
Diseño y Fabricación de una Prótesis Electromecánica de Mano Humana, Controlada por Señales EMG de Superficie

Gonzalo Palarea Arzu



UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



**Diseño y Fabricación de una Prótesis Electromecánica de
Mano Humana, Controlada por Señales EMG de Superficie**

Trabajo de graduación presentado por Gonzalo Palarea Arzu para optar
al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecatrónica

Guatemala,

2021

Vo.Bo.:

(f) _____
Dr. Luis Alberto Rivera

Tribunal Examinador:

(f) _____
Dr. Luis Alberto Rivera

(f) _____
MSc. Carlos Esquit

(f) _____
Dr. Luis Alberto Rivera

Fecha de aprobación: Guatemala, 5 de diciembre de 2021.

| | |
|---|------------|
| Lista de figuras | IV |
| Lista de cuadros | V |
| Resumen | VI |
| Abstract | VII |
| 1. Introducción | 1 |
| 2. Justificación | 2 |
| 3. Objetivos | 3 |
| 4. Marco teórico | 4 |
| 5. Derivación de la dinámica del mecanismo | 7 |
| 5.1. Dinámica de cuerpos rígidos | 7 |
| 5.2. Restricciones | 7 |
| 5.2.1. Mecanismos de lazo cerrado | 7 |
| 6. Control del sistema mecánico | 8 |
| 6.1. La ecuación del manipulador | 8 |
| 7. Conclusiones | 9 |
| 8. Recomendaciones | 10 |
| 9. Resultados | 11 |
| 10. Bibliografía | 13 |

Lista de figuras

| | | |
|----|---|----|
| 1. | Electrodos para capturar señales EMG. Fuente: [3] | 5 |
| 2. | Agarre de un lapicero. Fuente: [4] | 5 |
| 3. | Los 6 agarres principales de la mano. Fuente: [5] | 5 |
| 4. | Mano protética con servomotores. Fuente: [7] | 6 |
| 5. | MyoWare de AdvancerTechnologies. fuente: AdvancerTechnologies | 12 |

Lista de cuadros

| | | |
|----|---------------------------|---|
| 1. | Tabla de prueba | 8 |
|----|---------------------------|---|

En este proyecto se propone crear una versión inicial de una mano protética, controlada por señales EMG de superficie. Se espera que la mano logre replicar los movimientos más simples pero esenciales de una mano, como el agarre cilíndrico. Ya que en Guatemala la mayoría de guatemaltecos viven bajo condiciones de pobreza, se plantea que la mano protética debe ser una opción económica, por lo que se escogerán componentes electrónicos comunes, con mucha disponibilidad y accesibles. Para darle movimiento a la prótesis se planea utilizar servomotores o motores DC con cajas reductoras. El mecanismo será impreso en 3D, pues es una opción barata para crear prototipos y hace que el proyecto sea fácilmente replicable.

Para crear la mano protética se diseñará primero el mecanismo y se harán pruebas e iteraciones con los modelos iniciales hasta que el prototipo pueda hacer los movimientos deseados y los componentes como los motores encajen bien en el diseño. Luego se realizará y probará el diseño electrónico sin utilizar las señales EMG, para verificar que el controlador pueda mover los actuadores y por último se integrarán las señales EMG.

Abstract

This is an abstract of the study developed under the

CAPÍTULO 1

Introducción

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Quisque eget consequat risus. Praesent a quam lacinia, consequat eros id, auctor tellus. Phasellus a dapibus arcu, vitae luctus leo. Aliquam erat volutpat. Suspendisse ac velit quam. Nullam risus nibh, lobortis vehicula elit non, pellentesque volutpat odio. Donec feugiat porta sapien gravida interdum. Cras odio nunc, lobortis sed pellentesque imperdiet, facilisis eu quam. Praesent pharetra, orci at tincidunt lacinia, neque nulla ornare lacus, ut malesuada elit risus non mi. Fusce pellentesque vitae sapien sed mollis. Curabitur viverra at nulla vitae porta. In et mauris lorem.

Vestibulum faucibus fringilla justo, eget facilisis elit convallis sit amet. Morbi nisi metus, hendrerit quis pellentesque non, faucibus at leo. Proin consectetur, est vel facilisis facilisis, arcu felis vestibulum quam, et fringilla metus neque at enim. Nunc justo mauris, egestas quis maximus eget, viverra vehicula nunc. Fusce eu nulla elementum, condimentum diam at, aliquam leo. Nullam sed sodales enim, eu imperdiet risus. Aliquam ornare augue leo, fringilla mattis nunc facilisis eget. Nam faucibus, libero a aliquet fermentum, magna arcu ultrices lacus, a placerat tortor turpis ut purus.

Integer eget ligula non metus egestas rutrum sit amet ut tellus. Aliquam vel convallis est, eu sodales leo. Proin consequat nisi at nunc malesuada gravida. Aliquam erat volutpat. Aliquam finibus interdum dignissim. Etiam feugiat hendrerit nisl, hendrerit feugiat ex malesuada in. Cras tempus eget arcu vitae congue. Ut non tristique mauris. Vivamus in mattis ipsum. Cras bibendum, enim bibendum commodo accumsan, ligula nulla porttitor ex, et pharetra eros nisl eget ex. Morbi at semper arcu. Curabitur massa sem, maximus id metus ut, molestie tempus quam. Vivamus dictum nunc vitae elit malesuada convallis. Donec ac semper turpis, non scelerisque justo. In congue risus id vulputate gravida. Nam ut mattis sapien.

Como se puede observar en la Figura ??, el 59.3 por ciento de la población vive en pobreza total, de los cuales el 23.4 por ciento viven en pobreza extrema. Esta gran parte de la población no tiene acceso al sector privado de salud y son mucho más propensos a complicaciones médicas. Su estatus económico no les permite acudir a un médico para tomar medidas preventivas y en la mayoría de los casos, van a un hospital sólo cuando se trata de vida o muerte. En muchos casos puede suceder que las personas tienen alguna extremidad dañada, pero acuden al médico hasta que sea muy tarde y ya no se pueda rescatar la extremidad. Además, los trabajos que consiguen tienen muy poca seguridad y están expuestos a sufrir accidentes y perder alguna extremidad por estas causas.

Además de no poder prevenir la pérdida de una extremidad, tampoco tienen la capacidad económica de adquirir prótesis modernas y funcionales. Según la universidad de Carleton, una prótesis de mano controlada por señales EMG moderna en Canadá cuesta entre quince mil y cincuenta mil dólares.[1] Estas son cifras totalmente fuera del alcance de más de la mitad de la población entera de Guatemala.

Este proyecto busca crear una prótesis mucho más accesible para los guatemaltecos que perdieron una mano, pues es un miembro muy importante y útil para cualquier persona. Una prótesis funcional puede hacer la diferencia en estas personas al devolverle las funcionalidades simples pero vitales que una mano puede hacer.

Objetivo General

Diseñar y fabricar el mecanismo y circuito electrónico de un prototipo de prótesis de mano controlada por señales EMG de superficie, capaz de replicar movimientos sencillos y agarres esenciales.

Objetivos Específicos

- Diseñar una prótesis electromecánica de mano, capaz de replicar movimientos simples.
- Fabricar la prótesis con materiales y componentes accesibles económicamente y con disponibilidad en Guatemala.
- Maximizar el uso de impresión 3D para la fabricación de la prótesis, con el fin de facilitar la replicabilidad y disminuir costos de fabricación.
- Realizar una comparación de las fuerzas logradas con la mano prostética contra una mano real.
- Integrar sensores EMG de superficie y lograr que los actuadores de la mano actúen con base en dichas señales.
- Utilizar una fuente de alimentación que permita un fácil intercambio o que sea recargable que permita utilizar la mano prostética de manera portátil.
- Hacer una estimación de tiempo del uso que se le podrá dar a la prótesis sin cambiar la fuente o recargarla.

Señales EMG

Las señales EMG son un potencial eléctrico, creado por la despolarización de la membrana de fibra muscular externa [2]. Estas señales tienen voltajes en el rango de 0 a 6 mV. Sus frecuencias entre 0-500 Hz, principalmente entre 50-150 Hz. Pueden ser utilizadas para el diagnóstico de patologías musculares. La principal medición de esta señal son los potenciales de unidad motora (PUM), pues al haber anomalías en su frecuencia y amplitud nos podría indicar la presencia de una enfermedad muscular. Para medir estas señales, existen 5 tipos de electromiografías:

1. Electromiografía Convencional
2. Electromiografía Cuantitativa
3. Electromiografía de Fibra Simple
4. Macro EMG
5. EMG de superficie y estudio del espectro de frecuencias

La forma más común de capturar señales electromiográficas es por medio de electrodos de superficie, como los que se muestran en la Figura 1.



Figura 1: Electrodos para capturar señales EMG. Fuente: [3]

Movimientos importantes de la mano

Según la investigación realizada en [4], los agarres de la mano se pueden clasificar en agarres de fuerza y agarres de precisión. Un ejemplo común de un agarre de precisión es cuando se sostiene una pluma para escribir. Este agarre se puede desglosar en la posición de la muñeca y dedos. En este caso la muñeca está en dorsiflexión, los dedos semi-flexionados y el pulgar aducido y en oposición, como se observa en la Figura 2.



Figura 2: Agarre de un lapicero. Fuente: [4]

Según [5], existen 6 agarres principales en la mano, que se pueden ver en la Figura 3.

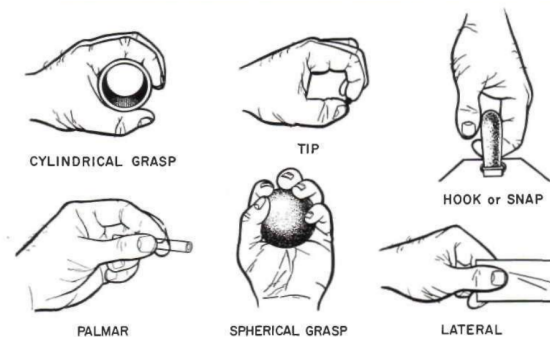


Figura 3: Los 6 agarres principales de la mano. Fuente: [5]

Estos 6 agarres los podemos dividir también según el tipo. Los de fuerza serían el *cylindrical grasp*, *hook or snap* y el *spherical grasp*. El resto son de precisión.

Mecanismos electromecánicos

La mano desarrollada en la universidad ITMO [6], visible en la Figura ??, utiliza 6 motores de corriente directa, uno para cada dedo y uno adicional para la oposición del pulgar. Los motores DC son sencillos, tienen disponibilidad, su funcionalidad es simple y requieren únicamente dos cables para su alimentación. Una posible desventaja de usar motores de corriente directa para el movimiento de los dedos es que si no se realiza un sistema de control y se deja conectado en forma de interruptor, no se podrá regular la velocidad a la que los dedos se moverán y no se pueden lograr movimientos con base en la posición actual de los dedos. Estas desventajas se pueden mitigar implementando un sistema de control, pero se requerirían componentes adicionales, como para obtener la posición actual y esto incluiría más peso y un mayor reto para acomodar estos componentes adicionales en el poco espacio de una mano.

En otro proyecto [7] utilizaron servomotores en una mano protésica como se puede ver en la Figura 4. Una gran ventaja de estos motores sobre los DC es que se puede indicar la posición deseada y se puede controlar la velocidad a la que se mueven por *software*. Son un poco más caros y en la mayoría de veces tienen menos fuerza que un motor DC de tamaño similar. El uso de estos motores permitiría movimientos más sofisticados, pero sacrificaríamos fuerza y costo.

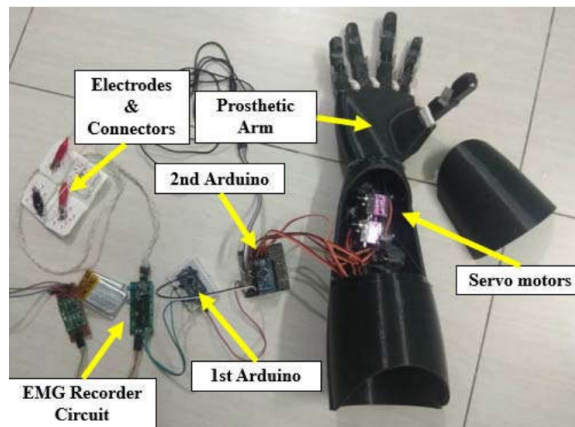


Figura 4: Mano protésica con servomotores. Fuente: [7]

Derivación de la dinámica del mecanismo

5.1. Dinámica de cuerpos rígidos

5.2. Restricciones

5.2.1. Mecanismos de lazo cerrado

Mecanismo de cuatro barras

6.1. La ecuación del manipulador

| | | | | |
|----------|-----|--------|-------|---------|
| 12 | 3.2 | 3.43 | 23 | 13 |
| aasdasdd | asd | ssdssa | ssdas | asdasda |
| | | | | |
| | | | | |

Cuadro 1: Tabla de prueba. Esta es una breve descripción de la tabla anterior. Continuamos con la descripción de esta forma y se menciona que fue de elaboración propia.

Aquí seguimos escribiendo texto normalmente.

CAPÍTULO 7

Conclusiones

CAPÍTULO 8

Recomendaciones

Hasta ahora el trabajo ha consistido principalmente en investigación. Los descubrimientos más importantes hasta ahora son:

1. Existen filamentos diseñados para aplicaciones de este tipo, como el filamento para impresión 3D con fibras de carbono.
2. Hay varios proyectos similares de donde se pueden sacar ideas de diseño.
3. *AdvancerTechnologies* ha creado un módulo llamado *Myoware* para la medición de señales EMG, que incluye la amplificación y rectificación de las señales para ser leídas como un voltaje por un microcontrolador o un arduino. En la Figura 5 se muestra el módulo.
4. Las baterías tipo 18650 parecen ser una buena opción de fuente de alimentación.

- [1] S. Rajan, *Design and manufacture of 3D printec myoelectric multi-fingered hand for prosthetic application*, 2016 International Conference on Robotics and Automation for Humanitarian Applications, dic. de 2016.
- [2] M. F. Girón, “Interfaz Biomédica para el Control de Sistemas Robóticos Utilizando Señales EMG,” Tesis de licenciatura, Universidad Del Valle de Guatemala, 2020.
- [3] *Neurocirugía Torres*, <https://neurocirugiatorres.com/articulos-y-consejos/electromiografia-emg-electromiograma/>, Accessed: 2021-04-20.
- [4] L. A. Arias, “Biomecánica y patrones funcionales de la mano,” Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia, 2012.
- [5] T. Craig L y S. Robert J, “The Anatomy and Mechanics of the Human Hand, Artif Limbs,” PMID: 13249858., 1955.
- [6] I. Borisov, O. V. Borisova y S. V. Krivosheev, *Prototyping of EMG-Controlled Prosthetic Hand with Sensory System*, IFAC Conference Paper, jul. de 2017.
- [7] K. I. Nazmus Sakib, *Design and Implementation of an EMG Controlled 3D Printed Prosthetic Arm*, IEEE Conference Paper, nov. de 2019.