

Evaluación Cinemática y Funcional de una Prótesis de Mano Impresa en 3D

I. Quiñones-Urióstegui^{*1}, V. Bueyes-Roiz¹, G. Rodríguez-Reyes

¹Laboratorio de Análisis de Movimiento, Instituto Nacional de Rehabilitación LGII, Ciudad de México, México

²Laboratorio de Ortesis y Prótesis, Instituto Nacional de Rehabilitación LGII, Ciudad de México, México.

*iquinones@inr.gob.mx

Abstract— When a person suffers an upper-body amputation, usually they will use a prosthesis to help them keep interacting with their environment and restore the functions that are lost, there are multiple terminal element options to help the subject fulfill this task such as hooks, mechanic hand or lately 3D printed hands. In the last couple of years, there has been an increase in the design and manufacturing of printed hands since they are: cheaper, customizable, easy to assemble, among others. Usually, these prostheses do not go through functionality tests, this is why the objective of this paper is to evaluate if there are biomechanics factors that change when performing daily living activities when using this prosthesis. For this study, we used a custom-made 3D printed hand, which activation was made using footswitches. A 60-year-old male prosthesis hook user carried out the study with the printed hand. The functionality test designed consists of 35 items divided by the type of grip or grasp needed to perform the activity. We selected one item of each classification to carry out a kinematic evaluation. The printed hand had an 80% functionality for tasks related to grasp and weight, while the tasks of grasp and ability functionality were 20%, the grasp, weight, and ability had the functionality of 0%. The hook had a better outcome in all types of activities evaluated. Even though there is still work to be done, we could determine that there is a need to help determine 3D printed hand functionality to the designers and possible users.

Palabras clave— Actividades de la vida diaria, cinemática, impresión en 3D, prótesis.

I. INTRODUCCIÓN

La mano es un segmento del cuerpo que nos permite interactuar con el entorno, a través de la manipulación de objetos, de tal manera que podemos realizar la actividades de la vida diaria, lo que nos provee independencia. Las actividades de la vida diaria se logran a través de los movimientos de la mano, al realizar la prensión de objetos a través de ocho tipos de pinzas o presas de agarre, que se agrupan en pinzas digitales, pinzas palmares y pinzas centradas [1]. Cuando la mano se pierde, debido a una amputación, es comúnmente sustituida por una prótesis, que dependiendo del nivel de la amputación puede ser transradial o trashumeral. El objetivo de dicha prótesis es restaurar las funciones perdidas. Algunas prótesis, utilizan movimientos del cuerpo para activarlas, lo que significa que el sujeto amputado debe moverse de cierta manera para

operar la prótesis. Además, en el extremo de la prótesis se coloca un elemento terminal que normalmente es un gancho, pero puede ser una mano mecánica, eléctrica, mecatrónica o robótica [2].

Se conoce como protetización al proceso de seleccionar y colocar una prótesis (miembro artificial) a una persona con amputación con la finalidad de restablecer su imagen corporal y la posibilidad de restablecer algunas de las funciones perdidas [3]-[5].

En los últimos años, ha habido un incremento en el diseño y manufactura de manos impresas en 3D, algunas de ellas incluso caseras [6], debido principalmente a sus beneficios que incluyen un bajo costo (entre \$50 a \$300 USD comparados con las prótesis robóticas (\$5,000 a \$100,000 USD), velocidad de fabricación y adquisición (en un día si se quiere), versatilidad (para diferentes necesidades, tamaños, colores, etc.) y todas ellas pueden ser personalizadas [7]. El problema tecnológico que se presenta hoy en día, es que cualquiera que quiera crear una mano protésica impresa en 3D puede usar un motor de búsqueda en internet y encontrar varias opciones de manos impresas en 3D, incluyendo archivos y tutoriales de cómo ensamblarlas [8]-[11], esto es importante debido a que el fácil acceso para el armado de estas manos protésicas puede traer problemas de ajuste y seguridad para el sujeto amputado que pueden repercutir en su salud. Aparentemente dichas prótesis de manos ofrecen una alternativa viable para la protetización del miembro superior. Sin embargo, no necesariamente resuelven el problema de manipulación de objetos que tienen las personas con una amputación de miembro superior, debido a que no necesariamente reemplaza la funcionalidad que nos da la mano para llevar a cabo las actividades de la vida diaria y por el contrario es sabido que estas manos “caseras”, pueden producir lesiones y frustración en el usuario [12]. A nuestro entender es necesario mostrar las ventajas y desventajas de este tipo de dispositivos impresos si quieren ser utilizados como ayuda técnica, al usuario final de tal manera que tenga toda la información para tomar una decisión consiente al usar este tipo de dispositivos. Para obtener dichas ventajas y desventajas, es necesario contrastar los elementos terminales entre sí en varios

aspectos, dentro de los cuales están los factores biomecánicos, y la efectividad en la ejecución de las tareas.

Por lo tanto, el presente estudio tiene como objetivo determinar e investigar los factores biomecánicos que cambian en el desempeño de las actividades de la vida diaria cuando se utiliza una mano protésica impresa en 3D y determinar si hay movimientos anormales en el brazo y tronco que pudieran propiciar al usuario a una lesión, comparado con el uso del gancho protésico y una mano mecánica comercial.

II. METODOLOGÍA

A. Características del voluntario

Para realizar la prueba participó un voluntario masculino, de 60 años de edad, con experiencia de 17 años en el uso de la prótesis mecánica con un gancho, se prefirió un paciente con experiencia, debido a que debe tener pericia en el manejo de los elementos terminales, de ésta manera los sujetos con amputación tardan en promedio un día en adaptarse a un nuevo elemento terminal. Antes de la evaluación de las actividades de la vida diaria con cada elemento terminal, el voluntario fue entrenado durante cinco sesiones de una hora distribuidos en cinco días, para que se familiarizara con ellos y de esta manera no se midiera la curva de aprendizaje de la prótesis impresa.

B. Características de los elementos terminales

Se utilizaron tres elementos terminales distintos para esta prueba. La primera fue una mano impresa en 3D, la cual consistía en cinco dedos con los siguientes movimientos: el pulgar podía hacer los movimiento de abducción-aducción y flexo-extensión, el índice flexo-extensión independiente, mientras los dedos medio, anular y meñique se movían unidos en flexo-extensión. Todos los movimientos de la mano fueron instrumentados a través de motores independientes y eran activados a través de un interruptor eléctrico que el usuario debía presionar con el pie. Los otros dos elementos terminales para la evaluación fueron el gancho 5X-R que es el más común en este tipo de prótesis, y una mano mecánica de ottobock (8K23), como se puede ver en la Fig 1.

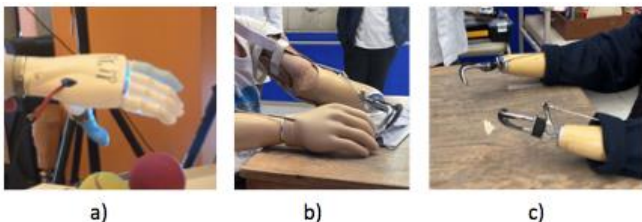


Fig. 1. Elementos terminales utilizados en las pruebas. a) mano impresa 3D [13]; mano mecánica de ottobock (8K23); gancho 5X-R.

C. Pruebas

En el Laboratorio de Análisis de Movimiento del INR-LGII, diseñamos una prueba de funcionalidad que consiste en probar 35 actividades de la vida diaria, divididas en tres grupos respecto al tipo de pinza que se debe utilizar, para evaluar la funcionalidad de la mano respecto de prensión, peso y habilidad (prensión; prensión y peso; prensión y habilidad; prensión, peso y habilidad). La prueba consistió en una serie de ítems donde se califica si logró realizar la actividad de manera adecuada de acuerdo al tipo de pinza y el tiempo que tardó en realizarla, la puntuación máxima realizando todas las pruebas sin dificultad es de 140 puntos, que es igual a la calificación de un sujeto sano.

Al mismo tiempo se seleccionó una actividad de cada grupo para llevar a cabo una evaluación cinemática del movimiento del hombro y codo del brazo protetizado para obtener las trayectorias y los rangos de movimiento (ROM) de dichas articulaciones. Se colocaron 15 marcadores reflectivos sobre el tórax del voluntario, el brazo protetizado, y el elemento terminal de acuerdo al modelo biomecánico Plug-in Gait Upper Body [14] modificado para este fin. Posteriormente fue registrado su movimiento utilizando un sistema de fotogrametría de 12 cámaras flex13 marca Optitrack System y el software MotiveBody® (Natural Point, Corvallis Oregon, USA). Finalmente, los registros de movimiento fueron procesados utilizando el software Visual 3D (Innovision Systems, Inc., Michigan, USA) y Matlab.

III. RESULTADOS

Los resultados de la prueba de funcionalidad de las tareas evaluadas así como la efectividad al realizar la prueba de funcionalidad se muestran en la Tabla I.

Con estos resultados se pudo observar que la efectividad de la mano robótica es menor en comparación de los otros elementos terminales utilizados durante las pruebas.

Los resultados obtenidos por la prueba de funcionalidad utilizando la mano impresa en 3D se muestran en la Tabla II, la prueba se completó en 49 minutos, durante este tiempo se le trabó dos veces el pulgar de la mano impresa.

Como resultado del análisis cinemático se muestra en la Fig. 1. el modelo biomecánico utilizado, con el cual se obtuvieron los máximos valores (Tabla III) de la abducción y flexión del hombro y el rango de movimiento de la articulación del codo para cada grupo de actividades de la vida diaria como se puede ver en la Fig. 2.

TABLA I
RESULTADOS DE LA PRUEBA DE FUNCIONALIDAD Y LA EFECTIVIDAD

Funcionalidad	Gancho	Mano mecánica	Mano impresa 3D
Puntuación total	136	91	81
% Efectividad	100	86	80

Tabla II
RESULTADOS DE LA PRUEBA DE FUNCIONALIDAD
UTILIZANDO LA MANO IMPRESA

Tipo de prueba	%Pruebas funcionales	%Pruebas no funcionales
Prensión	88	12
Prensión y peso	80	20
Prensión y habilidad	20	80
Prensión, peso y habilidad	0	100

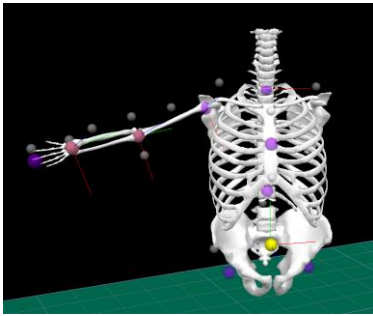


Fig. 1. Modelo biomecánico Plug-in Gait Upper Body modificado.

Tabla III
VALORES MÁXIMOS DE LA GONIOMETRÍA ARTICULAR
DURANTE LA PRUEBA DE FUNCIONALIDAD
UTILIZANDO LA MANO IMPRESA 3D

	Hombro max abd (°)	Hombro max flex (°)	Codo ROM (°)
Actividades de Prensión			
Gancho	70	47	9
Mecánica	160	153	50
Impresa en 3D	47	30	13
Actividades de Prensión y peso			
Gancho	120	90	30
Mecánica	160	140	22
Impresa en 3D	100	80	24
Actividades de Prensión y habilidad			
Gancho	23	20	14
Mecánica	40	70	18
Impresa en 3D	30	15	14

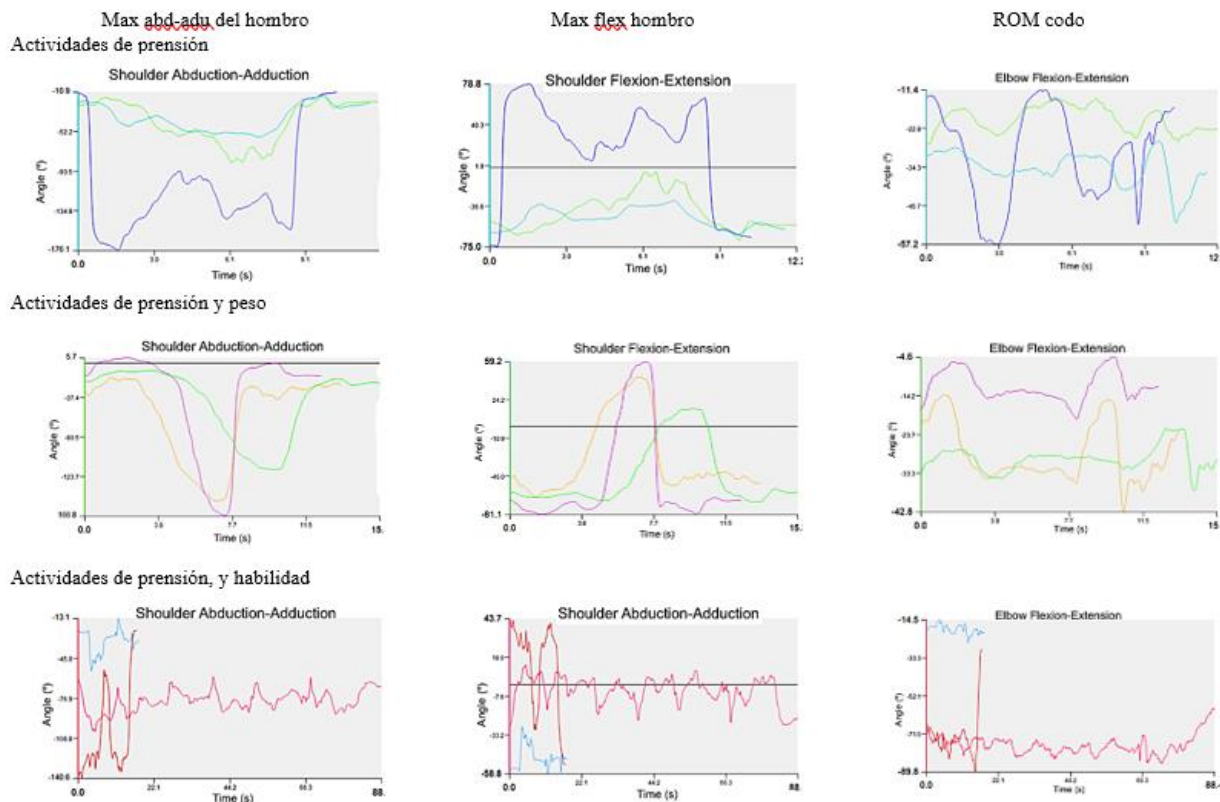


Fig 2. Cinemática del hombro y el codo del brazo protetizado. Actividades de prensión: línea azul mano mecánica; línea verde gancho; línea turquesa mano impresa 3D. Actividades de prensión y peso: línea morada mano mecánica; línea naranja gancho; línea verde mano impresa 3D. Actividades de prensión, y habilidad: línea roja mano mecánica; línea azul gancho; línea rosa mano impresa 3D

De las pruebas no funcionales el 29% se realizó con una pinza tipo bidigital, 18% con una pinza tipo tridigital, 12% con una pinza tipo lateral, palmar, diagonal y esférica respectivamente y 6% con una pinza tipo centrada o de potencia.

IV. DISCUSIÓN

Los resultados muestran que con el gancho el voluntario realiza muy fácilmente las actividades de la vida diaria, y le

toma mucho menos tiempo que con los otros elementos terminales. Durante las actividades de prensión, la mano impresa 3D registró menos abducción-aducción y flexo-extensión de hombro y menos flexo-extensión de codo. Para las actividades de prensión y peso, con la mano impresa 3D tardó mucho más tiempo en completar las tareas con mucho menos ROM. Para las tareas de prensión, peso y habilidad con la mano impresa 3D el voluntario no pudo completar ninguna tarea. La presente metodología de evaluación esta basada en la prueba de evaluación de la mano Sollerman [15], ya que incluye la mayoría de las pinzas que puede hacer la mano y es una manera muy simple, objetiva y práctica de evaluación. Existen otros trabajos donde se evalúan tareas utilizando las diferentes pinzas de la mano [16],[17], que se han creado para evaluar o validar desarrollos específicos. Por otro lado, no se tiene conocimiento de registros parecidos a este trabajo, donde se comparen dispositivos comerciales con algún elemento terminal impreso en 3D, por lo que es importante desarrollar este tipo de análisis y perfeccionar el tipo de pruebas que utilizamos en este trabajo para evaluar el desempeño de los elementos diseñados y desarrollados de manera casera y con ello determinar su funcionalidad, con el objetivo de brindar al usuario de herramientas para decidir su uso, y por otro lado proporcionar a los desarrolladores de información útil para mejorar sus diseños. La limitante que presenta este trabajo es que solo se llevó a cabo en una persona amputada y con un solo modelo de mano impresa, por lo que será necesario en un trabajo futuro, repetir esta misma metodología con más sujetos, así como también probarla con varios elementos terminales impresos en 3D.

V. CONCLUSIONES

La metodología desarrollada en este trabajo nos permitió ver las diferencias en la funcionalidad y el porcentaje efectividad de los diferentes elementos terminales probados. Respecto de los ROM del miembro superior durante el uso de cada elemento terminal, se pudo medir que la abd-ad del hombro es mayor utilizando la mano impresa, lo cual hace que sea muy incómodo utilizarla, esto no fue debido a la pericia o experiencia del sujeto amputado, fue más bien debido al diseño de los dedos de la mano impresa que no tienen la posición ni la suficiente tracción para sostener los objetos de la prueba. Asimismo se puede concluir que el sujeto tuvo que modificar los ROM del brazo para lograr completar las tareas. Para este sujeto de estudio, de acuerdo a las pruebas realizadas, el gancho protésico, fue el elemento terminal más eficiente y funcional para realizar las actividades de la vida diaria evaluadas.

RECONOCIMIENTO

El financiamiento de este proyecto fue otorgado por la Secretaría de Educación, Ciencia, Tecnología e Innovación de la Ciudad de México (SECITI/101/2016 y

SECITEI/183/2019; 250/2020). Los autores desean agradecer al Mtro. Hernando Ortega del IIMAS-UNAM por proporcionar la mano impresa en 3D para este proyecto.

REFERENCIAS

- [1] A. I. Kapandji, "Fisiología Articular". Tomo 1, 6a Ed, México, Editorial Médica Panamericana, 2006, pp 308-325.
- [2] J. Ferreira, et al, "Rapid manufacturing of medical prostheses", Int. J. Manufacturing Technology and Management, vol. 6, no. 6, pp. 567-583, 2004.
- [3] C. Moreno Lorenzo, et al., "Tratamiento protésico y funcional en amputados de miembro inferior", Rev Iberoam Fisioter Kinesio;6(1): 7-21, 2003.
- [4] C. López Cabarcos, "Rehabilitación del amputado de miembro superior. Asociación Nacional de Amputados de España. 2009 Disponible en: <https://www.andade.es/dra-celia-lopez-cabarcos/item/rehabilitacion-del-amputado-de-miembro-superior>.
- [5] E.Vela Sánchez, "Los amputados y su rehabilitación". Academia nacional de medicina. CONACYT; 2015. Pág. 47. Disponible en: https://www.anmm.org.mx/publicaciones/ultimas_publicaciones/Rehabilitacion.pdf
- [6] J. Ten Kate, et al., "3D-printed upper limb prostheses: a review", Disabil Rehabil Assist Technol. Vol. 12, no 3, pp. 300-314, Feb 2017
- [7] V. Fajardo, et al, "An Affordable Open-Source Multifunctional Upper-Limb Prosthesis with Intrinsic Actuation" IEEE Workshop on Advanced Robotics and its Social Impacts, 2017, Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8025206>.
- [8] Openhandproject.org from <http://www.openhandproject.org/?LMCL=MbWcGU>
- [9] NIH 3D Print Exchange —National Institutes of Health (NIH). Retrieved from <https://3dprint.nih.gov/>
- [10]A. Arjun, et al. (2016, August), "Design of a 3D printed hand prosthesis actuated by nylon 6-6 polymer based artificial muscles" IEEE CASE, Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7743499>
- [11]J. Cuellar, "Ten guidelines for the design of non-assembly mechanism the case of 3D-printed prosthetics hand", Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part H: Journal of Engineering in Medicine. 232. 09, 962-971. 2018.
- [12]E. Biddiss, et al "Upper limb prosthesis use and abandonment: A survey of the last 25 years", Prosthetics and Orthotics International, Vol 31, no. 3, pp. 236-257. 2007.
- [13]T. Campos, "UNAM y el gobierno de la CDMX unen esfuerzos para desarrollar esta mano robótica". Disponible en: <https://www.xataka.com.mx/investigacion/unam-y-el-gobierno-de-la-cdmx-unen-esfuerzos-para-desarrollar-esta-manorobotica>, 2016.
- [14]Plug in Gait Reference Guide from: <https://docs.vicon.com/display/Nexus25/Plug-in+Gait+Reference+Guide>
- [15]C. Sollerman, A. Ejeskär, "Sollerman Hand Function Test", Scand J Plast Reconstr Hand Surg 29:167-176, 1995.
- [16] H. Witteveen, et al, "Hand-opening feedback for myoelectric forearm prostheses: Performance in virtual grasping tasks influenced by different levels of distraction", JRRD, Volume 49, Number 10, 2012.
- [17] M.Liu, et al, "Biomechanical Characteristics of Hand Coordination in Grasping Activities of Daily Living. PLOS ONE 11(1): e0146193. 2016.