



*Fabricación de una prótesis transradial para infantes impresa en 3D con filamento flexible y pla*

*Fabrication of a 3D printed transradial prosthesis for infants with flexible filament and pla*

*Fabricação de uma prótese transradial impressa em 3D para bebês com filamento flexível e pla*

Alexandra Orfelina Pazmiño-Armijos<sup>I</sup>  
[apazmino\\_a@epoch.edu.ec](mailto:apazmino_a@epoch.edu.ec)  
<http://orcid.org/0000-0002-5111-7968>

Eduardo Harry Medina-Quintero<sup>II</sup>  
[eduardo.medina@epoch.edu.ec](mailto:eduardo.medina@epoch.edu.ec)  
<http://orcid.org/0000-0001-5336-4164>

Jairo René Jácome-Tinoco<sup>III</sup>  
[jjacome@epoch.edu.ec](mailto:jjacome@epoch.edu.ec)  
<http://orcid.org/0000-0002-3853-3107>

Ernesto Vinicio Pazmiño-Armijos<sup>IV</sup>  
[vini78paz@gmail.com](mailto:vini78paz@gmail.com)  
<http://orcid.org/0000-0003-3905-2046>

**Correspondencia:** [apazmino\\_a@epoch.edu.ec](mailto:apazmino_a@epoch.edu.ec)

Ciencias Técnicas y Aplicadas  
Artículo de Revisión

\***Recibido:** 20 de febrero de 2022 \***Aceptado:** 21 de marzo de 2022 \* **Publicado:** 04 abril de 2022

- I. Ingeniera electrónica en computación y Tecnóloga en Informática aplicada, Especialista en Redes de Comunicación de datos, Magister en Informática Empresarial, miembro el Grupo de Investigación y Estudios en Bioingeniería, Docente de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Riobamba, Ecuador.
- II. Ingeniero Automotriz, Técnico de Investigación del IDI de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Riobamba, Ecuador.
- III. Magíster en Sistemas de Telecomunicaciones, Ingeniero en Electrónica y Computación, Tecnólogo en Informática Aplicada, Docente de la Facultad de Mecánica en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- IV. Tecnólogo en Electromecánica, Docente de la Escuela de Electromecánica del Instituto Superior Carlos Cisneros, Riobamba, Ecuador.

## Resumen

Este trabajo presenta el diseño 3D de una prótesis transradial para infantes mediante manufactura aditiva con filamento flexible y sockets intercambiables, en primera instancia se realiza un estudio del muñón del paciente, de esta forma se identifica las características antropométricas como son forma, dimensiones y peso, luego se realiza un escaneo del muñón del paciente con la ayuda de un dispositivo óptico para capturar las medidas exactas del muñón y se analiza el estado del arte de las prótesis de miembro superior por debajo del codo identificando el avance y desarrollo tecnológico que han tenido. Seguido se obtiene el socket con la ayuda de herramientas CAD, ajustándose a la forma antropométrica del muñón; finalmente se elabora el diseño 3D del encaje del socket con el resto de la prótesis, de tal forma que se pueda sustituir de forma fácil y rápida, por último, se realiza el prototipado de mediante impresión 3D o manufactura aditiva con filamento flexible.

**Palabras clave:** Prótesis transradial; dispositivo óptico; socket.

## Abstract

This work presents the 3D design of a transradial prosthesis for infants by additive manufacturing with flexible filament and interchangeable sockets, in the first instance a study of the patient's stump is carried out, in this way the anthropometric characteristics such as shape, dimensions and weight are identified. then a scan of the patient's stump is performed with the help of an optical device to capture the exact measurements of the stump and the state of the art of upper limb prostheses below the elbow is analyzed, identifying the advance and technological development they have had. Next, the socket is obtained with the help of CAD tools, adjusting to the anthropometric shape of the stump; Finally, the 3D design of the socket fit with the rest of the prosthesis is elaborated, in such a way that it can be replaced easily and quickly, finally, the prototyping is carried out by means of 3D printing or additive manufacturing with flexible filament.

**Keywords:** transradial prosthesis; optical device; socket.

## Resumo

Este trabalho apresenta o projeto 3D de uma prótese transradial para bebês por fabricação aditiva com filamento flexível e soquetes intercambiáveis, em primeira instância é realizado um estudo do coto do paciente, desta forma as características antropométricas como forma, dimensões e peso são

identificado. em seguida, é realizada uma varredura do coto do paciente com o auxílio de um dispositivo óptico para capturar as medidas exatas do coto e é analisado o estado da arte das próteses de membros superiores abaixo do cotovelo, identificando o avanço e o desenvolvimento tecnológico que elas têm teve. Em seguida, o encaixe é obtido com auxílio de ferramentas CAD, ajustando-se ao formato antropométrico do coto; Por fim, é elaborado o desenho 3D do encaixe do encaixe com o restante da prótese, de forma que possa ser substituído de maneira fácil e rápida, por fim, a prototipagem é realizada por meio de impressão 3D ou fabricação aditiva com filamento flexível.

**Palavras-chave:** prótese transradial; dispositivo óptico; soquete.

## Introducción

Diariamente las personas usan sus extremidades para diferentes ocupaciones primordiales, esto provoca que sean dependientes de sus extremidades y de las capacidades que desarrollen con ellas. Por ende, una prótesis se diseña con el objetivo de suplir la pérdida de algún miembro o parte del cuerpo debido a diferentes causas que generan esta sustitución, las más comunes son por algún un tipo de accidente, enfermedades crónicas como la diabetes o de nacimiento (mal congénito)[1][2] A pesar de los esfuerzos que realizan entidades públicas y privadas para brindar solución a las limitaciones físicas de las personas, gran parte de la población está limitada a adquirir una prótesis, ya sea por la cantidad de trámites y requisitos necesarios para iniciar el proceso de obtención de una prótesis y restricciones de acceso por lo costosas que pueden llegar a ser estas[2].

La manufactura digital es una tecnología que se desarrolla de manera exponencial durante la última década, un ejemplo claro de ello es la impresión 3D y es usada en diferentes campos, debido a que permite usar una amplia variedad de materiales con una buena precisión y con la factibilidad de imprimir formas complejas[3].

Por otra parte, muchos de los modelos que se encuentran a la venta no son considerados del todo prácticos debido a su estructura puesto a que tienden a ser pesados, incómodos o muy invasivos, esto sumado a que muchas prótesis son rechazadas debido a que no cuentan con una estética que el paciente considere aceptable. La creación de prótesis a través de una computadora utilizando herramientas CAD simplifica significativamente el trabajo a realizar, y logra mejorar la precisión y exactitud con la que se realizan los mecanizados, logrando ser adaptados con mayor precisión al paciente[2][4].

Sin embargo, el uso de dicha tecnología no ha logrado posicionarse aún como una herramienta que permita el desarrollo de prótesis a nivel nacional, debido a que son limitadas las instituciones que cuentan con este tipo de tecnología y que muestren interés por su aplicación en la fabricación de prótesis[2].

En este artículo se da a conocer la fabricación de una prótesis transradial para infante, impresa en 3D con filamento flexible, con la finalidad de ayudar a personas de escasos recursos reduciendo considerablemente el costo de una prótesis de estas características.

## **Marco Teórico**

- **Escaneo 3D**

Un escáner 3D es un dispositivo que a través de diferentes cámaras analiza un objeto o una escena, registra la geometría y la analiza en una nube de puntos digitales para obtener una representación virtual del mismo [5].

El escaneo 3D determina la forma de la superficie de un objeto o su volumen en un espacio tridimensional. Las mediciones precisas en 3D derivadas de un objeto escaneado son útiles para la inspección de materiales y el control de calidad. Si una tecnología de escaneo 3D es capaz de recolectar una gran cantidad de datos 3D del objeto escaneado, tiene la capacidad de recrear un modelo digital 3D preciso y de alta resolución del objeto del mundo real [6].

- **CAD**

El diseño asistido por computadora (CAD) consiste en aplicar sistemas informáticos para ayudar al proceso de ingeniería para crear, modificar, analizar y optimizar un diseño. Algunas de las ventajas del CAD son: la obtención de dibujos con mayor precisión, la velocidad del proceso de diseño y el producto se introduce con mayor rapidez en el mercado, los sistemas CAD permiten el ahorro radical de dinero y tiempo en el desarrollo y pruebas de un prototipo [6].

La utilización de software CAD - CAM ha hecho que en la actualidad los procesos de manufactura mejoren la producción del 45% al 70% de efectividad, tomando en cuenta el tiempo que se ocupa en la fabricación de piezas y la calidad de la manufacturación [7].

- **Materiales de impresión 3d (filamento flexible)**

Un nuevo tipo de filamento, y uno de los más exitosos, son los filamentos flexibles. Son similares al PLA, pero generalmente están hechos de TPE o TPU. La ventaja de usar estos filamentos para la impresión 3D es que permiten la creación de objetos deformables, en general, estos filamentos

flexibles tienen las mismas características de impresión que PLA, aunque vienen en una variedad de rangos en función de su rigidez [8].

- **Impresión 3D**

La impresión 3D tiene un papel importante en la medicina, porque brinda una posibilidad que no ofrece ninguna otra tecnología, como la elaboración de un producto para fines médicos [9]

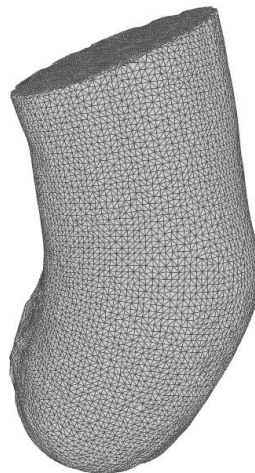
Un escáner 3D es un aparato capaz de capturar la forma y características físicas de un objeto real existente a base de explorar su superficie y tomar medidas en ella respecto a unos puntos de referencia. Existen dos tipos fundamentales de escáneres 3D: los que trabajan por contacto y los que lo hacen sin contacto [10]

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 [11].

## **Metodología**

### ***Escaneo del muñon***

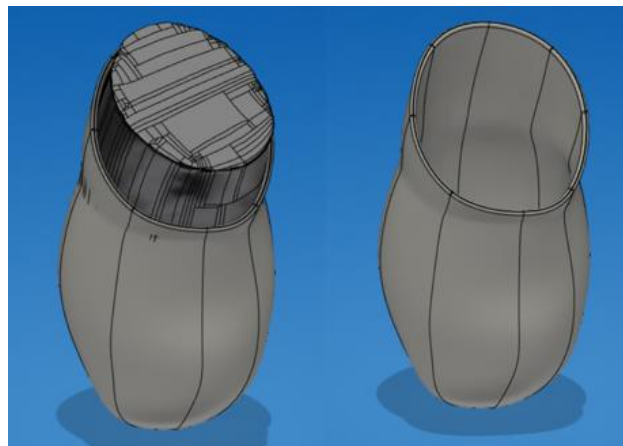
Se realiza mediante un escáner 3D el cual es un dispositivo que analiza objetos y obtiene datos de sus formas y su apariencia, estos datos son usados para reconstrucción digital del objeto y crea una nube de puntos de muestras geométricas sobre la superficie del objeto y a raíz de eso extrapolar la forma del objeto mediante un proceso de reconstrucción digital [12].



**Figura 1.** Escaneo del muñon

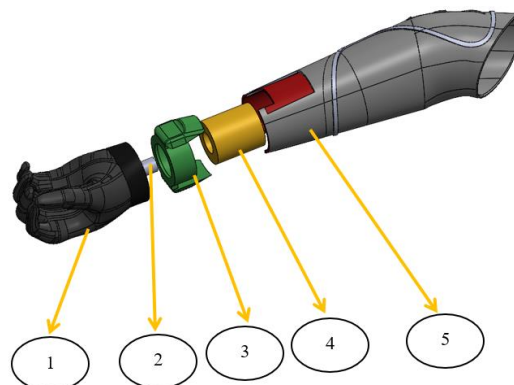
### ***Obtención del socket***

El socket es el componente de encaje que contiene el miembro residual amputado[13]. Del socket depende la comodidad del usuario, la marcha que este desempeña y el uso o abandono de la prótesis. Al momento de realizar el diseño del socket es importante que este se adapte a la morfología del muñón, respetando las zonas que no permiten carga por la molestia que genera el contacto con ellas y generando puntos de apoyo sobre las zonas del miembro residual que lo permiten; además de esto, también es importante tener en cuenta que esta morfología varía a lo largo del día por factores como el nivel de actividad, la alimentación y la variación de volumen en el sistema linfático, haciendo que el usuario perciba un cambio de tallaje en el socket[12].



**Figura 2.** Obtención del socket

### ***Diseño del mecanismo de acople a la muñeca de la prótesis***



**Figura 3.** Diseño del mecanismo de acople a la muñeca de la prótesis

**Mano:** parte removible de la prótesis.

**Unión:** conecta la mano con el acople rápido para unir o separa la mano de la prótesis.

**Bincha:** Permite accionar el acople rápido para remover la mano.

**Acople rápido:** permite reemplazar e intercambiar la mano por otras partes para realizar distintas actividades, se encuentra ubicado entre la mano y la parte transradial del antebrazo.

**Antebrazo:** consta de dos partes para un mejor ensamble, también se encuentra el seguro del acople rápido y el socket.

### **Comparación de la prótesis impresa con filamento PLA y filamento FLEXIBLE**

#### ***Impresión 3D en material PLA***

El PLA es un material amigable con el ambiente, hecho a base de materiales biológicos como almidón o caña de azúcar, pero a diferencia del ABS es más liviano, no tiene buena resistencia ni trabaja a altas temperaturas [14]

#### **CONFIGURACIONES DE IMPRESIÓN EN FILAMENTO PLA**

<b>Temperatura del extrusor</b>	<b>220 °C</b>
<b>Temperatura de la cama</b>	<b>60 °C</b>
<b>Densidad de impresión</b>	<b>20%</b>
<b>Velocidad de impresión</b>	<b>30 mm/s</b>
<b>Altura de capa de impresión</b>	<b>2 mm</b>

**Tabla 1.** Configuraciones de impresión 3D

#### ***Impresión 3D en material FLEXIBLE***

Es un filamento que debido a su elasticidad es moldeable después de la impresión, permite reproducir el comportamiento y el tacto del caucho o de la goma, y crear objetos dúctiles, que resistan los golpes [14].

#### **CONFIGURACIONES DE IMPRESIÓN EN FILAMENTO FLEXIBLE**

<b>Temperatura del extrusor</b>	<b>220 °C</b>
<b>Temperatura de la cama</b>	<b>60 °C</b>
<b>Densidad de impresión</b>	<b>20% y 15%</b>
<b>Velocidad de impresión</b>	<b>17 mm/s</b>
<b>Altura de capa de impresión</b>	<b>2 mm</b>

**Tabla 2.** Configuraciones de impresión 3D



**Figura 4.** Comparación de la prótesis impresa con filamento PLA y filamento FLEXIBLE.

### *Comparación de peso en gramos de la prótesis impresa en filamento PLA y filamento FLEXIBLE.*

Debido a la estructura de la prótesis impresa con filamento PLA se decide simplificar el diseño de la misma de tal forma que disminuya su peso en gramos de 263g y se adapte de mejor manera a la estructura anatómica del muñon obteniendo una prótesis de mano derecha en la cuál se simplifica el diseño escalable y se mejora su geometría, reduciendo considerablemente su peso en gramos de 200g.



**Figura 5.** Comparación de peso en gramos de la prótesis impresa en filamento PLA y filamento FLEXIBLE.

## **Conclusiones**

El diseño del socket se realizó configurando el ajuste exacto para su acople al muñon de la persona y así no necesitar ningún arnés u otro elemento para su ajuste.



El material de impresión 3D PLA resulto ser el material que mejor se adaptó al contacto con la piel humana.

El Prototipo de la prótesis impresa con material FLEXIBLE pesa 23,95% menos al prototipo de Prótesis impresa con materia PLA.

## Referencias

- [1] M. Estrella and Y. López, “Diseño y construcción de prototipo de prótesis biónica, usando tecnología de impresión 3d para personas discapacitadas por amputaciones transradiales del brazo derecho,” Lambayeque, 2019.
- [2] E. Jesús, L. Enrique, and A. Aldana-franco, “Diseño, construcción e implementación de una prótesis de mano mecánica Design, construction and implementation of a mechanical hand prosthesis,” 2018. [Online]. Available: [www.ecorfan.org/taiwan](http://www.ecorfan.org/taiwan)
- [3] M. Flores and C. Verastegui, “Diseño y fabricación de prótesis mioeléctrica de mano de 5 grados de libertad de bajo costo para personas con amputación transradial,” Callao, 2019.
- [4] L. P. Herrera-Baquero and F. A. Prieto-Ortiz, “Metodología para la inspección de la herramienta en el taladrado de piezas,” *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, vol. 9, No.1, no. 2027–8306, pp. 187–200, Jun. 2018, Accessed: Jan. 12, 2022. [Online]. Available: [https://revistas.uptc.edu.co/index.php/investigacion\\_duitama/article/view/7937/7236](https://revistas.uptc.edu.co/index.php/investigacion_duitama/article/view/7937/7236)
- [5] “Disminución de lesiones causadas por prótesis de miembro superior con mecanismo de tenaza en niños mexicanos a través de propuesta de prótesis impresa en 3D.” [Online]. Available: [www.riiit.com.mx](http://www.riiit.com.mx)
- [6] C. De, “escuela superior politécnica de chimborazo facultad de mecánica ‘diseño y construcción de una prótesis ergonómica de antebrazo y mano derecha por medio de tecnologías de escaneo 3d, modelado cad e impresión 3d.’”
- [7] F. V. Valencia Aguirre, C. D. Mejía Echeverría, and V. Erazo-Arteaga, “Desarrollo de una prótesis de rodilla para amputaciones transfemorales usando herramientas computacionales. CAD - CAE - CAM,” *Revista UIS Ingenierías*, vol. 16, no. 2, pp. 23–34, Sep. 2017, doi: 10.18273/revuin.v16n2-2017002.
- [8] Susana Sanchez Restrepo, “Guía completa: plásticos en la impresión 3D,” Jun. 17, 2020.

- [9] O. Duque Suarez, J. Hernández León, D. Alvarado Castro, A. Mauricio Puentes Velásquez Diseño De Un Sistema De Perfilación De Férulas Mediante El, and A. Mauricio Puentes Velásquez, “Brazo Y Tobillo Para Fines De Impresión 3D Revista Infometric@-Serie Ingeniería,” 2019.
- [10] D. Parras, ; Romero, ; Cavas, ; Nieto, ; Cañavate, and ; Fernández-Pacheco, “USE OF 3D SCANNING AND REVERSE ENGINEERING FOR THE PROTOTYPING OF MECHANICAL PARTS.”
- [11] J. Bejarano and D. Barrera, “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,” 2018.
- [12] J. Jerez, “Sistema de ajuste para socket en prótesis transtibial,” Envigado, 2020.
- [13] C. López, L. Bravo, M. Solano, and L. Bautista, “INNOVACIÓN EN PROCESO DE OBTENCIÓN DE SOCKETS TRANSTIBIALES APLICANDO TECNOLOGÍAS DE MANUFACTURA DIGITAL,” in VIII Congreso Internacional de Conocimiento e Innovación - ciki, Sep. 2018, pp. 1–13. Accessed: Jan. 12, 2022. [Online]. Available: Innovación en proceso de obtención de sockets transtibiales aplicando tecnologías de manufactura digital
- [14] O. Estrada, “Diseño y construcción de una prótesis ergonómica de antebrazo y mano derecha por medio de tecnologías de escaneo 3D, modelado CAD e impresión 3D,” Riobamba, 2020. Accessed: Dec. 15, 2021. [Online]. Available: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/14305/1/85T00572.pdf>