir que la tarjeta comercial está amplificando la señal obtenida. La señal amplificada contiene una mezcla de señales biológicas, por ejemplo, se encuentran inmersas las señales de ECG, respiración y dependiendo del lugar se podrían encontrar rastros de EEG.

Es por esta razón que para tener registros claros de EMG es necesario depurar o filtrar la información; esto se logra usando amplificadores operaciones con los cuales se construyen filtros analógicos para obtener registros únicamente de EMG, estas señales se presentan en el rango de frecuencia de 10 a 500Hz lo cual la tarjeta comercial está diseñada para filtrar esas frecuencias.

### C. Arduino

Podemos describir a Arduino como la integración tres cosas, como:

- Una placa de hardware libre.
- Un software gratis, libre y multiplataforma.
- Un lenguaje de programación libre.

Una placa hardware libre que incorpora un microcontrolador reprogramable y una serie de pines-hembra (los cuales están unidos internamente a las patillas de E/S del microcontrolador) que permiten conectar allí de forma muy sencilla y cómoda diferentes sensores y actuadores.

Un software (más en concreto, un “entorno de desarrollo”) gratis, libre y multiplataforma (ya que funciona en Linux, MacOS y Windows) que debemos instalar en nuestro ordenador y que nos permite escribir, verificar y guardar (“cargar”) en la memoria del microcontrolador de la placa Arduino el conjunto de instrucciones que deseamos que este empiece a ejecutar. Es decir: nos permite programarlo. La manera estándar de conectar nuestro computador con la placa Arduino para poder enviarle y grabarle dichas instrucciones es mediante un simple cable USB, gracias a que la mayoría de placas Arduino incorporan un conector de este tipo.

Un lenguaje de programación libre. Por “lenguaje de programación” se entiende cualquier idioma artificial diseñado para expresar instrucciones (siguiendo unas determinadas reglas sintácticas) que pueden ser llevadas a cabo por máquinas.

Concretamente dentro del lenguaje Arduino, encontramos elementos parecidos a muchos otros lenguajes de programación existentes (como los bloques condicionales, los bloques repetitivos, las variables, etc.), así como también diferentes comandos –asimismo llamados “órdenes” o “funciones”– que nos permiten especificar de una forma coherente y sin errores las instrucciones exactas que queremos programar en el microcontrolador de la placa. Estos comandos los escribimos mediante el entorno de desarrollo Arduino.

#### D. Gripper

Se le llama gripper a todos los sistemas de manipulación que están sujetos al brazo del robot y que permiten tomar piezas, manipularlas o sostener las herramientas que realizaran el trabajo [6].

Al realizar una investigación acerca de los gripper se encontró en la web una simple y gran idea [7], la cual consta de que a un popote se le recorta en partes específicas y la punta la unes a un hilo o cordón funciona como una articulación mecánica, el cual es la base para el gripper que se utilizó.



Figura 3. Prototipo inicial del gripper.

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ya que se trabaja con voltajes muy pequeños cuando el músculo del antebrazo está en reposo, el ADC de 10 bits con el que cuenta Arduino nos ayuda a codificar la señal que es obtenida de la tarjeta comercial V3. Para hacer la programación en el IDE de Arduino que controla el gripper, primero fue necesario conocer los valores de la señal eléctrica del antebrazo y para ello se utilizó un programa llamado PLX\_DAQ, el cual hace que interactúen Excel y Arduino de tal manera que todos los valores que detecte Arduino en microsegundos los envía en tiempo real a una hoja de Excel para su captura y su posterior análisis. Se ocuparon cinco rutinas diferentes para el antebrazo y mano, tomando 54 muestras por rutina y registrando 3000 muestras por cada tarea. De las rutinas realizadas se obtuvieron datos del músculo del antebrazo colocando la mano es diferentes posiciones:

- De mano abierta a mano cerrada lentamente.
- De mano cerrada a mano abierta lentamente.
- De mano abierta a mano cerrada rápidamente.
- De mano cerrada a mano abierta rápidamente.
- De mano abierta a mano cerrada a mano abierta normalmente.

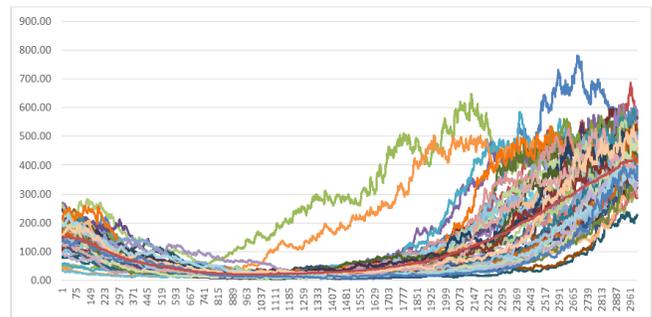


Figura 4. Rutina mano cerrada a mano abierta [mV vs muestras].

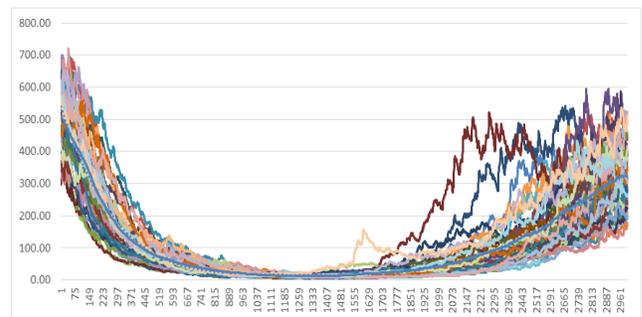


Figura 5. Rutina mano abierta a mano cerrada [mV vs muestras].

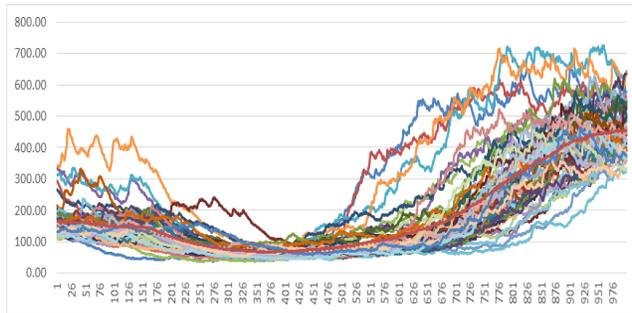


Figura 6. Rutina de mano cerrada a mano abierta con movimientos rápidos [mV vs muestras].

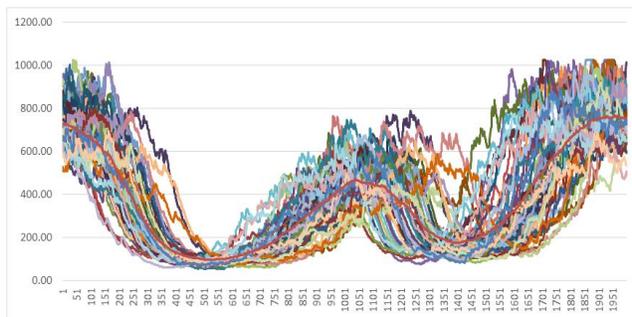


Figura 7. Rutina de mano abierta – cerrada – abierta [mV vs muestras].

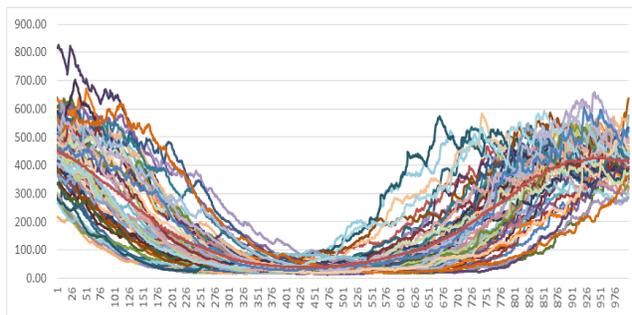


Figura 8. Rutina de mano abierta a mano cerrada con movimientos rápidos [mV vs muestras].

El total de registros realizados es superior a los 500,000 pero con el programa PLX\_DAQ es una manera más sencilla de poder realizar esta tarea. Todos los datos registrados obtenidos de la tarjeta comercial V3 y la interfaz con fueron procesados mediante el siguiente código para poder hacer la manipulación del gripper.

Arduino cuenta salidas PWM las cuales son muy útiles para controlar los servomotores, el programa anterior dice que cuando Arduino detecte una señal de voltaje en la

entrada analógica 0 tiene la indicación de sumar 50 veces los datos y sacar el promedio, ese promedio es necesario ya que el músculo donde se obtiene la señal de entrada constantemente manda varios pulsos aun estando el músculo en reposo, después del promedio se colocan condiciones y que compare la señal de entrada con valores específicos analizados y obtenidos de las gráficas de registro del músculo del antebrazo, si cumple las condiciones entonces se le da la indicación de que debe mandar los grados correspondientes a la señal obtenida del músculo. Al tener ya la señal amplificada, los valores del músculo y el programa que de una entrada analógica lo convierta a salida digital, solo hace falta un actuador, el cual es el resultado final de este proyecto al poder manipular una mano robótica (gripper).



Figura 9. Mano robot de 3 dedos.

Se logró realizar una manga con electrodos de tela de plata y otra más con tachuelas de cobre con las cuales se obtienen las señales mioeléctricas que son filtradas y amplificadas mediante el uso de amplificadores de instrumentación. Posterior al acoplamiento de las señales se utilizó Arduino para poder hacer el procesamiento de las mismas y darle una aplicación en una mano robótica.



Figura 10. Mangas con electrodos de tela de plata y tachuelas.

Nuestro actuador final (Fig. 9) es un griper manipulado por un servomotor conectado mediante un hilo de caña, ligas y tornillos que al moverse el servo sobre un eje central gira y enrolla el hilo de caña jalando los dedos y haciendo que se doblen y se desdoblen cuando el servo regresa a su estado inicial y las ligas estiran nuevamente los dedos.



Figura 11. Manipulación del gripper usando Arduino y la tarjeta V3.

#### IV. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos superaron las expectativas de los objetivos planteados al inicio de nuestro proyecto y muestran una mejora considerable en el uso de electrodos comerciales, ya que para las personas con necesidad de una prótesis deben de estar colocando electrodos diariamente. El uso de una manga con electrodos de plata facilita el uso de las prótesis y mejora la interacción entre la piel y el aparato receptor, sin embargo cabe mencionar que es importante que no tenga bello abundante en el área de los electrodos ya que esto bello impiden el paso de la corriente eléctrica del cuerpo.

El beneficio-costo de las prótesis que se proponen realizar con esta investigación son significativos con respecto a los que se encuentran comercialmente. Se espera que en un futuro próximo ir mejorando el desempeño de cada uno de los elementos utilizados en este proyecto, así como, desarrollar una prótesis de bajo costo y que use el sistema desarrollado del presente trabajo. Se pretende también encontrar materiales que puedan ser ocupados como electrodos y poder mejorar el desempeño que se tiene con los actualmente comerciales.

#### V. APÉNDICE A: PROGRAMA MANO ROBOT

El código que se implementó posterior al filtrado y que hace que la mano robot se mueva de acuerdo a la señal mioeléctrica recibida es el siguiente.

```
#include <Servo.h>
Servo motor;
int dig, val, almacen, media;
float mul=4.8;
float final;
void setup()
{ motor.attach(10);
  Serial.begin(9600);}
void loop(){
  for (i=0,almacen=0;i<50;i=i+1) {
    val=analogRead(dig);
    almacen=almacen + val; }
  media=almacen/50;
  final=media*mul;
  Serial.print(final);
  Serial.println("mv--promedio");
  if (final>950) {
    motor.write(140); }
  else if (final>273 && final<849) {
    motor.write(110); }
  else if (final>200 && final<260) {
    motor.write(90); }
  else if (final>140 && final<190) {
    motor.write(70); }
  else if (final>80 && final<135) {
    motor.write(50); }
  else if (final>50 && final<80) {
    motor.write(35); }
  else if (final>20 && final<45) {
    motor.write(30); }
  delay(20); }
```

Código 1. Procesamiento de señales y manipulación del gripper.

#### VI. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Universidad Tecnológica de Xicotepec de Juárez por el apoyo brindado al desarrollo del presente proyecto y por el financiamiento del mismo.

#### VII. REFERENCIAS

- [1] <http://www.mecamex.net/anterior/cong10/trabajos/art36.pdf>, último acceso: 22 09 2014.
- [2] <https://uametodologia.files.wordpress.com/2011/05/articulo-metodologia2.pdf>, último acceso: 14 10 2014.
- [3] <ftp://ftp.uady.mx/pub/tmp/smagana/TESIS%20FINALIZADA.pdf>, último acceso: 22 10 2014.
- [4] [http://www.robodacta.mx/index.php?dispatch=products.view&product\\_id=769](http://www.robodacta.mx/index.php?dispatch=products.view&product_id=769), último acceso: 24 10 2014.
- [5] <http://www.robotec.cl/faq.php>, último acceso: 24 10 2014.
- [6] McRoberts, M. (2010). Beginning Arduino, Ultrasonic Rangefinders, Apress, New York.
- [7] Ozer J. (2009). Practical Arduino: Cool Projects for Open Source Hardware Technology in Action Apress Series Technology in Action Pressbook, Editorial Apress, USA.

## VIII. BIOGRAFÍA

**Dorian Rojas Balbuena.**

Nacido el 28 de mayo de 1984 en la ciudad de Puebla, Puebla.

Obtuvo el título de Licenciado en Ciencias de la Electrónica por la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla en el año 2007 en la ciudad de Puebla, México. Posteriormente obtuvo el grado de Maestro en Ciencias de la Electrónica opción en Automatización en el año 2011 por la

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla en la ciudad de Puebla, México. Actualmente se encuentra trabajando en la Universidad Tecnológica de Xicotepec de Juárez y estudiando el Doctorado en Mecatrónica en la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla en la ciudad de Puebla, México.

**María Angélica Islas Salas.**

Nacida el 09 de febrero de 1979 en la ciudad de Huauchinango, Puebla.

Obtuvo el título y cédula en la Licenciatura en Ingeniería en Sistemas Computacionales en el Instituto Tecnológico Superior de Huauchinango en el año 2007 en la ciudad de Huauchinango, Puebla, México.

Posteriormente logró el grado de maestría en Administración en Recursos Informáticos en el año 2011, expedido por la Universidad de la Sierra A. C., en la ciudad de Huauchinango, Puebla, México. Actualmente se encuentra laborando en el Instituto Tecnológico Superior de Huauchinango.

**Carlos Eduardo Grajeda Soto.**

Nació el 2 de diciembre de 1989 en la ciudad de Huauchinango, Puebla.

Obtuvo la carrera de Auxiliar en Contabilidad en el Centro de Bachillerato Tecnológico industrial y de servicio #86 (C.B.T.i.s. #86) en el año 2008 en la ciudad de Huauchinango, Puebla. Posteriormente el título de Ing. Mecatrónica, en el Instituto Tecnológico Superior de Huauchinango en el año 2015 en la

ciudad de Huauchinango, Puebla.

**Luis Octavio Alpizar Garrido.**

Nacido el 20 de noviembre de 1973 en la ciudad de Pachuca, Hidalgo.

Obtuvo el título de Licenciado en Informática por el Instituto Tecnológico de Puebla en el año de 1997 en la ciudad de Puebla, México. Posteriormente obtuvo el grado de Maestro en Ciencias Computacionales en el año 2007 por la Universidad Autónoma del Estado de

Hidalgo, en la ciudad de Pachuca, Hidalgo. . Actualmente se encuentra trabajando en la Universidad Tecnológica de Xicotepec de Juárez.

**Margarita Galindo Mentle.**

Nacida el 16 de octubre de 1980 en la ciudad de Atlixco, Puebla.

Obtuvo el Título de Licenciada en Ciencias de la Electrónica por la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla en el año 2005. Posteriormente obtuvo el grado de Maestría y Doctorado en Física Aplicada por la Facultad de Ciencias Física Matemáticas de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (FCFM-BUAP), en el año 2008 y 2013,

respectivamente. Actualmente es Profesor-Investigador en el Departamento de Mantenimiento Área Industrial, en la Universidad Tecnológica de Xicotepec de Juárez (UTXJ), Puebla. Su línea de investigación está enfocada al desarrollo y caracterización de materiales para aplicaciones en MEMS.