

## DESARROLLO DE UNA PRÓTESIS MIOELÉCTRICA DE MIEMBRO SUPERIOR CON AMPUTACIÓN TRANSRADIAL POR MEDIO DEL USO DE TECNOLOGÍAS 3D

### Development Of A Superior Member Mioelectric Prosthesis With Transradial Amputation Through The Use Of 3D Technologies

John Bejarano<sup>1</sup>  
Diego Barrera<sup>2</sup>

#### Resumen

Este artículo presenta el desarrollo de una prótesis mioeléctrica de miembro superior con amputación transradial de bajo costo, que es controlada por señales electromiográficas producidas mediante la contracción de un músculo, buscando el acondicionamiento de la persona a la manipulación de diferentes objetos y a su entorno. Finalmente, en la implementación de esta prótesis, se obtiene una gran eficiencia y adaptabilidad debido a que es autónoma, resistente, segura y liviana. En cuanto a su funcionamiento, arrojó resultados óptimos, ofreciendo diversos movimientos en la mano para la manipulación de objetos y realización de actividades cotidianas.

**Palabras clave:** Prótesis, mioeléctrica, transradial, sensor Myoware, impresión 3D.

#### Abstract

This article presents the development of a myoelectric limb prosthesis with low cost transradial amputation, which is controlled by electromyographic signals produced by the contraction of a muscle, seeking the conditioning of the person to the manipulation of different objects and their environment. Finally, in the implementation of this prosthesis, a great efficiency and adaptability is obtained because it is autonomous, resistant, safe and light. As for its operation, it showed optimal results, offering various movements in the hand for the manipulation of objects and the performance of daily activities

**Keywords:** Prosthetics, myoelectric, transradial, Myoware sensor, 3D printing.

---

<sup>1</sup> Ingeniero. Universidad de Pamplona. Ciudadela Universitaria. Pamplona, Norte de Santander, Colombia. Correo electrónico johndbv@hotmail.com

<sup>2</sup> Ingeniero. Universidad de Pamplona. Ciudadela Universitaria. Pamplona, Norte de Santander, Colombia. Correo electrónico diego.barrera@unipamplona.edu.co

## 1. INTRODUCCION

Una prótesis mioeléctrica es una estructura desarrollada con el fin de reemplazar una parte o la totalidad de un miembro del cuerpo humano; es decir, sustituye las funciones perdidas del mismo, sin abandonar la figura corporal del paciente (García-Pinzón et al., 2015). Las prótesis son ejecutadas por actuadores que se controlan a través de señales electromiográficas (EMG), las cuales son obtenidas a través de sensores musculares por medio de electrodos superficiales, haciendo contacto directo sobre la piel, situados en el muñón del paciente o en una parte del brazo donde sea captada una mayor actividad muscular (Santafé et al., 2013).

Por otro lado, la pérdida de miembros humanos por artefactos diferentes a los naturales, es una realidad desde hace siglos. Con el transcurso del tiempo se han realizado numerosas invenciones en el campo de la robótica, para dar respuesta a esta compleja dificultad, razón por la cual se decide realizar e implementar este proyecto (García, 2014; Niño-Vega et al., 2016).

Actualmente, la impresión 3D es muy utilizada, debido a que facilita la creación de piezas complejas en tiempo corto además de ser fabricadas a bajo costo, aumentando el flujo de producción (León-Medina & Torres-Barahona, 2016). Esta técnica permite de esta manera al usuario personalizar piezas u objetos como lo desee, ya que ofrece un gran nivel de exactitud y acabado (Cárdenas & Prieto-Ortiz, 2015). La fabricación de piezas se ha hecho más sencilla, utilizando un software CAD (Diseño Asistido por computadora); una de las ventajas del mismo, es que una persona con poco conocimiento puede fabricar piezas con geometrías complejas (Herrera-Baquero & Prieto-Ortiz, 2018).

A su vez, muchos de estos software permiten visualizar una figura bidimensional total del prototipo, en cuanto a, medidas, superficies externas e internas, cortes, perforaciones, tolerancias, ensambles, entre otros (Avila et al., 2012; Cerón-Correa et al., 2013). Se debe tener en cuenta que, si el objeto se compone de varias piezas, se realizan simulaciones de movimiento; esto es muy útil, ya que permite identificar errores mecánicos y de diseño en las piezas antes de llevarlas a ser impresas (Torres et al., 2013).

## 2. DESARROLLO DE LA PRÓTESIS

### 2.2. Diseño estructural y mecánico.

Inicialmente, tras una revisión bibliográfica y aplicando metodología QFD para establecer las características más relevantes a tener en cuenta para la construcción de la prótesis, se inicia el proceso de diseño estructural (Arroyave et al., 2007).

El diseño estructural de la prótesis fue diseñado y desarrollado en el software Solidworks, ejecutando análisis de movimiento, análisis estático y cálculos de resistencia de la prótesis. Posteriormente, se llevó a la impresión 3D, donde se utilizó el software CURA configurando parámetros como la velocidad, temperatura, densidad, anchura, altura y distancia entre capas, soportes, parámetros de ventilación, tipo de adhesión, orientación y ubicación de la pieza con el fin de culminar totalmente la etapa de modelación 3D (Solidwork, 2017).

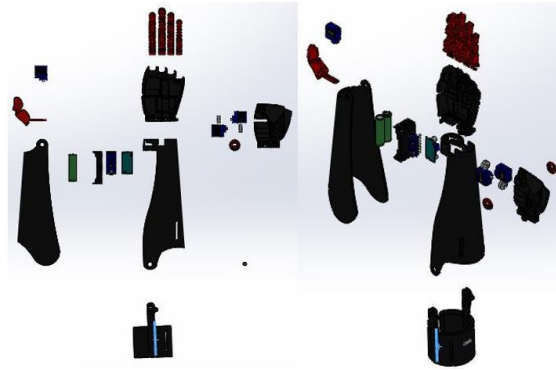


Figura 1. Diseño CAD.

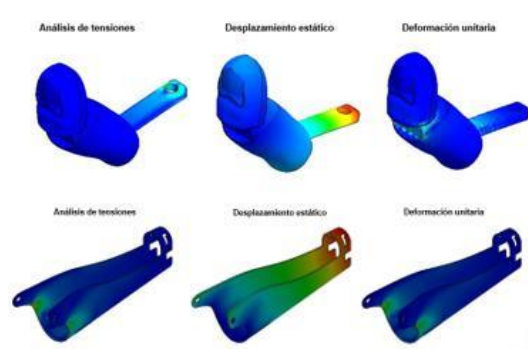


Figura 2. Estudio análisis estático.

### 2.3. Diseño electrónico.

Para el suministro de la energía requerida para el funcionamiento del sistema, se utiliza un circuito de acople que incluye un regulador de voltaje encargado de comprobar que la señal emitida por el sensor Myoware sea la correcta, y que los microservos estén calibrados y graduados a ángulos especificados, ver figura 3.

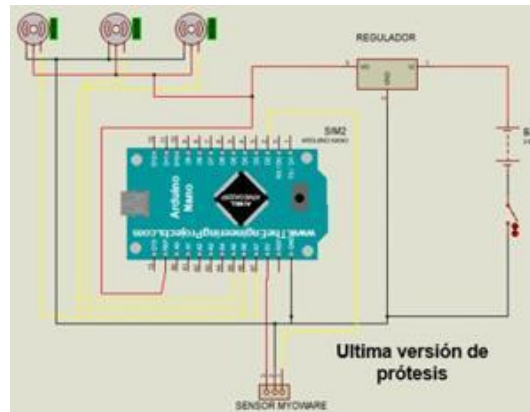


Figura 3. Diseño electrónico.

#### 2.4. Modelo de programación.

Para la construcción teórica y práctica de este apartado, se toma como referencia la investigación de Delgado et al., (2007), esto con el fin de entender el funcionamiento de las señales electromiográficas. El primer paso a realizar, para la elaboración y ejecución del proceso de programación, es captar la lectura de la señal del pin análogo, en este caso, donde se hace la conexión del sensor Myoware y se usa un filtro mediano. Es decir, se lee en la señal un número impar varias veces, donde se ordenarán de menor a mayor los datos tomados y se selecciona el valor de la mitad como la medida, con el fin de, eliminar o quitar ruido de picos altos y bajos. Luego, la señal se umbraliza para distinguir si el dato obtenido corresponde a un voltaje alto o bajo. Cuando se detecta un pico, es decir, que el voltaje sube y posteriormente baja, se cambia la posición de los servos que controlan los dedos de la mano.

Dependiendo de la duración del pico, la posición a la que cambiará la mano será diferente. En este caso, el software distingue entre picos cortos, medianos y largos. Esto da lugar a que la mano pueda tener 4 posiciones predeterminadas que son, abierta, pinza, cierre de palma y cierre de puño. Después de que se ha detectado un pico y la posición de la mano ha sido cambiada, se da un periodo de inactividad en el que la mano permanecerá en la posición actual. Esto, evita que después de realizado el impulso, el ruido obstaculice el funcionamiento de la prótesis.

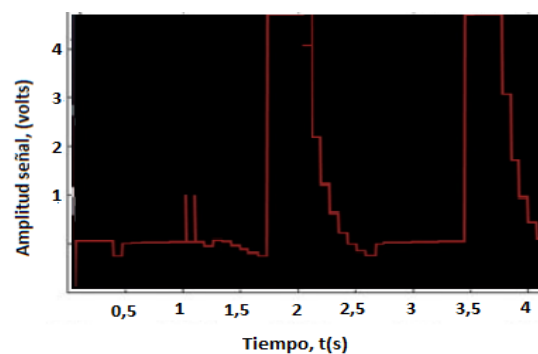


Figura 4. Señal electromiográfica.

### 3. RESULTADOS.

La última etapa se centra en la implementación del prototipo de prótesis y el estudio de su eficiencia, en esta se observa que la prótesis no interfiera con algún movimiento realizado por la persona o con alguna parte de su cuerpo; que el peso no sea muy elevado y requiera de un esfuerzo mínimo y sencillo para ser operada, se analizará la ubicación óptima del sensor para captar las señales (EMG), se verificará el agarre y la fuerza para sujetar diversos objetos en su entorno que serán variados en tamaño forma y peso, por último se verá la autonomía del sistema puesto en funcionamiento.



Figura 5. Implementación prótesis.



Figura 6. Implementación prótesis.



Figura 7. Implementación prótesis.

El diseño de las piezas de la prótesis mioeléctrica fue desarrollado pensando en que pudieran ser fabricadas por medio de un proceso de manufactura disponible en el país, como el uso de una impresora 3D, CNC o el procesamiento de polímeros (extrusión, inyección, termo formado). Con el fin de ser recreado en cualquier parte del país y del mundo a bajo costo, sin fines comerciales, ya que el propósito fundamental de este

proyecto, es ayudar a personas con este tipo de amputación, además de fines educativos. Por tal motivo, desde el inicio del proceso de diseño se escogió que la geometría de los componentes de la prótesis fuera tan sencilla como su funcionalidad lo permitiera, y por consiguiente de fácil fabricación (Bernal, 2012).

#### 4. CONCLUSIONES.

En los últimos tiempos se han evidenciado grandes avances en la elaboración de las prótesis, promoviendo múltiples líneas de investigación que prometen nuevos cambios e innovaciones para ser aplicadas en pro de mejorar el desarrollo de las prótesis mioeléctricas, buscando mejorar la calidad de vida de las personas con malformaciones congénitas o amputación transradial de las extremidades superiores. A raíz de lo anterior, se decidió implementar el desarrollo de una prótesis mioeléctrica de miembro superior con amputación transradial por medio del uso de tecnologías 3D.

Por ende, el desarrollo de este proyecto, aporta experiencias de vida bastantes constructivas a nivel personal y profesional, ya que permite discernir en llevar a cabo proyectos que efectúen este tipo de temáticas, para así profundizar y mejorar cada vez más, en el campo de la robótica. La implementación de este proyecto juega un papel muy importante dentro de las nuevas tecnologías, permitiendo diseñar prótesis mioeléctricas, optimizar circuitos eléctricos y modelos programáticos, garantizando así, una mejor calidad de vida a las personas beneficiarias de las prótesis.

Con respecto a la aplicación del despliegue de la función de calidad, fue muy importante puesto que permitió identificar los aspectos más significativos, para la construcción de la prótesis mioeléctrica, dando prioridad a las desventajas que se presentaban en el modelo anterior de prótesis y necesidades específicas de las diferentes personas beneficiadas.

De igual forma, se observó que la implementación de esta prótesis, tiene una gran eficiencia debido a que es autónoma, resistente, segura y liviana. En cuanto a su funcionamiento, arrojó resultados óptimos, ofreciendo diversos movimientos en la mano para la manipulación de objetos y realización de actividades cotidianas, presentando una adaptabilidad de la persona a su entorno bastante alta, logrando de esta forma una mejor calidad de vida en personas con amputación transradial y compensando así de alguna manera, la pérdida o limitación de las funciones físicas.

Finalmente, la replicación del funcionamiento de la mano humana, fue un reto, en vista de que se deben tener en cuenta bastantes aspectos, desde los movimientos básicos, hasta el material seleccionado para su estructura. A su vez, es bastante complejo la elaboración del modelado del software CAD de superficies orgánicas.

## REFERENCIAS.

- Arroyave, C., Maya, A., & Orozco, C. (2007). *Aplicación De La Metodología QFD En El Proceso De Ingeniería De Requisitos*. Bogotá, Colombia.
- Ávila, A. A., Flórez-Serrano, E., & Gualdrón-Guerrero, O. (2012). Diseño e implementación de un curso interactivo multimedia para el aprendizaje de los procesos CAM en un centro de mecanizado leadwell v30. *REVISTA COLOMBIANA de Tecnologías de Avanzada*, 2 (20). Recuperado de: [http://ojs.unipamplona.edu.co/ojs\\_viceinves/index.php/RCTA/article/view/188](http://ojs.unipamplona.edu.co/ojs_viceinves/index.php/RCTA/article/view/188)
- Bernal, J. (2012). *Diseño y simulación de un prototipo de prótesis de mano bioinspirada con cinco grados de libertad*. Bogotá, Colombia.
- Cárdenas, J. A., & Prieto-Ortíz, F. A. (2015). Diseño de un algoritmo de corrección automática de posición para el proceso de perforado PCB, empleando técnicas de visión artificial. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 5 (2), 107-118. doi: 10.19053/20278306.3720
- Cerón-Correa, A., Salazar-Jiménez, A. E., & Prieto-Ortiz, F. A. (2013). Reconocimiento de rostros y gestos faciales mediante un análisis de relevancia con imágenes 3D. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 4 (1), 7-20. doi: 10.19053/20278306.2563
- Delgado, F., Vallejo, E., & Torres, J. (2007). *Diseño y Construcción de un Sistema de adquisición y Visualización de Señales Electromiográfica*. México.
- García, G. (2014). *Desarrollo de habilidades de la tecnología y la educación DHTIC*. Recuperado de: <https://es.slideshare.net/LupitaGarcia14/prtesis-mioelctricas-36645806>
- García-Pinzón, J. A., Mendoza, L. E., & Flórez, E. G. (2015). Control de brazo electrónico usando señales electromiográficas. *Facultad de Ingeniería*, 24 (39), 71–83.
- Herrera-Baquero, L. P., & Prieto-Ortiz, F. A. (2018). Metodología para la inspección de la herramienta en el taladrado de piezas. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 9 (1), 187-200. doi: <https://doi.org/10.19053/20278306.v9.n1.2018.7937>
- León-Medina, J. X., & Torres-Barahona, E. A. (2016). Herramienta para el diseño de sistemas de posicionamiento tridimensional usados en fabricación digital. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 6 (2), 155–167. doi: <http://doi.org/10.19053/20278306.4603>
- Niño-Vega, J. A., Martínez-Díaz, L. Y., & Fernández-Morales, F. H. (2016). Mano robótica como alternativa para la enseñanza de conceptos de programación en Arduino. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, 2 (28), 132-139. doi: <https://doi.org/10.24054/16927257.v28.n28.2016.2476>
- Santafé, YE., Chaparro, B., & Franco, J. (2013). Detección de patrones característicos con transformadas wavelet en señales electromiográficas del cuádriceps. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, 2 (20), 151-158. Recuperado de: [http://revistas.unipamplona.edu.co/ojs\\_viceinves/index.php/RCTA/article/download/202/206](http://revistas.unipamplona.edu.co/ojs_viceinves/index.php/RCTA/article/download/202/206)
- Solidworks (2017). *Análisis estructural*. Recuperado de: <https://www.solidworks.es/sw/products/simulacion/structural-analysis.html>

Torres, C. J., et al. (2013). Estudio cinemático de una plataforma robótica para agricultura. Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada, 2 (22). Recuperado de:  
[http://ojs.unipamplona.edu.co/ojs\\_viceinves/index.php/RCTA/article/view/421](http://ojs.unipamplona.edu.co/ojs_viceinves/index.php/RCTA/article/view/421)