



Doi: <https://doi.org/10.70577/ASCE/2012.2032/2025>

**Recibido:** 2025-06-25

**Aceptado:** 2025-07-25

**Publicado:** 2025-08-29

**Proceso de fabricación de prótesis y órtesis mediante impresión 3D con materiales plásticos reciclados.**

**Process of printing prostheses and orthoses through 3d printing using recycled plastic material.**

**Autores**

**Juan Pablo Pazmiño Piedra<sup>1</sup>**

[juan.pazmino@ucacue.edu.ec](mailto:juan.pazmino@ucacue.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0003-0069-7680>

**Universidad Católica de Cuenca**

Cuenca - Ecuador

**Ángel Ariel Cedillo Illescas<sup>2</sup>**

[angel.cedillo.36@est.ucacue.edu.ec](mailto:angel.cedillo.36@est.ucacue.edu.ec)

<https://orcid.org/0009-0000-7057-6783>

**Universidad Católica de Cuenca**

Cuenca - Ecuador

**Danny Steven Solano Arpi<sup>3</sup>**

[danny.solano.62@est.ucacue.edu.ec](mailto:danny.solano.62@est.ucacue.edu.ec)

<https://orcid.org/0009-0004-0766-5619>

**Universidad Católica de Cuenca**

Cuenca - Ecuador

**Cómo citar**

Pazmiño Piedra, J. P., Cedillo Illescas, Ángel A., & Solano Arpi, D. S. (2025). Proceso de fabricación de prótesis y órtesis mediante impresión 3D con materiales plásticos reciclados. *ASCE*, 4(3), 2012–2032.



## Resumen

La contaminación a causa de plásticos constituye uno de los retos ambientales más serios del siglo XXI, debido a los millones de toneladas de residuos que se producen cada año a nivel global. También otro desafío importante de esta época es la generación de prótesis y órtesis personalizadas, necesarias para mejorar la calidad de vida de muchas personas. Por esto, se buscó desarrollar un proyecto que permita abordar ambas problemáticas de manera simultánea, en este documento se propuso una alternativa sostenible para la fabricación de prótesis y órtesis mediante tecnologías de impresión 3D a partir de plástico reciclado, además se usó una metodología cuantitativa y experimental, que trabajó en el desarrollo y optimización de un sistema para la producción de filamento 3D a partir de plásticos reciclados fragmentados y su viabilidad técnica. Además, se realizó experimentos con diferentes tipos de polímeros reciclables, con especial énfasis en los plásticos tipo 2 y 5, debido a su disponibilidad y propiedades mecánicas favorables para esta aplicación.

La investigación contemplo aspectos relevantes como la elección del material más adecuado, el proceso de extrusión del filamento y su tratamiento posterior para dar lugar a dispositivos médicos personalizados. Esta propuesta no solo contribuye a disminuir el impacto ambiental generado por los residuos plásticos, sino que también ofrece una solución eficiente y económica. Así, se logra un importante aumento en la eficiencia del proceso y una reducción significativa de costos en comparación con los métodos tradicionales de fabricación.

**Palabras clave:** Contaminación; Impresión; Métodos De Impresión; Tratamiento De Residuos; Rehabilitación Médica; Plásticos; Materiales.



## Abstract

One of the most serious environmental challenges of the 21st century is the pollution caused by the tons of waste produced globally each year. Another significant challenge of the era is the generation of personalized prostheses and orthoses necessities to improve many people's quality of life. For this reason, we developed a project using an applied methodology to address both problems simultaneously. In this paper we propose a sustainable alternative for the manufacture of prostheses and orthoses through 3D printing technologies from recycled plastic, using an applied methodology to develop and optimize a system for producing 3D filament from fragmented recycled plastics. Experiments were conducted using different types of recyclable polymers, with special emphasis on type 2 and 5 plastics, due to their availability and favourable mechanical properties for this application.

The study addresses key factors including aspects such as the choice of the most suitable material, the extrusion process of the filament and its subsequent treatment to give rise to personalized medical devices. This proposal not only contributes to reduce the environmental impact generated by plastic waste, but also offers an efficient and economical solution. Thus, a significant increase in process efficiency and a significant cost reduction compared to traditional manufacturing methods is achieved.

**Keywords:** Plastic Contamination; 3d Printing; Recycled Plastic; Customized Prosthesis; 3d Filament.



---

## Introducción

En primera instancia este proyecto nace de una iniciativa anterior no formalizada, para la elaboración de filamento para impresión 3D a partir de material reciclado. Para esto, se desarrolla una maquina usando como base a un diseño conocidos como DIY (Do It Yourself) PET Filament Maker, el cual utiliza componentes comunes en impresoras 3D, tales como extrusores y motores paso a paso. A partir de estas referencias, se diseña una versión optimizada del sistema, adaptada específicamente para la fabricación de filamento a partir de botellas plásticas.

El uso de diferentes materiales en la rehabilitación medica mediante la fabricación de prótesis y órtesis representa un campo interdisciplinario que integra diferentes campos como medicina, ingeniería biomédica y el uso de tecnologías emergentes. Una prótesis según Lobo (2025), se entiende como un dispositivo medico diseñado para reemplazar parcial o totalmente una extremidad u órgano perdido, mientras que según Antoñana-Gonzalo (2021), una órtesis se define como una herramienta de soporte de uso en extremidades externas destinado a ayudar a corregir, alinear o mejorar una parte del cuerpo. Estos dispositivos cumplen una función fundamental con el propósito de promover la recuperación y potenciar la calidad de vida de diferentes pacientes, además de ayudar a facilitar su reintegración a sus actividades cotidianas.

Estos dispositivos son tradicionalmente fabricados con materiales de alta resistencia y calidad como son metales, siliconas, fibra de carbono, entre otros. Aunque ofrecen múltiples ventajas también presentan limitaciones como los altos costos asociados a la producción debido a los prolongados tiempos de fabricación y costo de materia prima, lo que los hace poco accesibles para los pacientes con recursos limitados. En este contexto, la impresión 3D surge como alternativa para innovar en diferentes procesos como el diseño, desarrollo, fabricación, y además de la reducción de costos de estos dispositivos médicos.

Para que la fabricación de estos equipos médicos sea más accesible es necesario optar por materiales reciclados. En este sentido, el empleo de polímeros reciclados en la impresión 3D añade valor, ya que no solo responde en mejorar la accesibilidad a estos dispositivos sino también en disminuir el impacto ambiental a través del tratamiento y reutilización de diferentes materiales. La utilización de estos materiales permite disminuir el volumen de desechos acumulados en vertederos o ecosistemas, también reduce las emisiones contaminantes y la dependencia del uso de recursos



fósiles para la fabricación de nuevas prótesis u ortesis. De esta forma, se logra disminuir el impacto ambiental del sector medico al reciclar residuos que de otro modo tardarían un par de siglos en degradarse y al mismo tiempo generar mayor accesibilidad.

La demanda de estos dispositivos crece de manera constante debido a diferentes causas cada vez más comunes. Sin embargo, los métodos de fabricación convencionales no pueden satisfacer la demanda y tampoco los pacientes pueden permitirse la adquisición de estos elementos debido a diferentes circunstancias (Minuto, 2025). Por otro lado, también la generación de estos elementos genera un impacto ambiental considerable ya que depende de recursos no renovables y produce desechos difíciles de procesar y degradar.

El problema medioambiental de la contaminación por diferentes residuos es uno de los más serios a enfrentar actualmente en el siglo XXI. Se estima que la producción de polímeros anualmente supera los 430 millones de toneladas y dos tercios de esta cantidad proviene de productos de un solo uso (UNEP, 2023). En este contexto, resulta necesario desarrollar alternativas que sean sostenibles, para esto se propone una idea que ayude a solucionar esta problemática, la cual es reciclar material compatible para la fabricación de prótesis y ortesis.

Según Koç (2023), el uso de plásticos reciclados con la tecnología de impresión 3D no solo reduce estos residuos, también abre posibilidades para la fabricación de nuevos productos con costos más accesibles. En los últimos años, esta tecnología ha revolucionado múltiples industrias, destacándose especialmente en el ámbito médico. Su aplicación en la producción de diferentes productos ha cambiado radicalmente los métodos de fabricación, específicamente en el desarrollo de dispositivos médicos especializados y adaptados a los requisitos y necesidades de cada individuo (Singh, 2024).

En la impresión 3D existe una amplia diversidad de materiales, cada uno con sus propias características específicas que se adaptan a distintas necesidades según el tipo de objeto a fabricar. Entre los más utilizados se encuentran:

- PLA: Es fuerte, biodegradable y resistente a productos químicos, además, es fácil de imprimir y ofrece una buena calidad visual, pero es frágil y poco resistente al calor y a la humedad (Uddin, 2024).



- ABS: Es altamente resistente, tanto al calor como a químicos, pero puede emitir vapores tóxicos y es sensible a rayos UV, por lo que limita su uso en exteriores (Brown & Davis, 2024).
- TPU: Extremadamente flexible y elástico, aunque más costoso. Su impresión es lenta y puede generar imperfecciones en la geometría final de la pieza (Beloshenko, 2021).
- PETG (tereftalato de polietileno glicol): Combina características del PLA y el ABS, lo cual lo hace más resistente que el primero y más fácil de imprimir que el segundo (Pandey, 2024).
- Nylon (poliamida): Es un polímero de alta resistencia mecánica, flexibilidad y excelente durabilidad. Soporta fricción, desgaste y esfuerzos dinámicos. No obstante, absorbe humedad con facilidad, lo que exige condiciones de almacenamiento y secado específicas (Chatterjee, 2021).

Estos materiales cuentan con una alta disponibilidad comercial y con costos accesibles, pero la dependencia de procesos industriales minuciosos para su elaboración y reutilización se ha convertido en una barrera para proyectos que buscan modelos de producción sostenibles y accesibles (Espach, 2020).

En base a este contexto, para la obtención de la materia prima fundamental se optó primeramente en procesar el material obtenido de botellas desechables de forma independiente, con el uso de una trituradora, sin embargo, debido a diferentes dificultades técnicas al momento de fundir las tiras de plástico en el extrusor causaba muchas deformidades en el filamento resultante. Debido a esto, se explora la posibilidad de colaborar y usar los materiales reciclados del proyecto Pichaybot, encargado de reciclar materiales de uso común en nuestro día a día. El proyecto ofrece diferentes tipos de plásticos procesados, cada uno con características específicas que los hacen adecuados para distintos usos. En este sentido, se ha seleccionado los siguientes materiales como posible materia prima para la producción de filamento destinado a la fabricación de prótesis y ortesis.

*Tabla 1: Principales características de plásticos comunes usados*

| <b>Tipo de Plástico</b> | <b>Nombre Común</b>                 | <b>Propiedades</b>                                    | <b>Uso Común</b>                                  |
|-------------------------|-------------------------------------|---|---|
| 1                       | PET (Polietileno Tereftalato)       | Ligero, transparente, resistente a la corrosión       | Botellas de agua, envases de alimentos            |
| 2                       | HDPE (Polietileno de Alta Densidad) | Resistente a la corrosión, duradero, impermeable      | Envases de productos químicos, tuberías, juguetes |
| 3                       | PVC (Policloruro de Vinilo)         | Flexible, resistente al agua, económico               | Tubos, ventanas                                   |
| 4                       | LDPE (Polietileno de Baja Densidad) | Flexible, resistente a la corrosión, fácil de moldear | Bolsas de plástico, envases de alimentos          |
| 5                       | PP (Polipropileno)                  | Ligero, resistente al calor, económico                | Envases de alimentos, muebles                     |

Fuente: Elaboración propia

- PET (Polietileno Tereftalato) polímero semicristalino con alta resistencia mecánica y térmica posee una buena estabilidad dimensional y resistencia a la humedad, es comúnmente usado en prótesis que requieren estabilidad estructural.
- HDPE (Polietileno de Alta Densidad) polímero no polar con alta cristalinidad fácil de procesar además de poseer una alta resistencia química y baja absorción de humedad. Su rigidez y ligereza lo hacen útil en ortesis de soporte y componentes sometidos a carga moderada.
- PVC (Policloruro de Vinilo) termoplástico que contiene cloro, con buena resistencia química, al desgaste y a la abrasión, complicado de procesar, pero muy usado en aplicaciones médicas y ortésicas.



- LDPE (Poliétileno de Baja Densidad) polímero de baja cristalinidad, flexible, resistente al impacto y con baja densidad. Se utiliza en piezas que requieren elasticidad, como elementos de ajuste en ortesis.
- PP (Polipropileno) polímero semicristalino con alta resistencia química, buena fatiga mecánica y baja densidad es usado comúnmente en dispositivos médicos ligeros y duraderos que requieren comodidad y resistencia al uso continuo.

En base a la obtención de estos nuevos materiales, se buscó mejorar la producción de filamento optando por la adquisición de una maquina capaz de procesar directamente el material de manera más eficiente. Además, se busca realizar pruebas para la elección del material a usar, lo que no solo hace que las soluciones ortopédicas o protésicas puedan ser más funcionales y cómodas, sino que también hace que sean más accesibles para los pacientes y ayudar a mejorar su calidad de vida (Gebler, 2020).

Por consiguiente, en Ecuador, según datos de (Debrouwere, 2021), aproximadamente el 50 por ciento de las personas con discapacidad pertenecen a sectores de bajos recursos, con ingresos mensuales de entre 0 y 30 dólares. Esta situación limita significativamente su acceso a oportunidades laborales y, en consecuencia, a dispositivos médicos esenciales. En particular, se estima que 259.874 personas requieren prótesis y 16.472 necesitan órtesis en el país.

Ante esta realidad, el objetivo de este proyecto es proponer una alternativa innovadora y sostenible para fabricar prótesis y órtesis mediante impresión 3D, con plástico reciclado como materia prima (Fico, 2022). Esta iniciativa no solo busca reducir costos de producción, sino también contribuir a la gestión responsable de los residuos plásticos, alineándose con principios de economía circular y desarrollo sostenible (Achilias, 2025). A partir de este objetivo, se plantean los siguientes objetivos específicos:

1. Seleccionar los materiales plásticos reciclados más adecuados para la fabricación de prótesis y ortesis.
2. Ajustar los parámetros de impresión 3D con el fin de garantizar la calidad estructural y la funcionalidad de los dispositivos.



3. Evaluar la viabilidad técnica y la aceptación social de las prótesis y órtesis en la población objetivo.
4. Evaluar los beneficios ambientales que puede tener el uso de plásticos reciclados.

En este trabajo, se detalla el proceso de fabricación de prótesis y órtesis a partir de impresión 3D, desde la obtención y procesamiento del material reciclado hasta la producción de dispositivos accesibles.

### **Metodología**

La presente investigación adopta un método cuantitativo y experimental usando un enfoque de prueba y error para validar la teoría con la práctica. Este enfoque no solo busca generar conocimientos del proceso de fabricación de filamento y posterior elaboración de prótesis y órtesis con impresión 3D usando plástica reciclado, sino también demostrar la posible aplicabilidad de estos productos en un contexto real.

Asimismo, la metodología propuesta responde a los criterios de accesibilidad y sostenibilidad lo que permite evaluar como la reutilización de plásticos ayuda con la reducción de residuos y la fabricación de dispositivos médicos accesibles. Al trabajar con diferentes materiales y tecnologías como la impresión 3D, el presente permite explorar posibles alternativas innovadoras que combinan la economía circular y el desarrollo de avances tecnológicos y al mismo tiempo cumplir con las necesidades de los pacientes.

En base a este contexto, la investigación se desarrolla en varias etapas, como primer punto, se define la población. El segundo punto documenta el proceso de selección de la maquina a adquirir y los materiales a usar, para esto se evaluará las diferentes propiedades mecánicas y químicas, y se realizará pruebas para garantizar el tipo de filamento a usar. Posteriormente, se describirá el sistema de procesamiento implementando con la nueva máquina más un software desarrollado para el control de bobinado del material resultante. Por consiguiente, se realizará el diseño y fabricación de diferentes ortesis para su fabricación a partir del material reciclado obtenido.

## Población

La población objetivo de este proyecto está conformada por personas que requieren prótesis y órtesis personalizadas, especialmente aquellas con amputaciones, malformaciones congénitas o lesiones que afectan su movilidad y funcionalidad. Este grupo incluye tanto a adultos como a niños que, por sus condiciones físicas, dependen de dispositivos médicos para realizar actividades cotidianas y potenciar de manera significativa su calidad de vida. Además, se enfoca en personas que, debido a limitaciones económicas, no tienen acceso a soluciones ortopédicas tradicionales, las cuales suelen ser costosas, incómodas y de difícil adquisición en sectores vulnerables.

## Generación del filamento

Se opta por mejorar el equipo de producción de filamento con la adquisición de una nueva máquina llamada REX-C100 (ver figura 1), la cual permite procesar plástico triturado y llevar a cabo la extrusión de filamento 3D de manera eficiente. El proceso de producción con esta nueva máquina comienza con gránulos plásticos que son colocados en el embudo de la máquina. Los gránulos luego fluyen gracias a un motor paso a paso que acciona un tornillo sin fin que mueve el material plástico a través del barril calentado. A medida que el plástico avanza hacia los calentadores eléctricos se funde mientras se mezcla gracias a los surcos del tornillo, homogeneizándolo para una distribución relativamente uniforme sin dejar vacíos dentro del agregado. Una vez fundido y homogeneizado, el plástico se fuerza a través de una boquilla o matriz situada al final del barril. Esta boquilla define el diámetro del filamento extruido, lo que garantiza uniformidad en sus dimensiones.



*Figura 1: Máquina extrusora REX-C100*

Con el proceso de elaboración mejorado y bien definido se decide someter a diferentes pruebas y análisis los materiales con el fin de seleccionar el material más adecuado para el uso en la fabricación de las soluciones médicas. Para esto se aplica diferentes comparaciones como son: la elasticidad de los plásticos y otras propiedades químicas como se detallan a continuación.

*Tabla 2: Comparación de las variables de los diferentes tipos de plásticos*

| <b>Propiedad</b>           | <b>PET</b> | <b>HDPE</b> | <b>PVC</b> | <b>LDPE</b> | <b>PP</b>  |
|----------------------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|
| Resistencia a la corrosión | Moderada   | Alta        | Alta       | Media       | Alta       |
| Durabilidad                | Media      | Alta        | Alta       | Baja-Media  | Media-Alta |
| Resistencia al impacto     | Baja       | Media-Alta  | Media      | Baja        | Media      |
| Temperatura de fusión      | 260°C      | 120–140°C   | 75–105°C   | 105–115°C   | 160–170°C  |
| Elasticidad                | Baja       | Media       | Baja-Media | Alta        | Media      |

Fuente: Elaboración propia

En base a estos resultados se comprobó que el plástico Tipo 2 conocido como polietileno de alta densidad (HDPE), debido a su resistencia a la corrosión y degradación por altas temperaturas. Si bien el PET (plástico tipo 1) es usualmente reciclado para utilizarse en filamentos para impresoras 3D. Lodha (2023), señala que ‘el HDPE es preferido en aplicaciones que requieren alta resistencia a la corrosión y durabilidad, lo hace ideal para prótesis que deben soportar un uso constante’.

- Resistencia a la corrosión: El HDPE es altamente resistente a la corrosión química, lo que lo hace ideal para aplicaciones donde el material puede estar expuesto a sustancias químicas.
- Durabilidad: Tiene una mayor durabilidad en comparación con otros plásticos, lo que es crucial para prótesis que deben soportar el uso diario.



- Resistencia al impacto: Ofrece una buena resistencia al impacto, lo cual es esencial para prótesis que pueden estar sujetas a golpes o caídas

Además, se también se comprobó que el plástico Tipo 5 conocido como propileno (PP), gracias a sus diversas propiedades químicas también lo hace idóneo para la fabricación de equipos médicos u otras aplicaciones, pero su reciclaje no es tan común como con los otros materiales, siendo una desventaja a la hora de aprovecharlo como materia prima.

Una vez definida la materia prima y seleccionada la máquina para llevar a cabo la producción de filamento, se busca desarrollar un sistema que integre la maquina adquirida con un sistema de bobinado para almacenar el filamento generado, evitar tensiones o irregularidades que pueden afectar a su calidad. Posteriormente, se implementa un software para el control automatizado del sistema de embobinado y control de temperatura. Para la creación de la interfaz gráfica de usuario se utilizó la librería Tkinter de Python. La comunicación entre el software y la máquina se implementó mediante comunicación serial por cable, lo que permite el envío de comandos y control de las variables en tiempo real. El software cuenta con un panel de control interactivo que permite modificar la velocidad, cambiar la dirección de rotación, pausar, apagar y encender el dispositivo, lo que ofrece un manejo integral del proceso de embobinado y temperatura.

En base al material obtenido se aplican pruebas que para determinar su calidad, en parámetros como dureza, resistencia mecánica y estabilidad térmica. Una vez validado el material clave, se procede a emplearlo en el proceso de impresión 3D para la fabricación de órtesis y prótesis, asegurando que las piezas generadas correspondan a los diseños establecidos y cumplan con las dimensiones requeridas. Comprobado su calidad y viabilidad se realizo el diseño de diferentes ferulas y protesis, ademas de usar modelos de uso publico, adaptado a nuevas necesidades.

Para el diseño se uso programas como Autocad 3D, en primer lugar el proceso de diseño se siguió de la siguiente manera primero se uso un scanner 3D para obtener una representación precisa de la zona anatómica donde se requiere la órtesis o prótesis. Esta digitalización garantiza que el modelo generado sea fiel a las dimensiones reales del paciente. Posteriormente, la información obtenida del escaneo se transfiere a un software de diseño llamado Meshmixer, donde se realiza a la limpieza y corrección de la geometría para eliminar imperfecciones en la malla generada. Una vez

optimizado el archivo, se desarrolla el modelo CAD adaptado a las necesidades específicas de cada paciente, definiendo parámetros como forma, grosor, puntos de soporte y ajustes ergonómicos.

## Resultados

Para la generación del material se realizaron diversas pruebas de temperatura con los que obtuvimos los siguientes resultados (ver figura 2).

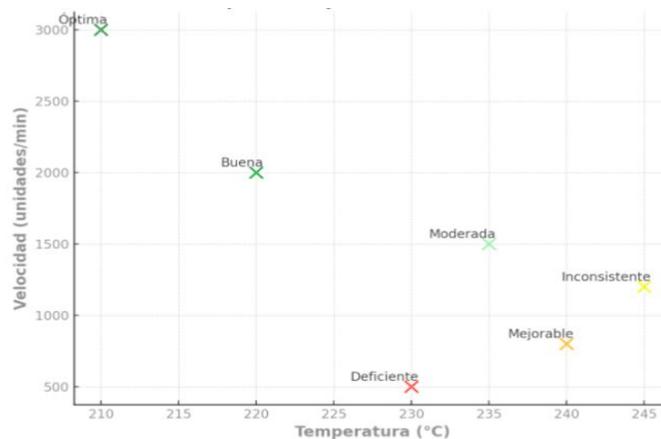


Figura 2: Comparativa de las temperaturas utilizadas en la maquina

Cabe destacar que en las primeras pruebas se experimentaron resultados poco satisfactorios, los índices de extrusión del filamento no se encontraban en líneas uniformes. Con temperaturas de 230 °C y 500 unidades/min se ha encontrado que el material presenta una sección superficial llena de defectos; a su vez se podría comprobar al tacto que su estructura no tiene homogeneidad. Al aumentar la temperatura a 250 °C y aumentar de paso la velocidad con 1000 unidades/min se ha podido comprobar la pérdida en las capacidades fisicoquímicas del material, lo que dejaba entrever que usamos parámetros no viables. Finalmente, al realizar un ajuste más preciso, en el que se redujo la temperatura a 210°C y se aumentó la velocidad a 3000 unidades/min, se logró un filamento más uniforme y estable. La calidad mejoró notablemente, a un nivel regular/buena con tendencia a excelente. Esto demuestra la importancia de ajustar los parámetros para optimizar el rendimiento del material. El material final (ver figura 3) se muestra de una calidad buena para su uso, además de poder ser manipulable y algo flexible, lo que puede aumentar sus posibles aplicaciones.



*Figura 3: Filamento 3D generado a partir de plástico de tipo 2*

Adicionalmente, se evaluó la dureza del material mediante el método Shore D, una prueba estandarizada utilizada para medir la resistencia de materiales duros, como plásticos rígidos y termoplásticos. Este ensayo se realiza mediante un durómetro equipado con un penetrador de punta cónica de 30° y un resorte que aplica una fuerza específica. La profundidad de la indentación resultante se traduce en un valor en la escala Shore D, que varía de 0 (material muy blando) a 100 (material extremadamente duro) (L. Li, 2023).

Dentro de este contexto, realizamos esta prueba y se obtuvo un promedio de 63 Shore D en las diferentes muestras. Esta cifra indica una dureza media, que es suficiente para mantener formas definidas y, aun así, proporcionar cierto grado de flexibilidad. Esto ya se había determinado durante las pruebas de tacto y manipulación.

### **Pruebas de impresión con el material generado**

Para la etapa final, en la que se hicieron las pruebas de impresión, se decidió realizar las pruebas a una temperatura de 240°C, ya que se había observado que conforme aumentaba la temperatura, el plástico fundido se distribuía de mejor manera y las capas se fusionaban de buena forma entre ellas. Las pruebas se realizaron con la impresora ANYCUBIC MEGA S, y se comprobó que, a 240°C, combinada con una velocidad de 50mm/s, se evitan atascos y se mejora la adhesión entre capas. Aunque las primeras impresiones resultaron de calidad deficiente, los ajustes en el proceso y la

selección cuidadosa de la temperatura permitieron evolucionar hasta lograr resultados de calidad buena y, en algunos casos, excelente. En la siguiente tabla (ver tabla 4) explicamos detalladamente el valor de cada parámetro configurado en la impresora para el plástico de tipo 5.

*Tabla 4: Parámetros finales utilizados en la etapa de impresión*

| Parámetro                | Valor    | Descripción   |
|--------------------------|----------|---|
| Temperatura del extrusor | 240°C    | Temperatura seleccionada para fundir el filamento adecuadamente y mejorar la adhesión entre capas |
| Velocidad de impresión   | 50 mm/s  | Velocidad de desplazamiento del extrusor para evitar atascos y mejorar calidad                    |
| Altura de capa           | 0.2 mm   | Espesor de cada capa depositada para balancear calidad y tiempo de impresión                      |
| Temperatura de la cama   | 60°C     | Temperatura de la base para evitar deformaciones y mejorar la adherencia del primer layer         |
| Refrigeración            | Activada | Uso del ventilador para enfriar capas y evitar deformaciones                                      |
| Retracción               | 5 mm     | Distancia que retrocede el filamento para evitar goteos y hilos                                   |

Fuente: Elaboración Propia

Una vez calibrada la impresora se realizaron otras pruebas y en base al escaneo de un dedo de la mano, logramos generar una férula (ver figura 4) que puede ser usada en el dedo índice y además seguimos generando otras prótesis y órtesis con material reciclado para verificar su viabilidad de uso (ver figura 5).



*Figura 4: Resultado de las primeras impresiones de prueba.*



*Figura 5: Resultados finales después de la correcta calibración de la impresora 3d.*



---

## Discusión

En el proceso de investigación realizado se llevó a cabo, por un lado, un exhaustivo proceso de obtención de los materiales y su posterior procesamiento, el desarrollo de un sistema automatizado para la recolección del filamento e inclusive el desarrollo y diseño de prótesis y órtesis. Dado este contexto y los resultados obtenidos se logra evidenciar que el uso de material reciclado como base para la producción y diseño de los diferentes equipos médicos usando la impresión 3D representa una alternativa viable. Las pruebas de calidad realizadas que permitieron verificar que con un tratamiento eficiente y más pulido es posible la reutilización de estos materiales en el campo médico. Además, se evidencio que con la correcta calibración es posible el uso de estos materiales no muy convencionales en la impresión 3D como es el plástico de Tipo 2 (HDEP).

También uno de los aspectos importantes que ayudó a tener el control del proceso fue el software, que permitió la comunicación serial entre el ordenador y la máquina, y que era accesible por una interfaz gráfica. El desarrollo del software dio lugar a una correcta interacción entre la máquina y la unidad de enrollado, para regular la velocidad y la temperatura de forma específica durante la producción.

De igual manera, el uso de software para el proceso de fabricación fue fundamental para el desarrollo de diferentes equipos con impresión 3D. Para finalizar se realizó la prueba de una de estas ortesis en una persona que tuvo una lesión en el dedo índice obteniendo un resultado de recuperación favorable.

En términos generales, este estudio confirma que es posible que la sostenibilidad e innovación tecnológica sean parte de un mismo proceso. Sin embargo, aún no está del todo consolidado la aplicabilidad de esta metodología en contextos médicos, para eso es necesario la ampliación de las pruebas biomecánicas y realizar ensayos de biocompatibilidad que aseguren el cumplimiento de normativas internacionales en los materiales usados para estos dispositivos médicos.



## Conclusiones

El desarrollo de prótesis y órtesis usando impresión 3D a partir de plásticos reciclados presenta una alternativa viable e innovadora que busca responder la necesidad de hacer más accesible estos dispositivos, además busca mitigar los efectos de la contaminación ambiental. La adecuada selección y tratamiento de materiales demuestra que los residuos puedan transformarse en recursos útiles de alto impacto, en este caso en el campo de la rehabilitación médica.

La correcta configuración de los parámetros de impresión 3D y reutilización de materiales ha demostrado que pueden generar productos con calidad desde decente hasta de muy buena calidad, lo que puede asegurar una funcionalidad similar o casi igual a los obtenidos con materiales convencionales. Asimismo, la posible viabilidad técnica y la aceptación social evidencia que la población reconoce el valor de estos dispositivos y su potencial.

Finalmente, el impacto ambiental que representa la reutilización de estos materiales no solo disminuye la generación de residuos, también se alinea con los principios de economía circular y desarrollo sostenible, lo que consolida esta investigación como un aporte significativo en la innovación tecnológica, responsabilidad social y cuidado ambiental.



---

## Referencias bibliográficas

- Achilias, D. (2025). Thermo-chemical recycling of plastics as a sustainable approach to the plastic waste issue. *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration*, 10.
- Antoñana-Gonzalo, J. a.-M.-Z.-S. (2021). Development of a canine orthosis by additive manufacturing; [Desarrollo de una órtesis canina sensorizada mediante fabricación aditiva]. *Dyna (Spain)*, 96(2), 150 – 153.
- Beloshenko, V. &. (2021). Mechanical Properties of Flexible TPU-Based 3D Printed Lattice Structures: Role of Lattice Cut Direction and Architecture. *Polymers*, 2986.
- Chatterjee, J. J. (2021). A review on polymeric materials in additive manufacturing. *Materials Today: Proceedings*, 46, 1349-1365.
- Debrouwere, I. a. (2021). Lessons from Disability Counting in Ecuador, with a Contribution from Primary Health Care. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18, 5103.
- Espach, A. a. (2020). Mechanical performance in fused deposition modeling manufactured parts- an additive manufacturing review. *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*(August).
- Fico, D. a. (2022). Sustainable Polymer Composites Manufacturing through 3D Printing Technologies by Using Recycled Polymer and Filler. *Polymers*, 14(18), 3756.
- Gebler, M. a. (2020). A global sustainability perspective on 3D printing technologies. *Energy Policy*, 74, 158–167.
- Koç, A. {. (2023). Additive manufacturing for sustainability and circular economy: needs, challenges, and opportunities for 3D printing of recycled polymeric waste. *Materials Today Sustainability*, 24, 100529.
- L. Li, L. H. (2023). A review on polymers and their composites for flexible electronics. *Materials Advances*, 4, 726–746.
- Lobo, A. a. (2025). Rehabilitation nursing care for the person undergoing patial hip prosthesis: case report; [cuidados de enfermagem de reabilitação à pessoa submetida a prótese parcial da anca: estudo de caso]; [rehabilitación de la función respiratória en la persona someti. *Revista Portuguesa de Enfermagem de Reabilitacao*, 8(1).



- Lodha, S. a.-K.-I.-J.-W. (2023). Sustainable 3D printing with recycled materials: a review. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 37.
- Minuto, M. a. (2025). Design and optimization of bamboo-laminate prosthetic feet: A sustainable, cost-effective alternative to carbon fiber models. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and Applications*.
- Pandey, S. P. (2024). A review on comparison of physical and mechanical properties of PLA, ABS, TPU, and PETG manufactured engineering components by using fused deposition modelling. *Materials Today: Proceedings*.
- Singh, A. (2024). Review of 3D Printing Applications in Biomedical Engineering: A Comprehensive Analysis. *Journal of Clinical and Biomedical Sciences*, 10, 129-137.
- Uddin, M. a. (2024). Evaluation of the Mechanical Properties of PLA Material Used For 3D Printing Solar E-Hub Component. *Diyala Journal of Engineering Sciences*, 163-172.
- UNEP. (2023). *Turning off the Tap: How the world can end plastic pollution and create a circular economy*. UNEP.

**Conflicto de intereses:**

Los autores declaran que no existe conflicto de interés posible.

**Financiamiento:**

Los autores declaran que recibieron apoyo financiero para la investigación. El proyecto con código PIFCV22-88: "Creación de filamento PVC a partir de reciclaje de botellas plásticas en la ciudad de Cuenca para la impresión de prótesis", fue financiado mediante convocatoria oficial por el Área de Investigación Formativa de la Universidad Católica de Cuenca.

**Agradecimiento:**

Los autores expresan su sincero agradecimiento a la Universidad Católica de Cuenca por el apoyo brindado y por financiar el desarrollo de este proyecto, mediante el cual se logra contribuir a la investigación, innovación y compromiso social en beneficio de la comunidad.

**Nota:**

El artículo no es producto de una publicación anterior.