

El impacto de la impresión 3D en la construcción de una prótesis de mano

Ervin Jesús Álvarez Sánchez ^{a, 1*}, Laura Gregorio Falfán ^b

^a Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Universidad Veracruzana, Circuito Gonzalo Aguirre Beltrán, Zona Universitaria, 91000, Xalapa, Veracruz, México.
^b Bachillerato en Línea de Veracruz, Secretaría de Educación de Veracruz, Paseo de las Alpes, Cumbres de las Ánimas, 91190, Xalapa, Veracruz, México.

Resumen

El problema por el cual atraviesan actualmente las personas que no cuentan con una de sus extremidades es el alto costo de las prótesis, además del tiempo y la dificultad que conlleva construirlas de tal manera que se adapten a las necesidades particulares de cada paciente. Sin embargo, con el surgimiento de nuevas tecnologías esta problemática se vislumbra con una alta probabilidad de ser resuelta a corto plazo, ya que la impresión en 3D ha revolucionado el área protésica en los últimos años, no solo disminuyendo los tiempos de construcción requeridos, sino también los costos de las prótesis. En este artículo se muestra la metodología usada para diseñar y construir una prótesis mecánica de mano impresa en 3D, de tal forma que sea funcional y estética. Se muestra la primera versión del prototipo construido, la cual fue diseñada específicamente para un niño de 6 años con una malformación congénita que no le permitió el desarrollo de su mano derecha. Mediante el uso de la prótesis por parte del paciente, se detectaron las modificaciones necesarias que fueron corregidas en la segunda versión de la prótesis de mano, logrando disminuir el tamaño y el peso del prototipo. Finalmente, mediante los resultados de la implementación y uso de la prótesis v2.0, se comprueba la funcionalidad que tiene, al lograr que le paciente levante una botella de agua de medio litro.

Palabras Clave: Impresión 3D, Prótesis de Mano, Meromelia, Bajo Costo, Pruebas Funcionales.

1. Introducción

En México, son mucho los pacientes que requieren una prótesis que les permita retomar sus actividades cotidianas o integrarse a las mismas por primera vez, ya que son pocos los centros de rehabilitación en el país que pueden atender a toda la población que lo necesita. Además, la mayoría de las veces los costos de las prótesis disponibles en el mercado superan el presupuesto de los pacientes y sus familias (Zuniga et al, 2015), dependiendo de si son estéticas o funcionales, el tipo de tecnología que se utiliza para su funcionamiento, así como el tiempo que lleva el construirla en su totalidad y realizar las pruebas funcionales antes de que llegue al paciente.

Por otra parte, la mayoría de las prótesis existentes que están al alcance del bolsillo de las personas que las requieren son construidas en serie, es decir, no toman en cuenta de forma particular las necesidades de cada uno de los usuarios finales. Esto repercute muchas veces en el estado anímico de los pacientes, ya que, dependiendo de su edad y sus gustos, pueden llegar incluso a rechazar el uso de la prótesis o el abandonar de manera definitiva el proceso de rehabilitación requerido para aprender a utilizar la prótesis (Elliott and Warren, 2007). Para el caso de los menores de edad, la prótesis más común es la de gancho, como se muestra en la Figura 1, la cual no es estética y tiende a ser rechazada en la mayoría de los casos por los pacientes, ya que no suelen sentirse completamente integrados a sus actividades diarias o suelen ser objetos de burla.



Figura 1: Prótesis convencional de gancho para menores de edad.

Aunado a lo anterior, también debe tomarse en cuenta que el rechazo al uso de la prótesis no depende exclusivamente de su aspecto, sino también de otros factores tales como: la facilidad con que se puede aprender a manejarla, el peso total que llegan a tener, la forma en que se adapta de manera definitiva al paciente sin que llegue a ser incómoda al estarla utilizando o resulte invasiva al momento de tenerla puesta.

Afortunadamente estos problemas pueden verse disminuidos de manera significativa por medio de la impresión en 3D, la cual ha venido a revolucionar el área de creación de prótesis funcionales. Esta tecnología permite disminuir los tiempos de construcción, además de que al utilizar programas CAD para el diseño de las prótesis, éstas pueden ser realizadas de acuerdo con los deseos del paciente, pudiendo tener algo de su inventiva plasmada de manera permanente (Omar et al, 2018). Además, las prótesis construidas resultan ligeras en comparación con las prótesis convencionales, logrando también que puedan ser adaptadas con mayor precisión al paciente (Miyamoto-Gómez, 2015).

Sin embargo, es en años recientes en que el uso de este tipo de tecnología ha cobrado auge, permitiendo que disminuyan los

* Autor en correspondencia.

Correos electrónicos: era1varez@uv.mx (Ervin Jesús Álvarez Sánchez),
 lgregorio@belver.clavijero.edu.mx (Laura Gregorio Falfán).

costos de los equipos, haciéndolos más accesibles para todo tipo de actividades, entre las que se encuentra el desarrollo de prótesis para personas. Esta facilidad de adquisición de las llamadas impresoras 3D ha llegado a tal grado que en la actualidad también se puede tener un equipo en casa, el cual puede contar con las características suficientes para que las personas que requieran de una prótesis puedan diseñar y construir la propia, cumpliendo las especificaciones que se requieran en peso y confort.

Es por esto, que utilizando una impresora 3D, se construyó una prótesis para un paciente de 6 años que sufre de meromelia transversa del carpo derecho, la cual en principio le resultó útil, sin embargo, después de ser implementada se requirieron de modificaciones, mismas que son presentadas y discutidas en este artículo. En principio se menciona brevemente la metodología que se siguió, posteriormente se muestran algunas de las modificaciones realizadas para contar con una segunda versión funcional del prototipo de prótesis de mano para finalmente mostrar los resultados de las pruebas funcionales con el paciente.

2. Construcción de la Prótesis

Con la finalidad de llevar a cabo el diseño de la prótesis de mano se debe seguir una metodología como la que se muestra en la figura 2 (Álvarez-Sánchez et al, 2018).



Figura 2: Metodología para diseño y construcción de una prótesis.

Lo primero que se menciona es llevar a cabo una entrevista con el paciente, para determinar el grado de disposición para poder realizar la manipulación de su brazo durante todo el proceso de toma de medidas y pruebas, así como para portar la prótesis construida. Además, otro punto importante que debe tomarse en cuenta es que, para el caso de un menor de edad, se debe contar con un documento de los padres o tutores en donde se plasme su autorización por escrito para poder llevar a cabo todo el procedimiento.

Una vez realizado lo anterior, el siguiente paso que se requiere es identificar la forma y longitud del muñón del paciente para determinar el tipo de prótesis que puede ser adaptada al mismo, como se muestra en la Figura 3 en donde se aprecia en línea amarilla la forma de la parte residual que debía conformar la mano del niño.



Figura 3: Brazo flexionado del paciente.

Una vez realizado este dictamen, es necesario contar con las medidas, ya que dependiendo de esto se determina el tamaño de la sujeción que se tendrá en el brazo y la longitud que debe tener el antebrazo construido para asegurarlo al paciente, como se muestra en la Figura 4.

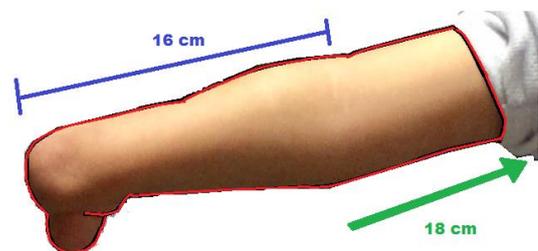


Figura 4: Medidas del antebrazo y brazo del paciente.

Aunque estas son las medidas principales, también debe tomarse en cuenta el realizar un molde del antebrazo del paciente para que sirva de ejemplo al momento de realizar las pruebas de montaje y sujeción, evitando así que el paciente rechace la prótesis una vez que esta le sea sujeta.

2.1 Prototipo V1.0

Aplicando la metodología de la Figura 2, se llevó a cabo la construcción de una prótesis de mano, desde la parte de diseño en CAD de todos los elementos que la constituyen hasta determinar el costo del prototipo, el cual fue de aproximadamente \$4,644.20 MXN (Álvarez-Sánchez et al, 2018). Todo esto enfocado en una prótesis de mano para un niño de 6 años que sufre de meromelia transversa del carpo derecho.

Dentro de las pruebas que se llevaron a cabo la primera que se realizó fue la de sujeción al brazo del paciente, para verificar que se adaptara adecuadamente y no generara molestias, como se puede observar en la Figura 5.

La segunda fue la de agarre de objetos, su traslado y posterior colocación en una superficie. encuentran: pruebas de sujeción de un objeto, su traslado y la apertura de la mano para colocar el objeto sobre una superficie. Para una primera prueba de este tipo se le solicitó al menor sujetar un plumón, como se observa en la figura 6.



Figura 5: Sujeción de prototipo V1.0.



Figura 6: Agarre de un plumón.

Aunque el montaje resultó sencillo de llevar a cabo, y el paciente se adaptó rápidamente a su uso, logrando sujetar algunos objetos tales como una botella y un plumón, el diseño del soporte para el brazo no fue el adecuado ya que como se puede apreciar en la Figura 6, éste sobresalía significativamente, entorpeciendo el proceso de vestimenta para el paciente.

Por otra parte, la fuerza que podía ejercer el paciente para poder levantar un objeto resultó ser poca debido al punto de apoyo presente en el antebrazo, como se puede observar en la Figura 7 encerrado en un círculo rojo.



Figura 7: Error de diseño en el prototipo V1.0.

Esta diferencia entre el brazo derecho (en donde se sujeta la prótesis) y el brazo izquierdo resultó significativa al momento de realizar la sujeción y traslado de objetos de peso, ya que la fuerza requerida resultó mayor, provocando un malestar en el menor, así como un cansancio en la musculatura del brazo.

A pesar de que se realizaron diversas modificaciones a la primera versión de la prótesis de mano, éstas no permitieron una mejora en la funcionalidad, ya que la parte de soporte del muñón incomodaba al paciente, además de que se presentó un problema de sujeción de los objetos debido a que tendían a resbalar de la mano protésica al estar cerrada, provocando frustración en el menor.

2.2 Prototipo V2.0

Los problemas antes mencionados fueron resueltos mediante un rediseño del prototipo, mejorando como primer punto el peso de la prótesis, como se observa en la Figura 8.



Figura 8: Diferencia de masa entre la versión 1.0 (izquierda) y la versión 2.0 (derecha).

Con las modificaciones realizadas se pudo disminuir la masa de la mano protésica un 17.8%, lo que representa 34 gramos, lo cual parecería poco entre las versiones 1.0 y 2.0, sin embargo, esto es significativo para el paciente, ya que tiene la prótesis sujeta al antebrazo la mayor parte del día, lo cual a la larga puede reflejarse como un cansancio muscular o un disgusto para llevar la prótesis.

Otra mejora se presentó al modificar las falanges distales para incrementar su nivel de agarre, para evitar que los objetos se deslizaran de la mano al estarlos trasladando. Esto se aprecia en la Figura 8, en donde puede observarse el cambio de color y dimensiones de las falanges distales.

Con el redimensionamiento de la parte de sujeción de la prótesis al brazo, permitió que esta pueda ser utilizada bajo la ropa sin que se corra el riesgo de romper la tela o que se quede atorada en la misma, lo cual se muestra en la Figura 8. Se observa que la ubicación del muñón es más cercana a la palma de la mano, así como la facilidad de cierre que presenta.



Figura 9: Versión 2.0 de la prótesis.

Por otra parte, las mejoras realizadas en las falanges distales permitieron incrementar el agarre de objetos sin que se resbalen, lo cual incrementa la fuerza de sujeción que puede ejercer el paciente.

3. Pruebas funcionales de la prótesis V2.0

La primera de las pruebas que se realizó fue la de sujeción al paciente, para verificar que la V2.0 se adaptara adecuadamente a su brazo, como se muestra en la figura 10.



Figura 10: Prueba de sujeción de la V2.0 de la prótesis.

La segunda prueba fue la de agarre, para lo cual se utilizó un objeto suave, esto debido a que el paciente había tenido tiempo de practicar el control de cierre de la mano con la V1.0 del prototipo. En la Figura 11 se observa el control que tiene el niño para el agarre del objeto.



Figura 11: Prueba de sujeción de un objeto suave con la V2.0 de la prótesis.

Una vez verificado el agarre lo siguiente fue corroborar que con el rediseño los objetos no se resbalaran al ser levantados, por lo que se le pidió al paciente que levantara una botella de agua que se encontraba vacía, como se muestra en la figura 12.



Figura 11: Prueba funcional de agarre con botella de agua vacía.

A pesar de que el paciente se encontraba nervioso al principio, logró sin mayor esfuerzo el levantar la botella y trasladarla a varios lugares, repitiendo el procedimiento de agarre-traslado varias veces sin que se le deslizara la botella de plástico.

La siguiente prueba fue diseñada con la finalidad de verificar que con el rediseño se mejoró la fuerza-agarre de objetos sin que estos deslizaran de la mano. Para llevar a cabo esto se llenó la botella con un poco de agua, logrando una masa equivalente a 147 gramos. Posteriormente se le solicitó al paciente que primero tomara la botella de agua y que posteriormente tratara de levantarla hasta que la boquilla de la botella estuviera a un altura similar a la de su boca, lo cual fue no representó reto para el paciente.

Este proceso se muestra en la Figura 13, en donde se aprecia de lado izquierdo la masa de la botella con agua, mientras que de lado derecho se muestra al niño sujetando y levantando la botella.

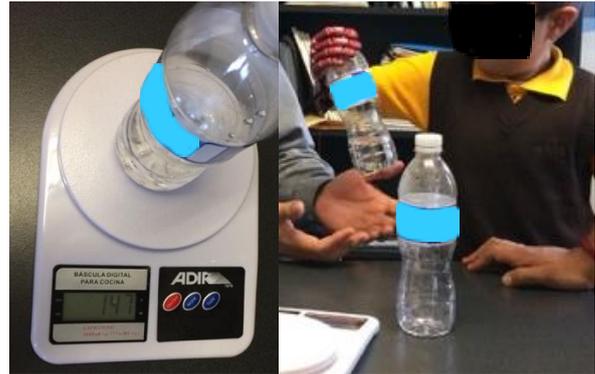


Figura 13: Primera prueba funcional de fuerza-sujeción para la prótesis V2.0.

El resultado positivo de la prueba realizada permitió realizar otras 5 pruebas de fuerza-sujeción: primero alcanzando 207 g, para posteriormente subir a 268 g, 352 g, 411 g y finalmente 517 g. Siendo este último valor similar al que tiene una botella completamente llena, lo cual representó un reto para el paciente, ya que anteriormente no había estado utilizando de manera continua el brazo, indicando cansancio muscular en el brazo, principalmente del bíceps. En la figura 14 se muestra de lado izquierdo la báscula que indica la masa a levantar, mientras que del lado derecho se muestra como es que el paciente está levantando la botella con agua, así como parte de su rostro en donde se aprecia el esfuerzo al realizar el trabajo.



Figura 14: Prueba funcional de fuerza-agarre con botella de agua llena.

Estas pruebas permitieron que el paciente reforzara la aceptación de la prótesis y que estuviera dispuesto a seguirla utilizando para sus actividades diarias, ya que en sus propias palabras "ahora podría hacer más cosas como todos los demás niños de su edad".

4. Conclusión

Las prótesis costosas y no diseñadas de manera personalizada son cosa del pasado mediante el uso de la impresión en 3D. Este tipo de tecnología conlleva la ventaja de que, al utilizar plástico para la construcción de las piezas, el peso de los prototipos disminuye significativamente, además de que el tiempo requerido para la fabricación de las piezas es relativamente menor que si se hiciera utilizando metal u otro tipo de material.

Por otra parte, los errores que puedan ser cometidos al momento del diseño y la construcción, pueden remediarse de manera casi inmediata sin que esto implique un alto costo.

Aunque todavía los equipos de impresión en 3D siguen mejorándose de manera continua esto no implica un problema, ya que los costos de los equipos continúan disminuyendo, permitiendo de esta manera que más personas puedan contar con uno de estos equipos en su casa. Además, el que existan comunidades en línea de personas entusiastas que compartan de manera gratuita los planos, las características de fabricación y las mejoras en todo, también es un gran adelanto para que las prótesis puedan llegar a más personas de escasos recursos que las requieren.

English Summary

3D printing impact on the build of a prosthesis hand.

Abstract

People without one of their limbs are currently experimenting the problem that the prostheses has a high cost, in addition to the time and difficulty of building them in such a way that they adapt to the particular needs of each patient. However, with the rise of new technologies, this problem has a high probability to be solved in short term, due to 3D printing has revolutionized the prosthetic area recently, decreasing the

construction times required and the costs of prostheses. This paper shows the methodology used to design and build a functional and aesthetic 3D-printed mechanical prosthetic hand. First version of the built prototype is shown, which was designed specifically for a 6-year-old child with a congenital malformation that did not allow him to develop his right hand. Through the use of the prosthesis by the patient, the necessary modifications were detected, which were corrected in the second version of the hand prosthesis, achieving a decrease in the size and weight of the final prototype. Finally, through the results of the prosthesis v2.0 implementation and making the patient to lift a half-liter bottle of water their functionality it is verified.

Keywords:

3D Printing, Prosthetic Hand, Meromelia, Low Cost, Functional Testing

Referencias

- Alvarez-Sánchez, E. J., Escobar-Jiménez, L. E., Aburto-Meneses, A., Aldana-Franco, R., 2018. Diseño, construcción e implementación de una prótesis de mano mecánica. *Revista de Ingeniería Biomédica y Biotecnología* 2 (5), pp. 10–21.
- Elliott, T. R., Warren, A. M., 2007. In: Kennedy, P. (Ed.), *Psychological Management of Physical Disabilities: A Practitioner's Guide*. Routledge, New York, Ch. 2, pp. 14–33.
- Miyamoto Gómez, O.S. (2015). *Impresión: Hágalo usted mismo. ¿Cómo Ves?* 203, pp. 10-14.
- Omar S., Kasem A., Ahmad A., Ya'akub S.R., Ahman S., Yunus E., 2019. Implementation of Low-Cost 3D-Printed Prosthetic Hand and Tasks-Based Control Analysis. In: Omar S., Haji Suhaili W., Phon-Amnuaisuk S. (eds) *Computational Intelligence in Information Systems*. CHIS 2018. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, Vol. 888, Springer, Switzerland, pp. 213–223
- Zuniga, J., Katsavelis, D., Peck, J., Petrykowski, M., Carson, A., Fernandez, C., 2015. Cyborg beast: a low-cost 3d-printed prosthetic hand for children with upper-limb differences. *BMC Research Notes* 8, 1–8.