

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



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

Protocolo de trabajo de graduación presentado por Gonzalo Palarea,
estudiante de Ingeniería Mecatrónica

Guatemala,

2021

Resumen

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.

Antecedentes

En el proyecto desarrollado por Ivan Borisov, Olga Borisova y Sergei Krivosheev [1], podemos ver una idea similar en donde se implementó una mano robótica utilizando señales EMG. En este trabajo se utilizaron 6 motores DC, uno para cada dedo y el último para la oposición del pulgar. La mano desarrollada cuenta con un sistema de control de retroalimentación para manejar los motores. Algo muy interesante de este proyecto, es que para sustituir el sentido del tacto, la prótesis contaba con motores de vibración y bocinas piezo-eléctricas, para indicarle al paciente el “ estado” de la mano y no depender totalmente del sentido visual. En la Figura 1 se puede observar el prototipo final logrado en este proyecto.

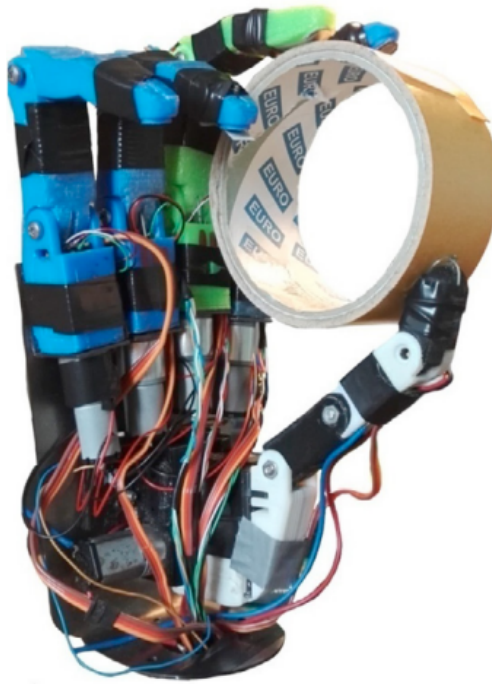


Figura 1: Mano desarrollada en la universidad ITMO. fuente: [2]

En el 2020 se comenzó a desarrollar en la UVG una interfaz biomédica para el control de sistemas robóticos utilizando señales EMG. En este trabajo [3], la autora se enfocó principalmente en el software, que consistía en procesar las señales capturadas para la identificación de gestos y patrones y utilizó las manos como referencia para corroborar el funcionamiento del software desarrollado. El objetivo principal de este trabajo fue clasificar las señales EMG, para lo que usó una red neuronal (RN) y el entrenamiento de una máquina de vectores de soporte (SVM) Como se puede ver en su trabajo de graduación, la simulación que se realizó en Matlab para simular un sistema mecánico trabajando con las señales EMG procesadas funciona bastante bien. Uno de los objetivos específicos del proyecto, se encuentra “desarrollar una interfaz que traduzca los resultados de la clasificación de señales en comandos para un sistema robótico”. Los resultados de este proyecto podrían contribuir en el futuro a un mejor control del mecanismo que busca construir.

Un posible seguimiento a este proyecto es comenzar a desarrollar un sistema electrónico-

mecánico al cuál se le pueda implementar este software ya desarrollado y funcional. Entre más entendamos las señales que hacen funcionar nuestro cuerpo, como las señales EMG y mejor las podamos capturar, procesar y utilizar, podremos desarrollar mejores reemplazos o “prótesis” que cumplan con las funciones de la parte del cuerpo que buscan reemplazar. Una de nuestras partes más útiles y versátiles son nuestras manos.

En la Universidad del Valle de Guatemala también se ha trabajado con el modelado mecánico y accionamiento simple de una mano protética. En el proyecto de graduación de Pablo Mazariegos, “ Diseño e implementación de un nuevo modelo de la mano de la Prótesis Biónica Transhumeral” [4], desarrolló un modelo funcional capaz de realizar movimientos simples, como un agarre total, agarre de puño, de pinza y señalamiento con el dedo índice. Este modelo, sin embargo, no cuenta con un sistema de control y los movimientos son pre-programados. Este proyecto tiene mucho potencial, pues se le podrían añadir los electrodos para medir las señales EMG de superficie y decidir con base en esa señales el movimiento que la mano ejecutará. En la Figura ?? se puede ver el modelo de la mano desarrollada.

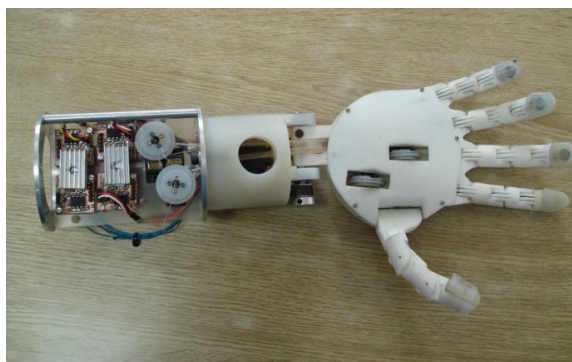


Figura 2: Mano desarrollada por Pablo Mazariegos. fuente: [4]

Un aspecto interesante de este trabajo de graduación fue el costo que tuvo la manufactura de las piezas. Este trabajo fue realizado en el 2012 y la tecnología de impresión 3D ha visto una reducción de costos enorme en los últimos años. En ese año, la UVG no contaba con impresoras 3D para la manufactura, por lo que la mano tuvo que ser fabricada en USA y enviada a Guatemala. Hoy, la Universidad cuenta con impresoras 3D de buena calidad en el campus. Las impresoras han bajado tanto de precio, que incluso varios estudiantes pueden pagar por una para tener en sus casas. Los filamentos también han bajado de precio, ya hay bastantes fabricantes y marcas compitiendo en el mercado. En la Figura 3, podemos observar los costos de las piezas de la mano.

Lugar	Precio Manufactura	Material	Shipping	Tax	Total
Ponoko	\$31.63	Durable Gloss Plastic - Black	\$11.23	--	\$42.86
Shapeways	\$26.64	White Strong & Flexible	\$6.50	--	\$33.14
Redeye	\$175	White ABS	\$8.18	--	\$183.18
Quickparts	\$177	PolyJet	\$8.18	--	\$185.18

Figura 3: Cotización de piezas de la mano. fuente: [4]

Justificación

En Guatemala, los niveles de pobreza no han mejorado con el paso de los años y el sistema de salud pública tampoco. La Figura 4 muestra los porcentajes de pobreza en el país.

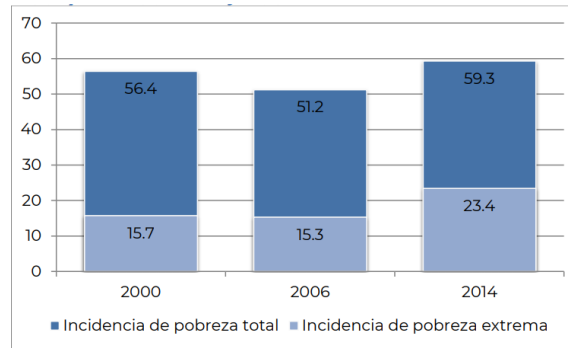


Figura 4: Porcentajes de pobreza en Guatemala. Fuente: [5]

Como se puede observar en la Figura 4, 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.[6] 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.

Objetivos

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 protética 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 protética de manera portátil.
- Hacer una estimación de tiempo del uso que se le podrá dar a la prótesis sin cambiar la fuente o recargarla.

Marco teórico

Señales EMG

Las señales EMG son un potencial eléctrico, creado por la despolarización de la membrana de fibra muscular externa [3]. Estas señales tienen voltajes en el rango de 0 a 6 mV. Sus frecuencias están 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 5.



Figura 5: Electrodos para capturar señales EMG. Fuente: [7]

Movimientos importantes de la mano

Según la investigación realizada en [8], 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 6.



Figura 6: Agarre de un lapicero. Fuente: [8]

Según [9], existen 6 agarres principales en la mano, que se pueden ver en la Figura 7.

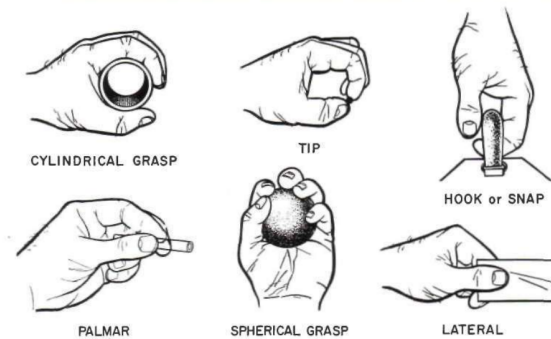


Figura 7: Los 6 agarres principales de la mano. Fuente: [9]

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 [1], visible en la Figura 1, utiliza 6 motores de corriente directa, uno para cada dedo y uno adicional para la oposición del pulgar. Los motores DC son asequibles, 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 [5] utilizaron servomotores en una mano protésica como se puede ver en la Figura 8. 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.

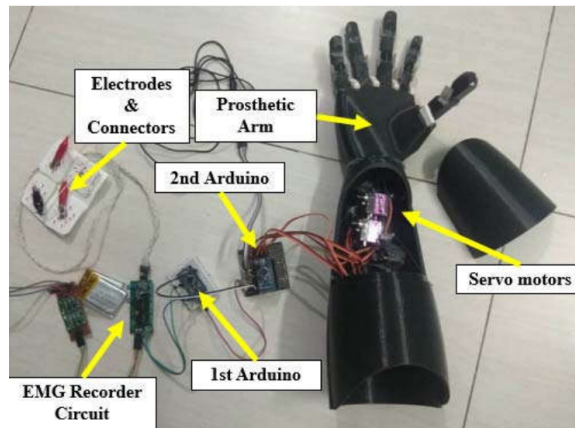


Figura 8: Mano protésica con servomotores. Fuente: [5]

Metodología

Funcionamiento Mecánico

En el primer prototipo se busca verificar que el diseño de la mano pueda hacer los movimientos propuestos. El primer paso para verificarlo es por medio de una simulación en software del movimiento de las piezas. Cuando se vean buenos resultados se procederá con la fabricación del primer prototipo y verificar si en la práctica se comporta igual que en la simulación. Los factores que puedan diferir con la simulación que hay que tomar en cuenta son:

- fricciones
- encaje de las piezas (tolerancias)
- imperfecciones por resolución de impresión 3D
- modelos inexactos de componentes, como los motores y sensores

Para verificar estos factores, se ensamblará el prototipo y se moverán manualmente las piezas simulando los movimientos deseados. Se tomarán anotaciones para correcciones y mejoras para el siguiente prototipo.

Funcionamiento Mecánico-eléctrico

Tras la verificación puramente mecánica del primer prototipo y de realizar los cambios necesarios para su funcionamiento en el diseño, se fabricará el segundo prototipo. En este ya se probará el movimiento de la mano accionada por los servomotores. Los puntos que se verificarán son:

- Se verificará que la señal sea suficientemente amplificada y rectificada, para que pueda ser leída en un puerto analógico del controlador que se utilizará para los motores (como un arduino, por ejemplo).
- Se buscará un umbral de voltaje adecuado para indicarle a los motores que realicen el movimiento asignado al electrodo que detectó la señal.
- La mano realiza los movimientos deseados según el electrodo que detecta la señal muscular, de este modo las señales serán como un interruptor para realizar el movimiento.

Para cumplir esta verificación, se realizarán iteraciones en el *software* hasta que se cumpla lo deseado, así como en el circuito de amplificación y rectificación de la señal.

Comparación con mano real

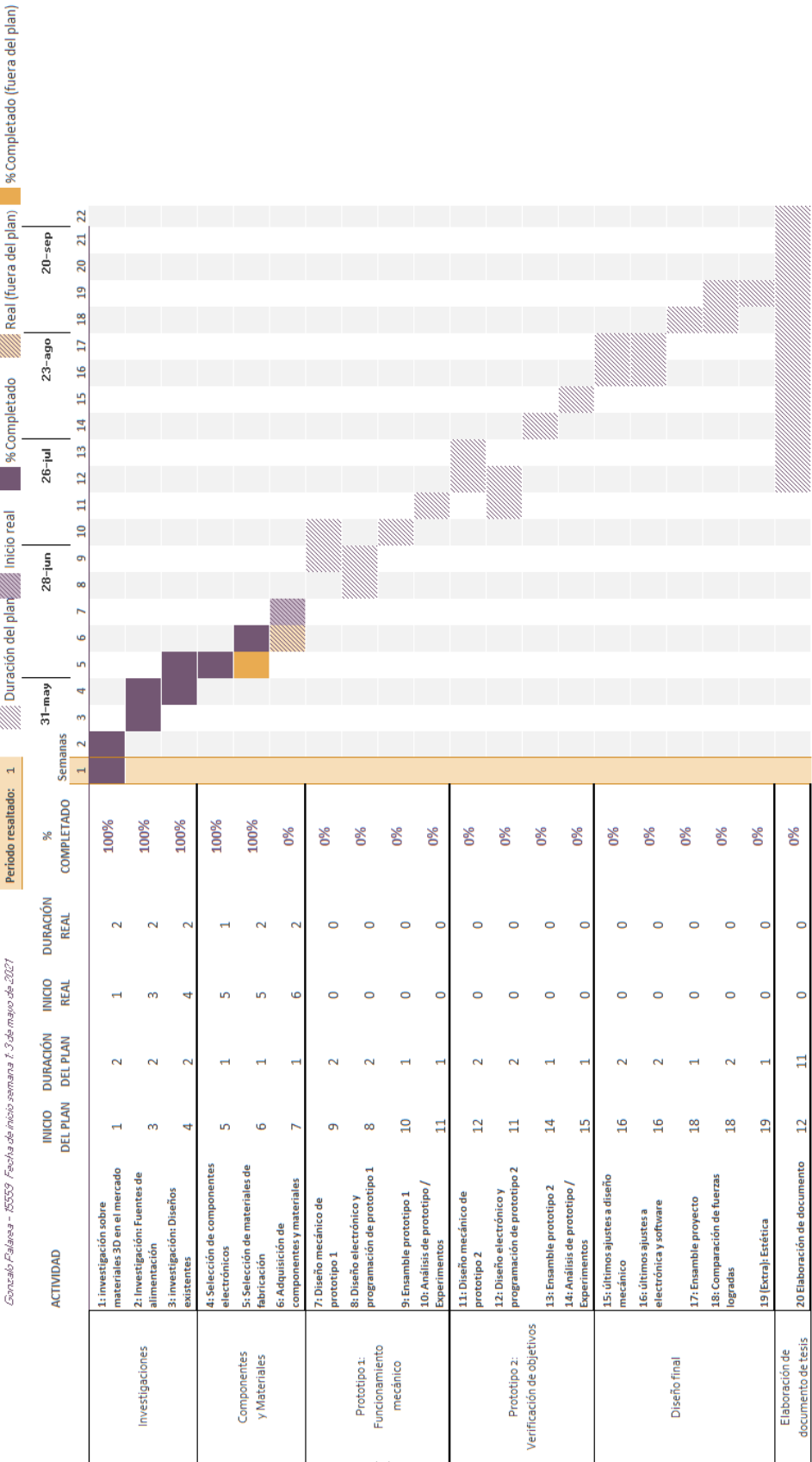
Una vez se tenga la prótesis funcional, se comparará la fuerza que soporta el diseño final con una mano real promedio. El experimento constará en colocar pesos en los dedos e ir incrementando el peso hasta que los motores ya no puedan levantarlo.

Análisis de costos

Por último, se calculará cuántos gramos de filamento para impresión 3D se utilizó para la prótesis para calcular el costo. A esto se le sumarán todos los costos de los componentes electrónicos y demás materiales que se hayan utilizado para calcular el costo total del proyecto. Se asumirá que las empresas que vendan una prótesis similar tengan un margen de ganancia del 50 %, por lo que se le sumará a los costos calculados el 50 %. Con este precio final, se comparará con otras prótesis con funcionamiento similar para verificar cuánto más barato es el diseño creado.

Cronograma de actividades

Cronograma Tesis



Listado de Actividades

1. Investigar qué materiales disponibles en el mercado pueden ser útiles para esta aplicación.
2. Investigar sobre tipos de baterías que puedan servir en este proyecto.
3. Investigar más sobre proyectos similares para extraer ideas útiles.
4. Seleccionar actuadores, sensores y componentes que se usarán en el proyecto.
5. Seleccionar los materiales para la fabricación del esqueleto de la prótesis.
6. Compra de materiales requeridos para realizar el proyecto.
7. Diseños en inventor del mecanismo de la prótesis.
8. Diseños en Altium Designer del circuito de la prótesis y programación del microcontrolador que se usará
9. Ensamble del prototipo 1, únicamente del sistema mecánico. El circuito y programa aún no se implementarán, pero se debe tomar en cuenta la posición donde van los servos y la PCB
10. Pruebas al sistema mecánica. Se verificarán rangos de movimiento, fricciones y rigidez del diseño.
11. Ajustes al sistema mecánico con base en las observaciones de los experimentos del prototipo 1.
12. Integración de PCB y actuadores al diseño mecánico
13. Fabricación del prototipo 2 con el circuito funcional y sistema mecánico mejorado.
14. Pruebas de la prótesis completa. Se realizarán principalmente ajustes al programa con este prototipo.
15. Ajustes finales al diseño mecánico y mejoras estéticas.
16. con base en los experimentos del prototipo dos, se realizarán cambios, de ser necesarios, en el circuito y programa.
17. Ensamble de la versión final del proyecto
18. Ensayos con pesos para verificar la fuerza en los dedos y comparación con una mano real.
19. Modificaciones estéticas finales, como pintura, acabados, piezas adicionales.
20. Elaboración del documento oficial de la tesis.

Índice preliminar

Prefacio	ii
Listado de figuras	iii
Listado de tablas	iv
Resumen	v
Abstracto	vi
1 Introducción	1
2 Antecedentes	3
3 Justificación	6
4 Objetivos	8
5 Alcance	11
6 Marco teórico	13
7 Diseño mecánico	15
8 Diseño electrónico	18
9 Primer prototipo	20
10 Integración de señales EMG	22
11 Versión final	25
12 Conclusiones	27
13 Recomendaciones	28
14 Bibliografía	30
15 Anexos	32
16 Glosario	35

Referencias

- [1] I. Borisov, O. V. Borisova y S. V. Krivosheev, *Prototyping of EMG-Controlled Prosthetic Hand with Sensory System*, IFAC Conference Paper, jul. de 2017.
- [2] *La pobreza, reflejo de la exclusión y la inequidad*, <https://www.gt.undp.org/content/guatemala/es/home/ourwork/povertyreduction>, Accessed: 2021-05-4.
- [3] M. F. Girón, “Interfaz Biomédica para el Control de Sistemas Robóticos Utilizando Señales EMG,” Tesis de licenciatura, Universidad Del Valle de Guatemala, 2020.
- [4] P. Mazariegos, “Diseño e implementación de un nuevo modelo de la mano de la Prótesis Biónica Transhumeral,” Tesis de licenciatura, Universidad Del Valle de Guatemala, 2012.
- [5] K. I. Nazmus Sakib, *Design and Implementation of an EMG Controlled 3D Printed Prosthetic Arm*, IEEE Conference Paper, nov. de 2019.
- [6] 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.
- [7] *Neurocirugía Torres*, <https://neurocirugiatorres.com/articulos-y-consejos/electromiografia-emg-electromiograma/>, Accessed: 2021-04-20.
- [8] L. A. Arias, “Biomecánica y patrones funcionales de la mano,” Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia, 2012.
- [9] T. Craig L y S. Robert J, “The Anatomy and Mechanics of the Human Hand, Artif Limbs,” PMID: 13249858., 1955.