



ISSN-e: 2711-3892

# Evaluación de materiales para sockets protésicos: criterios de desempeño en procesos de manufactura aditiva

*Evaluation of materials for prosthetic sockets: performance criteria in additive manufacturing processes*

Juan Pablo Cañizares Ramos<sup>1</sup>, PhD. Luz Karime Hernández Gegen<sup>1</sup>  
PhD. Rafael Bolívar León<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad de Pamplona, Facultad de Ingenierías y arquitectura, Programa de ingeniería mecánica, Pamplona, Norte de Santander, Colombia.

**Correspondencia:** Juan Pablo Cañizares Ramos.  
Correo electrónico:  
juan.canizares@unipamplona.edu.co

**Recibido:** 13/11/2024  
**Aceptado:** 28/12/2024

**Citar así:** J. P. Cañizares Ramos, L. K. Hernández Gegen, y R. Bolívar León, «Evaluación de materiales para sockets protésicos: criterios de desempeño en procesos de manufactura aditiva», SEI, vol. 5, n.º 1, pp. 1–8, dic. 2024.

Recuperado de  
<https://doi.org/10.24054/sei.v5i1.3503>

**Copyright:** © 2024. Universidad de Pamplona, Colombia. La *Revista Semilleros de Investigación* proporciona acceso abierto a todo su contenido bajo los términos de la licencia Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0).

## Resumen

La problemática principal que aborda esta investigación es la falta de accesibilidad a sockets personalizados y económicos para discapacitados, ya que los tradicionales pueden ser costosos y consumir mucho tiempo en su fabricación, lo que dificulta su adquisición. Adicionalmente, la falta de personalización impide que las prótesis se ajusten a las necesidades individuales de cada paciente limitando su movilidad y causando molestias. El socket, es una parte crítica de la prótesis que debe adaptarse perfectamente al muñón del paciente para garantizar una conexión segura y estable entre la prótesis y la extremidad. La fabricación tradicional de un socket puede ser un proceso largo y costoso que requiere varias visitas al médico y pruebas, lo que es difícil para pacientes que viven en áreas remotas o tienen dificultades para moverse. Es por eso, que este proyecto tiene como objetivos el poder seleccionar el material óptimo para la fabricación de la prótesis en función de un proceso por aporte de hilo, lo cual requiere que dicho material, tenga propiedades similares a los materiales convencionales como el Polietileno(PE) y el Polipropileno(PP) esto se logró gracias a el uso del software para selección de materiales ANSYS GRANTA EDUPACK, en el cual se verificaran diferentes filtros dentro del mismo programa con el objetivo de seleccionar un materiales con propiedades mecánicas similares a las antes mencionadas y aparte de esto, que se puedan utilizar en la tecnica de impresión por aporte de hilo, también seleccionar según los costos y facilidad para conseguirlo con el objetivo de que pueda ser accesible para las personas que así lo requieran. Es por esto que el diseño de un socket

impreso en 3D ha demostrado ser una solución viable y eficaz a la falta de accesibilidad de prótesis personalizadas de bajo costo para los usuarios que no cuentan con la facilidad de obtener una prótesis completa fabricadas en los materiales que comúnmente se encuentran en el mercado.

**Palabras clave:** Socket, Manufactura Aditiva, Simulación, Prótesis transtibial, Asequible.

### **Abstract**

The main problem addressed by this research is the lack of accessibility to personalized and economical sockets for the disabled, since traditional sockets can be expensive and time consuming to manufacture, which makes their acquisition difficult. Additionally, the lack of customization prevents prostheses from being adjusted to the individual needs of each patient, limiting their mobility and causing discomfort. The socket is a critical part of the prosthesis that must fit perfectly to the patient's residual limb to ensure a secure and stable connection between the prosthesis and the limb. Traditional socket fabrication can be a lengthy and costly process that requires several doctor visits and tests, which is difficult for patients who live in remote areas or have difficulty moving around. That is why, this project aims to select the optimal material for the manufacture of the prosthesis based on a process by contribution of thread, which requires that the material has similar properties to conventional materials such as polyethylene (PE) and polypropylene (PP) this was achieved through the use of software for material selection ANSYS GRANTA EDUPACK, in which different filters will be verified within the same program with the objective of selecting a material with mechanical properties similar to those mentioned above and apart from this, that can be used in the printing technique by yarn contribution, also select according to the costs and ease to get it with the aim that it can be accessible to people who require it. This is why the design of a 3D printed socket has proven to be a viable and effective solution to the lack of accessibility of low-cost customized prostheses for users who do not have the facility to obtain a complete prosthesis made of materials commonly found in the market.

**Keywords:** Socket, Additive Manufacturing, Simulation, Transtibial prosthesis, Affordable.

## **1. INTRODUCCIÓN**

El desarrollo de prótesis transtibiales ha evolucionado significativamente en los últimos años, gracias a los grandes avances en los diseños de prótesis, en el área clínica y en las nuevas tecnologías de fabricación que conocemos hoy en día. Sin embargo, aún persisten desafíos, ya que perder una extremidad es una experiencia traumática y costosa, en gran parte debido a la dificultad de obtener una prótesis para reemplazar la extremidad amputada [1].

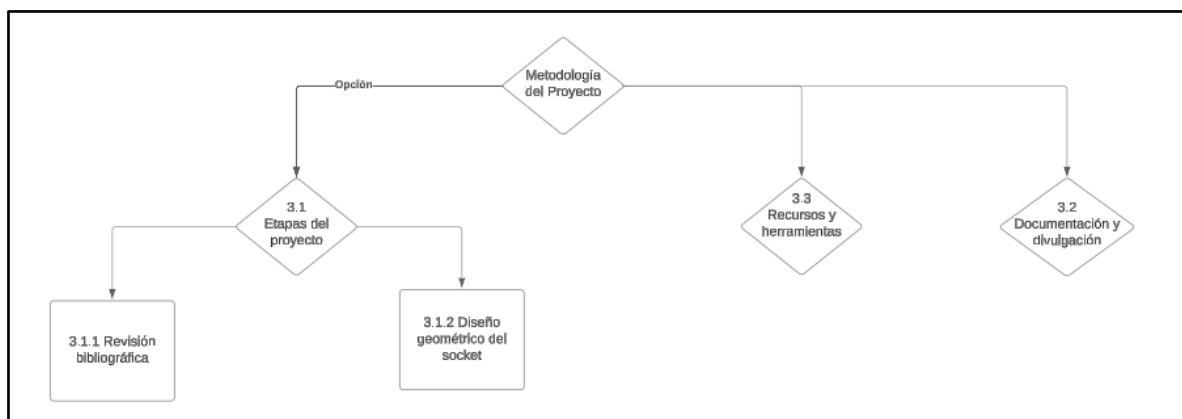
Para la fabricación del encaje, se utilizan técnicas convencionales que combinan métodos meticulosos con el objetivo de garantizar el confort y la funcionalidad del mismo. El proceso inicia con el estudio

del paciente, que involucra exámenes detallados sobre el tipo de amputación, la forma y el estado del muñón. Una vez completada la evaluación, se procede a la toma de medidas y al moldeado del muñón. Este proceso se realiza utilizando moldes de yeso, aplicados capa por capa alrededor del muñón para crear un molde negativo que adopta la forma exacta del paciente. Con el molde negativo listo, se procede a la fabricación del socket mediante técnicas de termo conformado o laminado. En el termo conformado, un material plástico se calienta hasta que se vuelve flexible y se coloca sobre el modelo positivo para que adquiera su forma. En el laminado, se aplican capas de resina y fibra de vidrio (o carbono) sobre el modelo positivo, las cuales se curan para formar una estructura rígida y resistente [2].

La fabricación aditiva (FA) fue desarrollada en los años 80, revolucionando la historia de la manufactura. Es una técnica avanzada utilizada para la creación de geometrías y estructuras complejas mediante la adición de material capa por capa. Los modelos 3D son generados a través de un programa de diseño asistido por ordenador (CAD), los cuales posteriormente se convierten en un archivo. STL (Standard Tessellation Language) para finalmente realizar la impresión [3]. La fabricación aditiva (FA) surge de la necesidad de minimizar el tiempo involucrado en la fabricación de piezas funcionales, lo que la ha convertido en una opción viable en la industria de la atención médica [4]. En particular, ha tenido un impacto significativo en la fabricación de prótesis y órtesis, ya que ofrece una mejor personalización. Esto no solo permite que el dispositivo se adapte a la anatomía del paciente, sino que también posibilita la modificación de aspectos funcionales del dispositivo protésico. Sin embargo, estos procesos suelen implicar costos elevados y tiempos considerables. El objetivo es lograr que las prótesis sean más accesibles para una mayor parte de la población, especialmente para aquellos que viven en zonas de bajos recursos y con acceso limitado a servicios médicos [5].

## 2. METODOLOGÍA

La metodología propuesta para el desarrollo de este proyecto se enfoca en el estudio de materiales para manufactura aditiva. El objetivo principal es identificar el mejor material en función de las propiedades requeridas, de modo que soporte las cargas y reduzca los costos y tiempos de manufactura. Ver figura 1.



*Figura 1. Metodología usada*  
*Fuente: Autor*

## 2.1. Etapas del proyecto

### 2.1.1. Revisión bibliográfica

El objetivo de esta etapa es adquirir un conocimiento profundo sobre los tipos de prótesis existentes, las complicaciones asociadas a ellas, los materiales de fabricación y el proceso empleado para producirlas.

#### Actividades desarrolladas:

- Revisión de libros, tesis y artículos científicos sobre tipos de amputaciones y materiales utilizados para fabricación convencional.
- Identificación de condiciones geométricas relacionadas con el confort y biocompatibilidad.

### 2.1.2. Selección de materiales mediante Ansys Granta Edupack

#### Actividades desarrolladas:

#### -Utilización del software Ansys Granta Edupack y el método Ashby para optimizar la selección del material.

Para este punto, se utilizó el software de Ansys Granta Edupack, con el objetivo de analizar los materiales convencionales, recolectar información con respecto a las propiedades mecánicas de las mismas y posteriormente realizar ingeniería inversa con el objetivo de encontrar un material utilizado por impresión por aporte de hilo que cumpla con los parámetros establecidos (Propiedades mecánicas similares a el PE y al PP)

#### -Selección de materiales empleados en fabricación convencional.

Para este apartado, se seleccionaron dos materiales con los cuales convencionalmente se realiza la fabricación convencional de sockets, que son el Polietileno y el Polipropileno, con estos materiales seleccionados, se paso al software Ansys Granta Edupack, y se observaron las propiedades asociadas a el esfuerzo de flexión a cuál está sometido el socket, que son el *Yield strength* y el *Flexural Modulos*. Ver Figura 2, 3.

Mechanical properties					
Young's modulus	ⓘ	1,37	-	1,58	GPa
Specific stiffness	ⓘ	1,52	-	1,76	MN.m/kg
Yield strength (elastic limit) ←	ⓘ	31,9	-	36,4	MPa
Flexural modulus ←	ⓘ	1,33	-	1,61	GPa
Flexural strength (modulus of rupture)	ⓘ	34,4	-	51,4	MPa
Shear modulus	ⓘ	* 0,519	-	0,532	GPa

Figura 2. Propiedades mecánicas del PP

Mechanical properties					
Young's modulus	ⓘ	0,172	-	0,283	GPa
Specific stiffness	ⓘ	0,186	-	0,306	MN.m/kg
Yield strength (elastic limit)	ⓘ	8,96	-	14,5	MPa
Flexural modulus	ⓘ	0,241	-	0,33	GPa
Flexural strength (modulus of rupture)	ⓘ	* 18,6	-	37	MPa
Shear modulus	ⓘ	* 0,0594	-	0,0977	GPa

Figura 3. Propiedades mecánicas del PE

Luego de esto, se escogen los valores de menor rango, que, en este caso, son los del Polietileno, que sería un *Yield Strength* de 8,96 Mpa y un *Flexural modulus* de 0,241 Gpa, para posteriormente realizar un filtro, y que se muestre únicamente los materiales con estas propiedades mecánicas. Ver figura 4. También limitamos los materiales para que únicamente nos mostrara los materiales que se utilizan para la técnica seleccionada, en este caso, la de impresión por aporte de hilo (Material jetting) y aquellos materiales termoplásticos, los cuales son compatibles para el uso de la técnica antes mencionada. Ver figura 5.

Property	Existe	Mínimo	Máximo	Unit
Young's modulus	ⓘ			GPa
Specific stiffness	ⓘ			MN.m/kg
Yield strength (elastic limit)	ⓘ	8,96		MPa
Tensile strength	ⓘ			MPa
Specific strength	ⓘ			kN.m/kg
Elongation	ⓘ			% strain
Compressive strength	ⓘ			MPa
Tangent modulus	ⓘ			MPa
True plastic stress-strain	<input type="checkbox"/> ⓘ			MPa
Flexural modulus	ⓘ	0,241		GPa
Flexural strength (modulus of rupture)	ⓘ			MPa

Figura 4. Límite de propiedades mecánicas

**2. ETAPAS DE SELECCIÓN**

Gráfico/Índice   Límite   Árbol

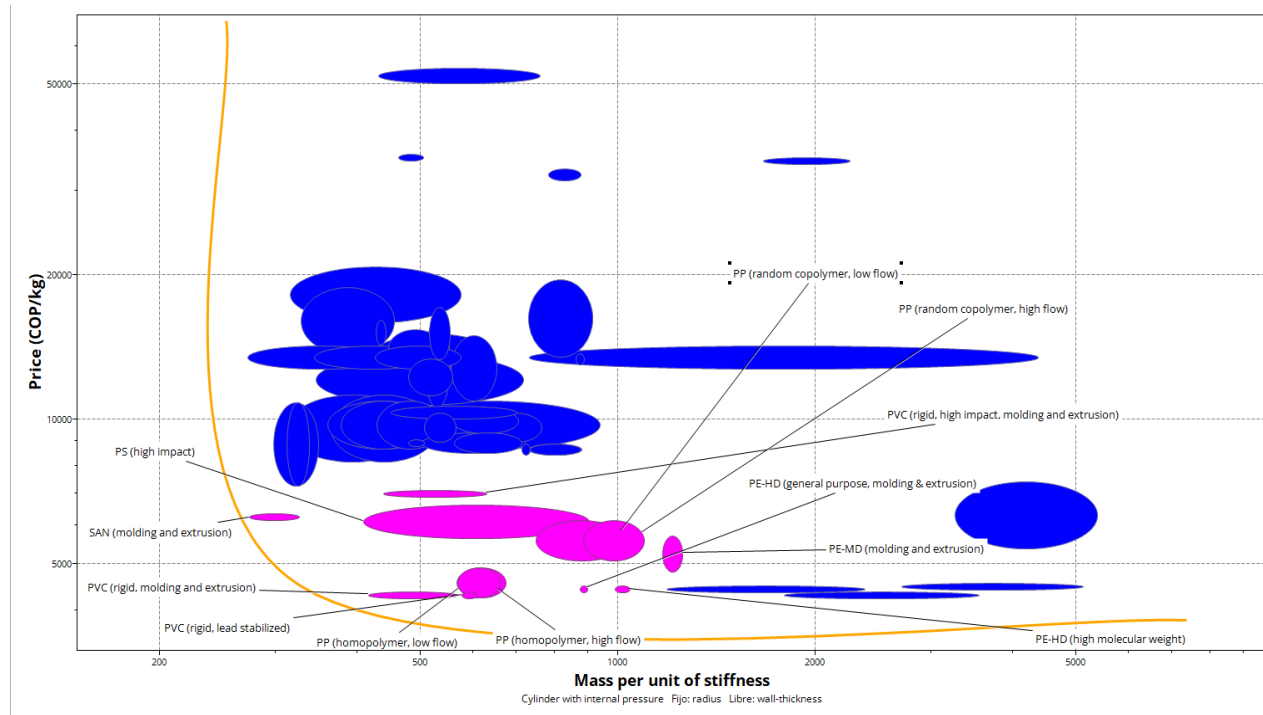
- Etapa 1: Yield strength (elastic limit) Y Flexural modulus
- Etapa 2: Material jetting
- Etapa 3: Thermoplastics

Figura 5. Límites de procesos

Luego de aplicar los límites antes mencionados, se limitó a 52 materiales, de los cuales se analizaron los más exequibles, con mejores propiedades y realizando una optimización de masa por unidad de rigidez, con el objetivo principal de que resista a impactos.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Para la presentación de los resultados obtenidos, se presenta una gráfica, la cual nos muestra los 52 materiales seleccionados mediante los filtros aplicados anteriormente en el programa de Ansys Granta Edupack, y realizando una grafica de precios vs masa por unidad de rigidez, la cual es un parámetro de optimización que el programa nos facilita, el cual simula el socket como si fuera un cilindro y que las fuerzas se aplican en el interior del cilindro.



*Figura 6. Grafica final de precio vs masa por unidad de rigidez*

En la cual se pueden analizar, los distintos materiales obtenidos, al trazar una curva, la cual nos sirvió para el escoger los materiales con un menor precio en el mercado, pero con una optimización favorable en cuando a la masa necesaria para el aumento de la rigidez. Ver figura 6. De los 52 materiales antes mencionados, podemos encontrar con los requerimientos antes mencionados, los siguientes materiales: Poliestireno (PS), copolímero de estireno y acrilonitrilo (SAN), policloruro de vinilo (PVC) el cual se puede encontrar 3 presentaciones dependiendo los componentes, el Polipropileno (PP) y el Polietileno (PE) de bajo y alto impacto. Todos estos materiales se encuentran con propiedades mecánicas similares a los materiales con los cuales se fabrican convencionalmente, el análisis siguiente, debe ser que tan factible es conseguir estos materiales y el comportamiento mecánico de los mismos al momento de imprimirlo.

### 4. CONCLUSIONES

La selección adecuada del material para la fabricación del socket es un factor crucial en el diseño y desempeño de las prótesis. Garantizar que las propiedades mecánicas del material seleccionado sean similares a las de los métodos de fabricación convencionales es esencial para asegurar la funcionalidad y confort del usuario. En este contexto, se busca no solo que el material tenga una

resistencia adecuada para soportar las cargas a las que estará expuesto, sino también que ofrezca la suficiente flexibilidad y comodidad para adaptarse a las necesidades específicas del paciente. La elección de un material adecuado permite la creación de un socket que simula las propiedades de los métodos tradicionales, pero con la ventaja adicional de la personalización que ofrecen las técnicas de manufactura aditiva.

El uso de manufactura aditiva en la fabricación de sockets de prótesis permite explorar materiales que no son posibles de trabajar mediante técnicas convencionales, como algunos polímeros y composites que ofrecen propiedades mecánicas específicas, tales como alta resistencia a la fatiga, flexibilidad, y ligereza. Esta capacidad de personalizar el material y el diseño de manera más precisa es crucial, ya que las propiedades mecánicas deben estar adaptadas a las características del paciente, en particular a la forma y el tipo de amputación, lo que reduce la posibilidad de fallos en el rendimiento de la prótesis.

Además, el análisis de las propiedades físicas de los materiales seleccionados se convierte en una herramienta clave para evaluar los esfuerzos a los que el socket será sometido durante su uso. Es a través de este análisis que se pueden identificar posibles áreas críticas de fallo, lo que permite ajustar la selección de materiales para mejorar la resistencia, durabilidad y comodidad. Esto implica no solo un conocimiento detallado de las propiedades mecánicas, sino también una comprensión profunda de la interacción entre el material y el cuerpo humano, ya que el socket debe ser suficientemente robusto para garantizar la funcionalidad, pero al mismo tiempo debe ser cómodo para el usuario durante su uso diario.

En conclusión, la selección del material adecuado para la fabricación del socket es una decisión estratégica que influye directamente en el desempeño y la durabilidad de la prótesis. A través de la combinación de materiales avanzados y técnicas de manufactura aditiva, es posible lograr sockets personalizados que no solo replican las propiedades de los métodos tradicionales, sino que también optimizan el costo y mejoran la experiencia del usuario final.

## REFERENCIAS

- [1] U. I. S. P. A. T. Kumbhar, «Experimental analysis of mechanical properties for polylactic acid reinforced with silicon carbide-based composite material fabricated by fused deposition modelling process,» *Materials Today: Proceedings*, vol. 72, n° 1, p. 2557–2561, 2022.
- [2] R. M. & S. C. P. McKinley, «Prosthetic socket design: A review of the clinical and technical aspects,» *Journal of Rehabilitation Research and Development*, vol. 54, n° 3, pp. 357-368, 2017.
- [3] D. K. P. J. Smith, «Palladium-catalyzed cycloisomerizations of 1,6-enynes in ionic liquids: Remarkably selective synthesis of polycyclic aromatic hydrocarbons,» *ACS Catalysis*, vol. 4, n° 5, p. 1055–1060, 2014.
- [4] R. M. J. S. Kumar, «The role of additive manufacturing for biomedical applications: A critical review,» *Journal of Manufacturing Processes*, vol. 64, n° 1, p. 828–850, 2021.
- [5] A. A. y. M. J. Zadpoor, «Additive manufacturing of biomaterials, tissues, and organs,» 2017.
- [6] C. & M. L. Crerand, «Encyclopedia of body image and human appearance,» de *Encyclopedia of body image and human appearance*, Oxford, Academic Press, 2012, pp. 1-7.
- [7] N. M. I. & P. M. Benjuya, «The effects of robotic rehabilitation training on gait and balance in patients post stroke: A systematic review and meta-analysis,» *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, vol. 20, n° 1, pp. 1-14, 2023.
- [8] A. & V. Kumar, «Prosthetic socket designs in rehabilitation and improving healthcare to the



transtibial amputee: Challenges and opportunities,» *Prosthetic Design and Rehabilitation*, vol. II, n° 1, pp. 143-161, 2022.

- [9] N. a. L. M. C. Guo, «Additive manufacturing: technology, applications and research needs,» *Frontiers of Mechanical Engineering*, vol. 8, n° 3, pp. 215-243, 2013.
- [10] P. S. M. J. P. K. a. R. S. Badoniya, «A state-of-the-art review on metal additive manufacturing: milestones, trends, challenges and perspectives,» *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, vol. 46, n° 6, pp. 1-34, 2024.