

# Memorias del Encuentro Argentino y Latinoamericano de Ingeniería - 2021

## Tomo II. Compilación.

- | Biotecnología, nanotecnología, bioingeniería y materiales
- | Historia de la Ingeniería (150ING)
- | Mujeres en ingeniería y cambio social
- | Ingeniería sostenible. Energía, eficiencia energética, gestión ambiental y cambio climático



**Editores:** Luis Fernández Luco | Cristina Vázquez | Alejandra Acuña Villalobos | Guillermo Lombera | Roberto Giordano Lerena

**Memorias del Encuentro Argentino y Latinoamericano de Ingeniería**

Memorias del Encuentro Argentino y Latinoamericano de Ingeniería : 2021 : tomo II /  
compilación de Luis Fernandez Luco ... [et al.]. - 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires:  
Luis Fernandez Luco, 2022.

Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga.

ISBN 978-987-88-7245-2

Obra Completa 978-987-88-7180-6

1. Ingeniería. I. Fernandez Luco, Luis, comp. II. Título.

CDD 620.00982

ISBN 978-987-88-7245-2



9 789878 872452



# Diseño y construcción de una mano biomecánica controlada con señales EMG

Torres Salinas, Christian Manuel<sup>a</sup>; Pisarello, María Inés<sup>a</sup>; Barceló Noguera, Manuel Alejandro<sup>a</sup>; Monzón, Jorge Emilio<sup>a</sup>

a. Facultad de Ciencias Exactas Naturales y Agrimensura, Universidad Nacional del Nordeste  
christiantorressalinas@gmail.com

## Resumen

Las prótesis se han utilizado a lo largo de la historia para reemplazar la parte faltante del cuerpo. Los diseños y tecnologías empleadas en los mismos han ido aumentando de complejidad. En particular, las prótesis controladas con EMG presentan un gran desafío para la comunidad científica ya que combinan la electrónica de avanzada y el procesamiento de señales electromiográficas. El objetivo de este trabajo es desarrollar una prótesis que permita la inclusión del paciente amputado a la sociedad. Se realizó una prótesis de mano biomecánica controlado por señales motoras, en cuya estructura se incluye el circuito de adquisición de datos, una plataforma en *Arduino*, el servomotor y la fuente de alimentación. Los sensores utilizados son de Ag/AgCl. La estructura fue desarrollada con el software *Sketchup* e impresa con una impresora 3D genérica. Se utilizó como fuente de alimentación una batería LIPO de 7,4V y 1500mAh por ser la opción que mejor se adaptaba a las exigencias del proyecto. Se desarrolló una prótesis de mano biomecánica controlada por señales motoras, que permite la inclusión de personas con miembros superiores amputados. Se pudo desarrollar el prototipo, adaptable a cada paciente. En este caso el umbral adoptado para las pruebas es de 1,2v. La presión de agarre obtenida por el prototipo es de aproximadamente 500g. Se realizaron pruebas de agarre para objetos de distintas formas geométricas. Se logró determinar que la prótesis responde mejor sosteniendo objetos cilíndricos y alargados.

## Abstract

Prosthetics have been used throughout history to replace the missing part of the body. The designs and technologies used in them have been increasing in complexity. In particular, EMG-controlled prostheses present a great challenge to the scientific community as they combine advanced electronics and electromyographic signal processing. The objective of this work is to develop a prosthesis that allows the inclusion of the amputee patient to society. A biomechanical hand prosthesis controlled by motor signals was made, whose structure includes the data acquisition circuit, an *Arduino* platform, the servo motor and the power supply. The sensors used are Ag / AgCl. The structure was developed with *Sketchup* software and printed with a generic 3D printer. A 7.4V 1500mAh LIPO battery was used as the power source as it was the option that best suited the project's requirements. A biomechanical hand prosthesis controlled by motor signals was developed, which allows the inclusion of people with amputated upper limbs. The prototype could be developed, adaptable to each patient. In this case the threshold adopted for the tests is 1.2v. The grip pressure obtained by the prototype is approximately 500g. Grip tests were carried out for objects of different geometric shapes. It was determined that the prosthesis responds better by holding cylindrical and elongated objects.

**Palabras clave:** Prótesis, Microcontrolador, EMG, Control.

## INTRODUCCIÓN

Una de las áreas que mayor crecimiento ha tenido en los últimos años dentro de la Ingeniería Biomédica, es el desarrollo de nuevas soluciones tecnológicas y dispositivos de rehabilitación. Muchos individuos con discapacidades motoras, ya sea por problemas congénitos, debido a algún trauma o bien por una enfermedad, encuentran en las llamadas prótesis biomecánicas, la posibilidad de re inserción y rehabilitación [1]

En particular, las prótesis mioeléctricas presentan un gran desafío para la comunidad científica. Combinan electrónica de avanzada con el procesamiento de señales electromiográficas. Utilizan electrodos para sensar los movimientos de los músculos para operar el dispositivo artificial.

Las prótesis son una herramienta muy importante a la hora de la rehabilitación e inserción social y laboral de la persona, el cual permite a la persona realizar tareas como sostener objetos o brindar una sensación de normalidad.

Por ello es de importancia poder desarrollar una prótesis que sea accesible para las personas con discapacidad motriz, con las mejores prestaciones posibles.

El objetivo principal del proyecto fue el diseño y la construcción de un dispositivo antropomorfo biomecánico controlado por señales EMG de carácter educativo, buena robustez y bajos costos.

## DESARROLLO

El proyecto puede entenderse observando el diagrama de bloques de la figura 1. Desde el cuerpo humano se adquieren las señales eléctricas musculares (mioeléctricas) a través de electrodos de biopotenciales, que son los transductores encargados de convertir las corrientes iónicas en corrientes electrónicas. Estas señales, son muy pequeñas, por lo que necesitan de una etapa de pre-procesamiento en la cual se las acondiciona para la etapa de entrada del Arduino Nano, para ser digitalizada. El Arduino envía la señal de control al actuador, conformado por un servomotor, el cual produce el movimiento de los dedos del brazo artificial.

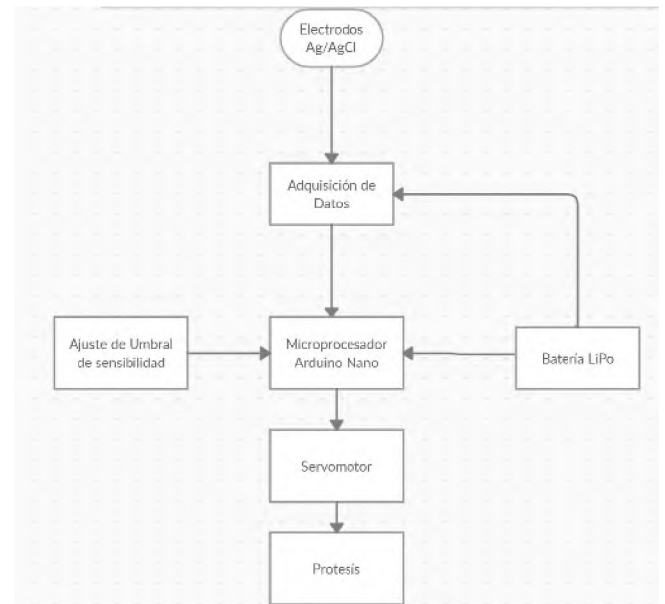


Figura 1- Diagrama en Bloques General.

Todo el circuito está alimentado con una batería LiPo de 7,4V; 1500 mAh. El Arduino Nano es empleado por poseer un regulador propio, por lo que también puede trabajar con la misma tensión que el resto del circuito, por ellos no se optó por modelos más pequeños, ya que carecían de dicho regulador.

Optamos por la configuración diferencial o bipolar, que es la más utilizada para la detección de EMG. Dos electrodos se colocan sobre el centro del músculo a 2 cm entre sí y un tercer electrodo en un punto más lejano como referencia, figura 2. [4]

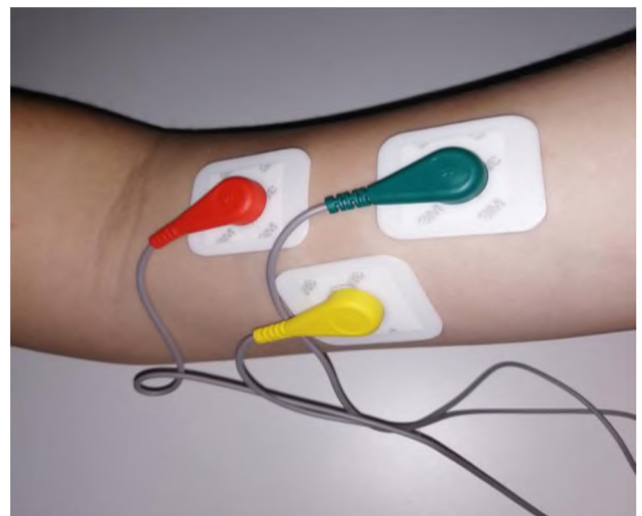


Figura 2- Fotografía de la ubicación de los electrodos – Fuente propia.

La señal entre los dos electrodos sobre el vientre del músculo se amplifica diferencialmente respecto al electrodo de referencia. La ventaja en esta configuración es que el ruido común entre los dos electrodos es eliminado y por lo tanto se obtendrá una señal más limpia.

Se empleó el amplificador de instrumentación AD623 AN de Analog Devices de ganancia ajustable con una resistencia externa para un rango de 1 a 1000, que permite ser alimentado con una Fuente simple, lo cual es importante al disponer de una sola batería. En un rango entre 2.5V y 6V.

La ganancia puede ser controlada con un resistor externo, para este caso se empleó 100Ω. Ya que se necesita la máxima ganancia al trabajar con señales de amplitud muy pequeña, ecuación (1).

$$G = 1 + \left(\frac{100\text{ K}\Omega}{R_g}\right) \quad (1)$$

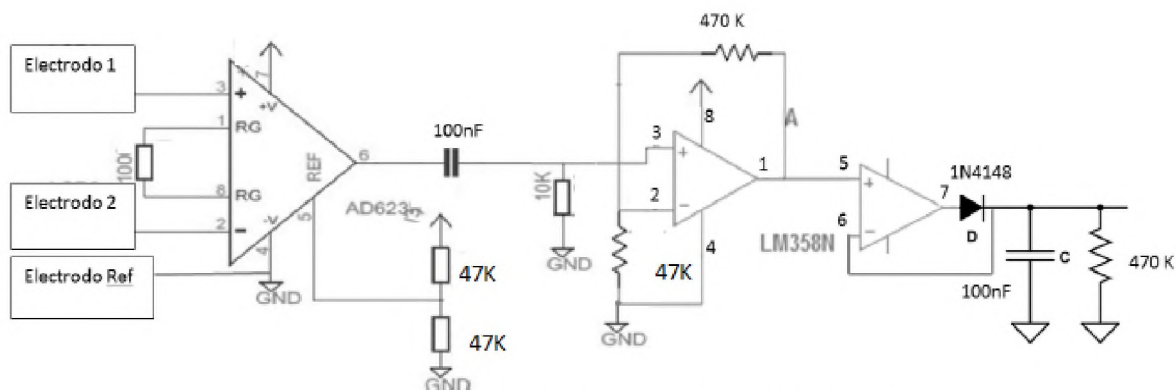


Figura 3- Circuito completo de la etapa de adquisición de datos.

Como segundo amplificador se utilizó el LM 358 N de Texas Instrumens, que puede ser implementado con fuente simple, entre el rango de 3V y 32V.

Ambos circuitos integrados fueron empleados debido a su facilidad para la compra y precio, además por la posibilidad de su implementación con fuente simple. La ganancia elegida para este amplificador fue de 10.

Como lo mencionamos, el circuito integrado posee dos amplificadores. Para este proyecto el primero de ellos fue empleado como amplificador, mientras que el segundo se utilizó como un detector de picos.

Un diodo 1N4148 a la salida del segundo amplificador, habilita la señal que irá a la entrada del Arduino Nano.

En la figura 3, se visualiza el circuito completo de adquisición de datos. [2]

El capacitor de 100nF es utilizado para eliminar la parte negativa de la señal obtenida del AD 623 AN [2][2].

Los electrodos empleados son de Ag/AgCl, descartables ya que son mucho más estables y baratos.

La disposición utilizada es la estándar de el SENIAM (Surface Electromyography for Noninvasive Assessment of Muscles). Con dos electrodos y uno de referencia.

Se utiliza como alimentación una batería de LiPo de 7,4V y 1500 mAh de 2 celdas en serie. Se lo emplea para alimentar la placa de adquisición de datos, al Arduino Nano y al servomotor.

Se buscó un balance entre todos esos puntos, con lo que se pudo obtener el presente prototipo de prótesis. La búsqueda para la realización de este trabajo se centró como primera medida en un modelo de prótesis de bajo coste, fabricación aditiva y relativamente sencilla implementación cuando se habla de entrenar a una persona para su correcta utilización.

Se probaron varios tipos de estructuras para la prótesis, pero la mayoría de ellos tenían el inconveniente de ser muy pesadas para ser operadas con un solo servomotor. Por lo que se procedió a buscar una estructura que sea capaz de ajustarse a los requerimientos. Se implementó la impresión con filamentos del tipo PLA (Ácido Poliláctico) de 1.75mm<sup>2</sup> de color piel.

## RESULTADOS

Se realizaron 4 ensayos para obtener el funcionamiento óptimo de la prótesis, los cuales fueron el ensayo de respuesta de la etapa de adquisición de datos. La determinación del umbral de sensibilidad adecuado, el ensayo de agarre y el de autonomía.

### ***Ensayo de respuesta de la etapa de adquisición de datos***

Se probaron primeramente varios tipos de cables de electrodos, los cuales a veces al manipularlos introducían ruidos indeseados al circuito, ya sea al tocar la mesa, o mover el otro brazo libre. Luego se fueron ajustando las ganancias de ambas etapas para poder obtener un pico apreciable de tensión a la salida de la etapa, ya que este dispositivo está orientado a reaccionar a picos de tensión.

También se probaron varios tipos de electrodos que se consiguen en el mercado. Aplicando o no el gel neutro para observar mejoras en las detecciones.

Después de varias pruebas, se pudo determinar que las ganancias adecuadas eran de 1000 y de 10 respectivamente, ya que caían en el rango de entrada del microcontrolador Arduino, y también era apreciable el pico que se obtenía al comprimir los músculos.

Se determinó que también la detección mejora sustancialmente con la aplicación del gel neutro, pero es muy incómodo usarlo, además que acelera el deterioro del adhesivo de los electrodos.

El rango de tensión obtenido a la salida varió desde los 200 mV hasta los 1,6 V

### ***Ensayo de agarre.***

Se procedió a probar el agarre de la prótesis con varios objetos, ya sea destornilladores, pinzas, botellas y mate. Primero se realizó con el guante puesto y luego sin el mismo.

Se observó que el agarre solo es satisfactorio para objetos cilíndricos y alargados que no puedan una superficie totalmente lisa y que puedan entrar entre los dedos de la prótesis.

También se observó que al utilizar guantes se obtiene una mejor adherencia, lo que permite un poco más de maniobrabilidad a la hora de sostener objetos.

### ***Ensayo de umbral de sensibilidad.***

De acuerdo a la programación realizada en el Arduino Nano, que se adjunta en el Anexo, el Arduino establece un umbral para el cual el servomotor se activa, dicho umbral no se dispara con una muestra de la entrada de la etapa de adquisición de datos si no que con un promedio de 20 lecturas que se realizar en el tiempo, debido a la limitada capacidad del Arduino Nano con respecto a las variables a utilizar. Si este promedio de 20 muestras supera el umbral, el servomotor se activa. Si no, se vuelven a tomar 19 valores y se conserva el último valor del promedio, para ir cubriendo todo el tiempo en que el Arduino Nano esté recibiendo señal. Dicho umbral se ajusta con un potenciómetro multivuelta que se conecta al pin de entrada analógica A3. El valor del potenciómetro es de 550 KΩ.

El umbral óptimo al que se llegó fue de 1,2V, en el cual se reducen en gran medida las oscilaciones no deseadas. Para valores mayores, se necesita un mayor esfuerzo al realizar la contracción del músculo para poder activar el servomotor, y para valores menores el servomotor se activa con el mínimo movimiento. Este umbral varió de acuerdo a cada persona, dependiendo de qué tan desarrollada tenga la zona muscular en donde se realiza la medición, ya que se probó en personas que hacían actividades físicas regularmente y en otras que no. En estas pruebas se observaron pequeñas diferencias en el umbral adecuado para las distintas personas.

### ***Ensayo de autonomía.***

Se realizó un exhaustivo proceso para determinar qué tipo de baterías eran las más convenientes a la hora de implementar la prótesis. Primeramente, se realizaron pruebas con un arreglo de 4 pilas de 1,5V. Luego se probaron baterías de 9V. Por último, se probó la batería de LIPO de 7,4V y 1500mAh., siendo este último el elegido para el proyecto por tener mayor vida útil y por cumplir con las especificaciones requeridas.

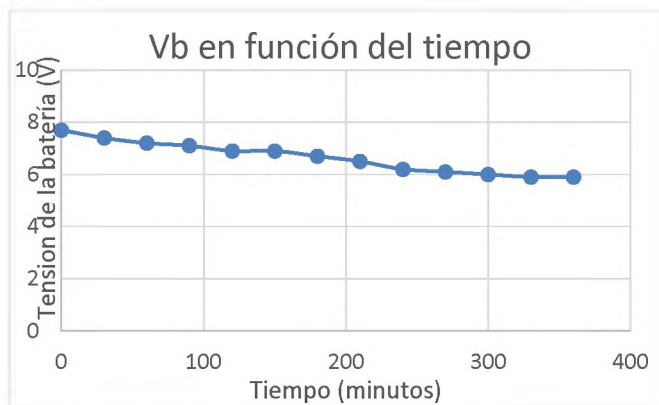


Figura 4- Gráfico de Tensión de la Batería en función del tiempo.

Se determinó que la mejor opción para el diseño del prototipo era la implementación de baterías LiPo, como puede observarse en la figura 4, ya que poseen buenas prestaciones y también durabilidad. Estas características resultan de interés pues permite una autonomía de aproximadamente 6 horas en promedio con un uso cotidiano, si bien es necesaria la inversión de un cargador balanceador.

## CONCLUSIONES

El funcionamiento de la prótesis se enfocó en la detección de los picos que determinan si se supera o no el umbral establecido, Este sistema no es muy estable ya que se requiere un sistema con realimentación, que tome parte de la señal de salida para ajustar la entrada, pero ello probablemente sea limitado debido al poder de procesamiento del microcontrolador, Además que se dispone de poco espacio para poder utilizar uno con más capacidad de procesamiento. Lo cual también subiría aún más el precio de la prótesis. También se podría reemplazar el único servomotor por dos servomotores más pequeños, y lograr el movimiento más pronunciado del pulgar.

Se logró implementar una prótesis con 1 grado de libertad en los dedos.



Figura 5- Prótesis de mano.

## AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo se realizó en el marco del Proyecto de Investigación PI 18-F004 Secretaría General de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional del Nordeste.

## REFERENCIAS

- [1] de la Cruz Sánchez, Berith Atemoztli. "Instrumentación y control de un prototipo de exoesqueleto para mano en rehabilitación asistida." *REPOSITORIO NACIONAL CONACYT* (2020).
- [2] Torres Salinas, C.M.; Pisarello, M.I.; Monzón, J.E. (2019). Diseño y Construcción de una Mano Biomecánica controlada con Señales Motoras. XXXVII Jornadas de Jovens Pesquisadores. Asociación Universitaria Grupo Montevideo (AUGM), 3873-3876.
- [3] Mazumder, O.; Sankar Kundu, A. (2012). EMG Based Multichannel Human Computer Interface for Rehabilitation Training. National Conference on Medical Informatics, AIIMS Delhi.
- [4] Schlesinger G. (1919) Der mechanische aufbau der knstlichen glieder, Borchrdt et al. (eds.), Ersatzglieder und Arbeitshilfen fur Kriegsbeschadigte und Unfallverletzte, Springer, pp. 361-699.