

## 2.1 Antecedentes Teóricos

Al impulsar el diseño y fabricación utilizando diversas técnicas para ayudar a las víctimas de amputaciones de su extremidad superior, se logrará la reinserción de estos a la sociedad (Cruz, 2019). Pero “Sin embargo, a pesar del progreso destacado en este campo, la invención de una prótesis que supla de manera ideal la funcionalidad y estética de la mano perdida continúa siendo un desafío para los clínicos e investigadores” (Cruz, 2019, pág. 8).

Aunado a lo anterior se necesitará plasmar anteriores registros de prótesis de manos para su análisis, su retrospectiva y así determinar un contexto histórico para nuestra mano protética.

Según National Library of Medicine (2014) “uno de los primeros registros de una prótesis de mano fue descrito en el año 77 d.C. por el erudito romano Plinio el Viejo en su enciclopedia *Naturalis Historia*” (Zuo et al., pág. 44), donde después de perder la mano en la Segunda Guerra Púnica (218-201 a. C.), Marcus Sergius, un general romano, recibió una prótesis que le permitió regresar con éxito a la batalla.

También entre los ejemplos mas famosos está a principios de 1500 en la edad de media, más específicamente en 1508, se elaboró un par de manos de hierro tecnológicamente avanzadas para el mercenario alemán Gotz von Berlichingen después de la batalla de Landshup, era posible manejar las manos fijándolas con la mano natural y moverlas soltando una serie de mecanismos de liberación y resortes, mientras se suspendían con correas de cuero (Steven et al., 2007).

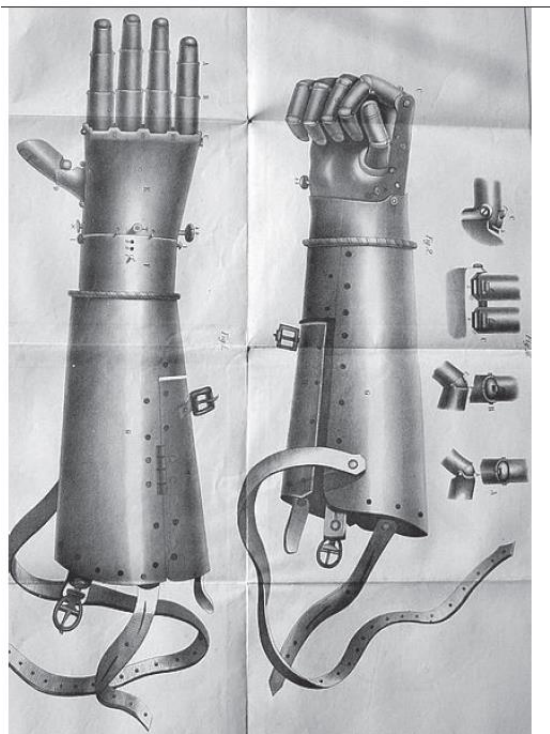


Figura 1) La mano de hierro de Götz von Berlichingen presentaba articulaciones en la metacarpofalángica, la interfalángica proximal y la interfalángica distales articulaciones, así como la articulación interfalángica del pulgar. La prótesis fue unido a la armadura de Götz con correas de cuero. Imagen recuperada de Wikimedia Commons <[www.commonswikimedia.org](http://www.commonswikimedia.org)>

Figura 2) Ilustración de los numerosos componentes de la prótesis de mano medieval de Götz. Imagen recuperada de Wikimedia Commons < [www.commonswikimedia.org](http://www.commonswikimedia.org) >



Ahora pasamos de la edad media a la época más moderna donde se sostuvieron dos guerras mundiales y la creación de organizaciones dedicadas a la prótesis.

En la revista New York: Demos Medical Publishing, se dice que "El dentista alemán Peter Baliff fue pionero en el concepto de una prótesis 'automática' de miembro superior impulsada por el cuerpo en 1818" (Meier III, 2004, p. 5). Por primera vez, un amputado podía operar su prótesis con movimientos corporales fluidos, en lugar de hacerlo como un objeto extraño distinto.

En 1916, el cirujano alemán Dr. Ferdinand Sauerbruch describió su diseño protésico con dedos controlados por la transmisión de los movimientos de los músculos de la parte superior del brazo (Figura 3) (Cruz, 2019).



Figura 3) El diseño de la mano protésica de Sauerbruch a principios del siglo XX proporcionó a muchos amputados un alto grado de independencia funcional. Las capturas de video de pacientes que utilizan la prótesis para realizar diversas actividades se pueden ver en <http://vlp.mpiwg-berlin.mpg.de/library/data/lit38416> . Crédito de la imagen: Hermann von Helmholtz Centre for Cultural Technology, Universidad Humboldt de Berlín < <http://www.sammlungen.hu-berlin.de/objekt-desmonats/2005/11/> >

En la primera guerra mundial (1914 a 1918) y en la segunda guerra mundial (1939 a 1945) según el artículo THE MILITARY UPPER EXTREMITY, por el número de víctimas de amputaciones nunca visto, en los Estados Unidos se crearon programas de rehabilitación de amputados, las cuales la mayoría eran miembros superiores, por ejemplo la creación de un Comité de Investigación y Desarrollo de Prótesis de EE. UU. en 1945 y de la Asociación Canadiense de Prótesis y Órtesis en 1955 AMPUTEE (Petri et al., n.d.) .

Ahora veremos algunos ejemplos de prótesis de manos un poco más modernas, estas ya contienen lo que se le llama *tecnología robótica*.

Pasando de esta época de guerras a una época más actual, según la revista INMOTION:

Después de la Segunda Guerra Mundial, los veteranos estaban insatisfechos por falta de tecnología en sus dispositivos y exigían mejoras. El gobierno de los EE. UU. cerró un trato con compañías militares para que mejoraran la función protésica en lugar de la de las armas. Este acuerdo allanó el camino para el desarrollo y la producción de las prótesis modernas. Los dispositivos actuales son más livianos, se elaboran con plásticos, aluminio y materiales compuestos para proporcionar a los amputados dispositivos más funcionales. Además de ser dispositivos más livianos y estar hechos a la medida del paciente, el advenimiento de los microprocesadores, los chips informáticos y la robótica en los dispositivos actuales permitieron que los amputados recuperen el estilo de vida al que estaban acostumbrados, en lugar de simplemente proporcionarles una funcionalidad básica o un aspecto más agradable. Las prótesis son más reales con fundas de silicona y pueden imitar la función de una extremidad natural hoy más que nunca. (Steven et al., 2007, pág. 4-5).

Según el artículo *The evolution of functional hand replacement: From iron prostheses to hand transplantation*:

La primera prótesis mioeléctrica clínicamente significativa fue presentada por el científico ruso Alexander Kobrinski en 1960. El uso de transistores redujo el volumen y permitió la portabilidad del dispositivo, con las baterías y la electrónica colocadas en un cinturón y conectadas a la prótesis mediante cables. La prótesis también presentaba un guante cosmético de caucho color piel. Aunque se vendió en Gran Bretaña y Canadá, esta 'mano rusa' tenía numerosos problemas: era pesada, el movimiento era lento, la fuerza de pinzamiento era débil, las conexiones de los cables eran susceptibles de dañarse y las interferencias eléctricas comprometían la confiabilidad. Para la década de 1980, las prótesis mioeléctricas se usaban en centros de rehabilitación de todo el mundo y, hoy en día, son una opción común para los amputados (Zuo et al., 2014, pág. 47).

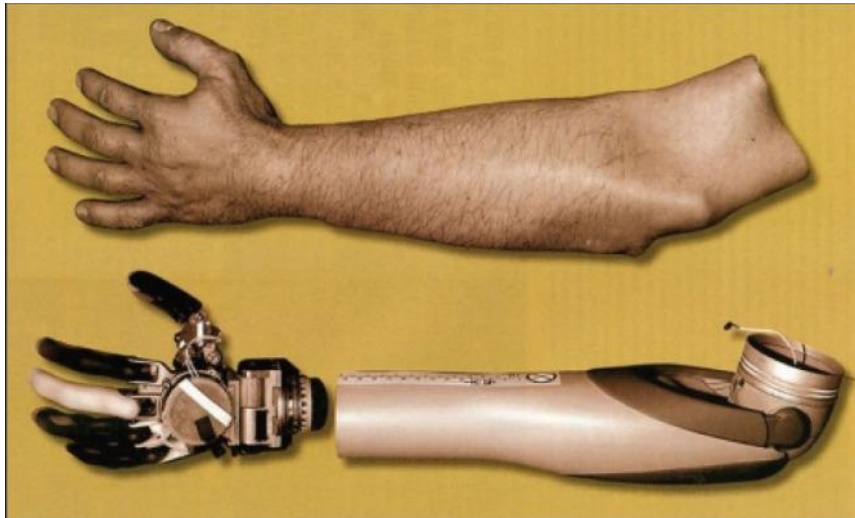


Figura 4) Las prótesis bioeléctricas se pueden cubrir con superposiciones de piel de silicona realistas diseñadas para adaptarse al tamaño, el tono de la piel, la distribución del cabello, las características de las uñas, etc., del amputado. Crédito de la imagen: Laboratorio de Física Aplicada de la Universidad Johns Hopkins < [www.jhuapl.edu/newscenter/pressreleases/2007/070426\\_image2.asp](http://www.jhuapl.edu/newscenter/pressreleases/2007/070426_image2.asp) >

Posteriormente se empezó a utilizar el uso de la osteointegración, que se refiere a la fijación directa de la prótesis normalmente de un accesorio de titanio en el hueso vivo, eliminando la necesidad de utilizar un encaje, así aumentando la estabilidad y la comodidad entre el muñón y la prótesis, esta fue desarrollada por el cirujano sueco Per-Ingvar Brånemark en la década de 1950, pero fue su hijo Rickard Brånemark quien fue pionero en su aplicación a las prótesis de extremidades (Zuo et al., 2014).

Entre 1990 y 2010, el equipo de Brånemark colocó 10 prótesis osteointegradas transradiales y 16 transhumerales. Solo tres pacientes no pudieron utilizar posteriormente su prótesis por fractura del implante, daño traumático o integración incompleta (Jönsson et al., 2011).

“La infección y el costo del implante son las principales limitaciones para una mayor adopción de la osteointegración en los amputados de las extremidades superiores.” (Zuo et al., 2014, pág. 47).



Figura 5) De A a C Mediante la osteointegración, se fija quirúrgicamente un accesorio de titanio al hueso en el lugar de la amputación, lo que permite conectar una prótesis mioeléctrica de forma fiable. La conexión directa elimina la necesidad de un encaje y asegura una fijación estable, mejorando así la función. Imagen



reproducida con autorización de Elsevier: Kang NV, Pendegrass C, Marks, L, Blunn G. Integración osteocutánea de un implante de prótesis de amputación transcutánea intraósea utilizado para la reconstrucción de una persona con amputación transhumeral: informe de un caso. *J Hand Surg Am* 2010;35:1130–4.

También un gran avance en el control intuitivo de las extremidades artificiales es a través de la técnica de reinervación motora dirigida (TMR), descrita en 2004 por el Dr. Todd Kuiken y el Dr. Gregory Dumanian en los EE. UU (Kuiken\*\* et al., 2004). Al desviar los nervios periféricos cortados (es decir, amputados) de una extremidad amputada a músculos de repuesto intactos (objetivo), las señales EMG resultantes de los músculos objetivo ahora representan una entrada motora para los músculos de la extremidad faltante (Kuiken et al., 2007).

Por ejemplo, “si el nervio mediano se transfiere al vientre del músculo pectoral mayor medio, entonces cuando el amputado piensa en “flexionar los dedos”, la región media del pectoral mayor se contraerá, generando un EMG robusto para cerrar una prótesis de mano.” (Zuo et al., 2014, pág. 48).

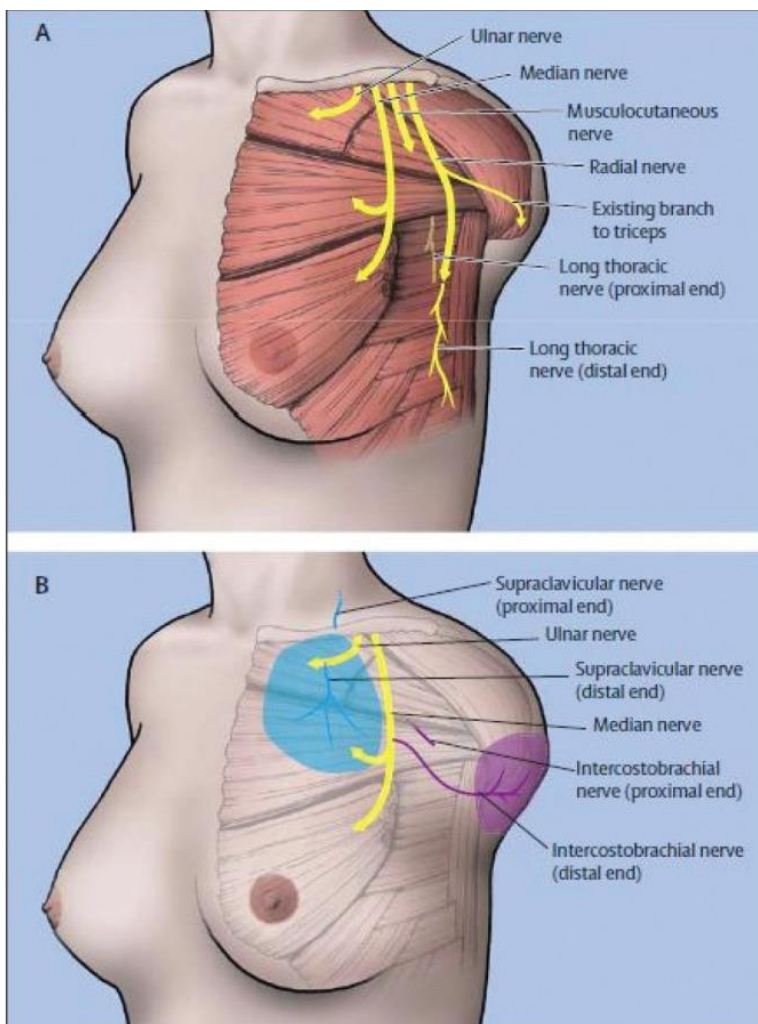
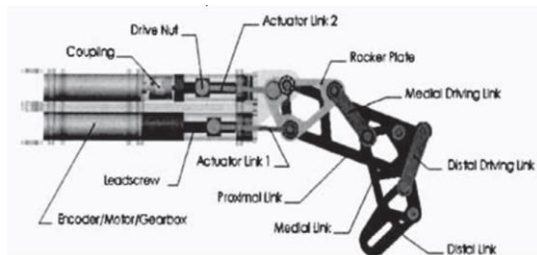


Figura 6) La reinervación motora dirigida ( Panel A ) y la reinervación sensorial dirigida ( Panel B ) implican el desvío quirúrgico de los nervios del muñón a un músculo o área cutánea objetivo denervados. La contracción del músculo objetivo reinervado permite el control intuitivo de una prótesis mioeléctrica y la estimulación de la piel reinervada permite la retroalimentación sensorial. Imagen reproducida con permiso de Elsevier: Kuiken TA, Miller LA, Lipschutz RD, et al. Reinervación dirigida para mejorar la función del brazo protésico en una mujer con una amputación proximal: un estudio de caso. *Lancet* 2007;369(9559):371–80.

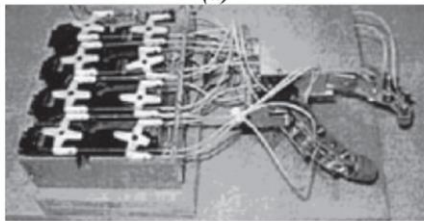
También se encontró un mejor manejo y una recuperación sensorial en la piel que recubre el musculo reinervado. Es decir, el paciente sintió el tacto en una parte particular de la extremidad faltante(Zuo et al., 2014).

A continuación, se presentarán las características generales de diseños recientes, a nivel internacional, que incorporan una cantidad considerable de funciones, varios grados de libertad y elevado desempeño físico:

La mano de Canterbury utiliza eslabones mecánicos movidos directamente para actuar sobre los dedos de forma similar a la mano humana. El movimiento directo de los eslabones se utiliza para reducir algunos problemas que presentan otros diseños de mano. Tiene in total de 91 cables por lo que se requirió un sistema de control distribuido utilizando un PsoC de Semiconductores Cypress. Este microprocesador solo es capaz de controlar la posición y velocidad, mientras que el resto de la cinemática y demás comandos complejos se calculan por aparte en un PC. Esta mano incluye sensores en las últimas falanges de los dedos para acrecentar la precisión durante la sujeción(Loaiza & Arzola, 2011, pág. 193)



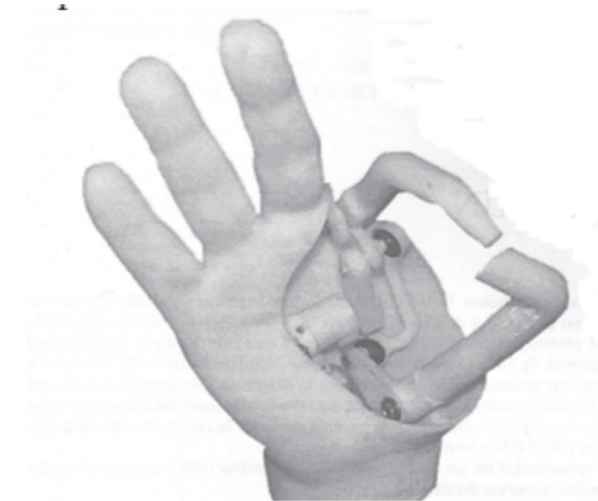
(a)



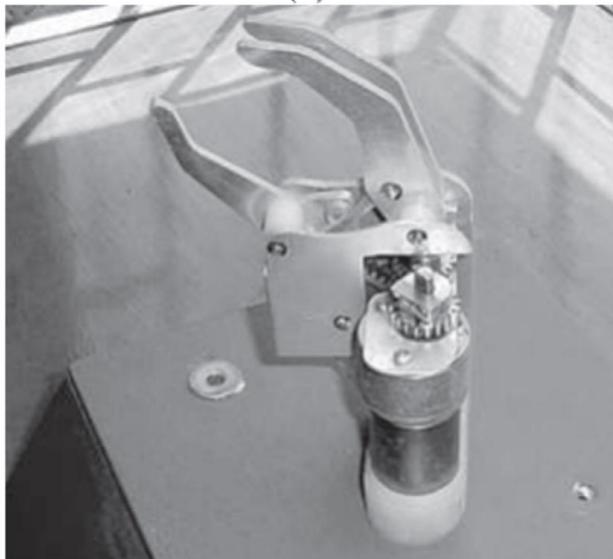
(b)

Figura 7) (a) Mano de Canterbury que utiliza eslabones mecánicos con movimiento directo; (b) Manipulador construido en la Universidad de Reading

Para el diseño y construcción de un prototipo de pinza y rotador para prótesis mioeléctricas, se tiene como objetivo fundamental rediseñar y construir un prototipo de pinza tridigital para prótesis mioeléctrica de mano que adicionalmente incluya la función de rotación (pronosupinación). Además, busca mejorar la presión palmar y reducir el peso, el sistema propuesto fue simulado en un software de modelamiento de sólidos, y permitió establecer algunas comparaciones de rendimiento con otros proyectos anteriormente realizados (Loaiza & Arzola, 2011).



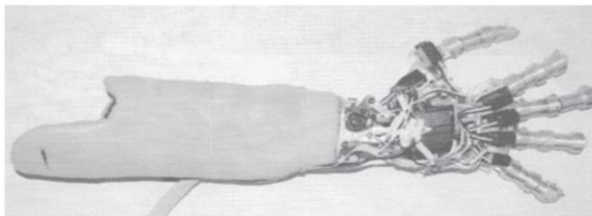
(a)



(b)

*Figura 7). (a) Mecanismo obtenido para pinza bidigital. Mano PROTUN; (b) Prototipo de pinza y rotador para prótesis de mano mioeléctrica.*

Para un proyecto de Prótesis de mano para personas amputadas de mano y muñeca consistió en diseñar y fabricar un prototipo de esta, y a su vez evaluar qué tipo de señales, mioeléctrica o por voz, resulta más adecuado para su comportamiento. El modelamiento antropométrico y dinámico se realizó empleando un sistema complejo de ecuaciones matriciales ligadas. Para la realización del modelo cinemático, se utilizó el planteamiento de Denavit/ Hartenberg, al tiempo que se emplearon resultados obtenidos por otros investigadores (Loaiza & Arzola, 2011).



*Figura 8). Prototipo de prótesis de mano accionada por voz.*

Los avances en el diseño asistido por computadora (CAD) y la fabricación aditiva han abierto nuevas posibilidades de diseño y fabricación de manos protésicas y otros dispositivos de asistencia a muy bajo costo (Rengier et al., 2010).

“Las manos mioeléctricas de código abierto como la mano Dextrus, 6 DOF o iCub Hand son ejemplos exitosos de este tipo de investigación.” (Andriy Sayuk, 2015, pág. 10)

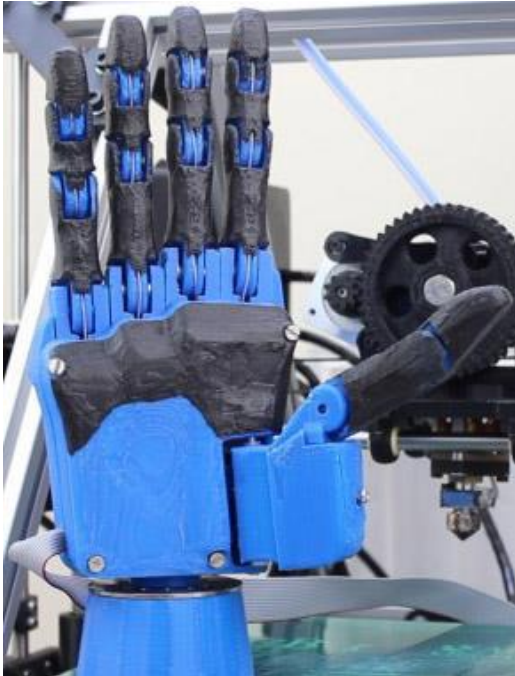


Figura 9). Dextrus Hand, una mano protésica de código abierto y bajo costo desarrollada por Open Hand Project

En el mismo sentido (Andriy Sayuk, 2015) dice:

Otro ejemplo de un desarrollo reciente es la bestia Cyborg: una mano protésica impresa en 3D de bajo costo para niños con diferencias en las extremidades superiores en esta mano " *Finger flexion is driven by non-elastic cords along palmar surface of each finger and is activated through 20-30° of wrist flexion*". En realidad, es una versión de la mano de e-Nable Comunidad. Los materiales utilizados para la impresión 3D de la mano de la bestia Cyborg son polilactida (PLA) y acrilonitrilo butadieno estireno (ABS). El peso de la mano totalmente ensamblada es inferior a 200 gy el costo actual de los materiales es de aproximadamente 50 \$. (pág. 10).





Figura 10). Manos con e-Nabled (de izquierda a derecha): Raptor Hand, Cyborg Beast y Raptor Reloaded

“El anterior modelo es una de las manos más populares construidas por la comunidad e-Nabled. Muy similar a este, es el “Raptor Hand” y el más reciente “Raptor Reloaded” (Figura 10).” (Andriy Sayuk, 2015, pág. 10)

“Otro modelo disponible se muestra en la Figura 11, “Flexy Hand 2” que se beneficia de un aspecto más antropomórfico y utiliza bisagras hechas con filamento flexible para las articulaciones de los dedos.” (Andriy Sayuk, 2015, pág. 10).

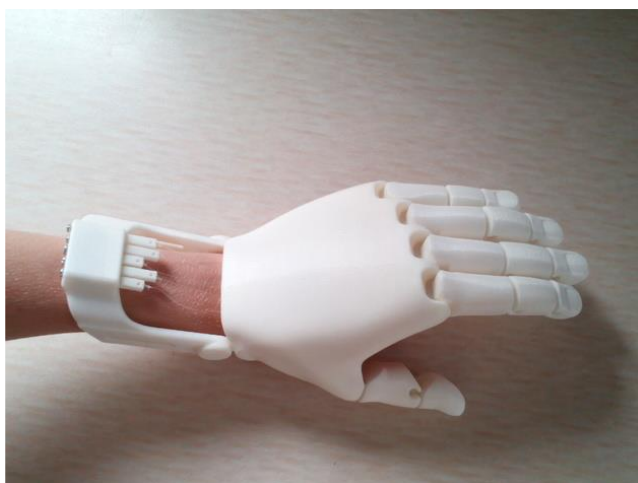
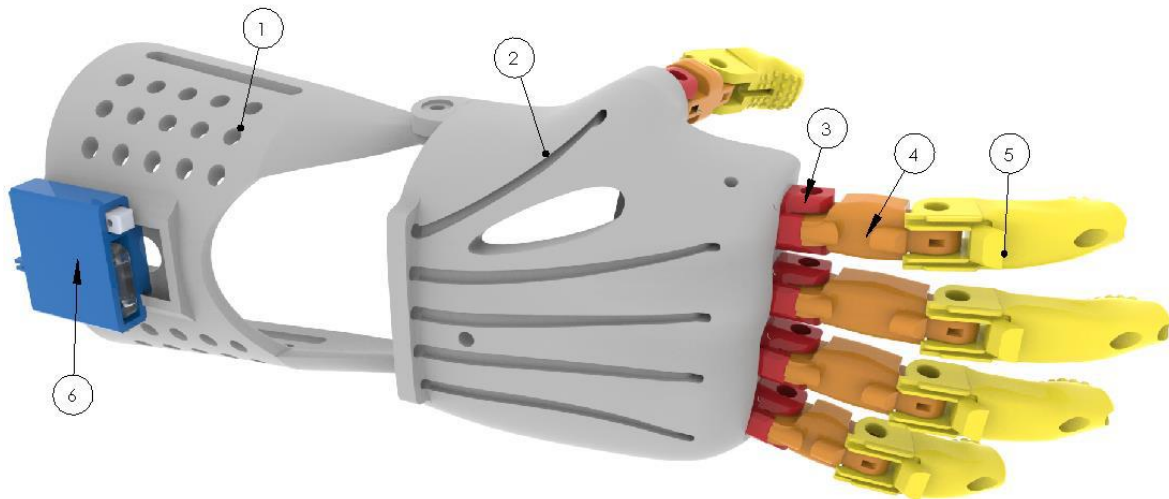


Figure 11). Flexy-hand 2 by Gyrobot

Un prototipo ya mencionado anteriormente específicamente el “Cyborg Beast” se tomó como base para desarrollar el prototipo en el siguiente proyecto (Figura 12).

Esta mano es uno de los modelos más avanzados publicados en el sitio web de la comunidad en ese momento. En una investigación realizada por la Universidad de Creighton, el 34 % de los usuarios evaluados de la mano “Cyborg Beast” (niños de 3 a 16 años) informó un aumento significativo en la calidad de vida, el 58 % indicó un pequeño aumento y solo El 8% no tuvo cambios en la calidad de vida. Entonces, a pesar de los buenos comentarios de los usuarios, muestra que el diseño de la mano aún tiene espacio para mejorar y es una buena opción para ser una base para este trabajo de investigación. (Andriy Sayuk, 2015, pág. 13)



*Figura 12). Modelo 3D de una prótesis modular compuesta por guantelete (1), palma (2), conector de dedo (3), falange proximal (4), falange distal (5) y sistema tensor (6)*

La nueva mano se fabricó con la misma tecnología de impresión 3D utilizada para la fabricación del modelo de prueba. Las superficies fueron entonces pulidas con acetona industrial. Este tratamiento otorga a la superficie un acabado liso y brillante que reduce la fricción entre los tendones y la superficie de la palma y le da al modelo una mejor apariencia (Andriy Sayuk, 2015, pág. 19).

## Bibliografía

- Cruz, J. M. (2019). DESARROLLO DE UNA PRÓTESIS DE MANO PARA AMPUTADOS PARCIALES DE BAJO COSTO. (*Tesis de Licenciatura*). UNIVERSIDAD DEL ROSARIO ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO, BOGOTÁ D.C, COLOMBIA.
- Meier III, R. H. (2004). Functional Restoration of Adults and Children with Upper Limb Amputation. *New York: Demos Medical Publishing*, 1–8.
- Andriy Sayuk. (2015). *Design and implementation of a low cost hand for prosthetic applications*.
- Jönsson, S., Caine-Winterberger, K., & Branemark, R. (2011). Osseointegration amputation prostheses on the upper limbs: Methods, prosthetics and rehabilitation. *Prosthetics and Orthotics International*, 35(2), 190–200. <https://doi.org/10.1177/0309364611409003>
- Kuiken, T. A., Dumanian, G. A., Lipschutz, R. D., Miller, L. A., & Stubblefield, K. A. (2004). The use of targeted muscle reinnervation for improved myoelectric prosthesis control in a bilateral shoulder disarticulation amputee. In *Prosthetics and Orthotics International* (Vol. 28).
- Kuiken, T. A., Miller, L. A., Lipschutz, R. D., Lock, B. A., Stubblefi, K., Marasco, P. D., Zhou, P., & Dumanian, G. A. (2007). Targeted reinnervation for enhanced prosthetic arm function in a woman with a proximal amputation: a case study. In *www.thelancet.com* (Vol. 369). [www.thelancet.com](http://www.thelancet.com)
- Loaiza, J. L., & Arzola, N. (2011). EVOLUCIÓN Y TENDENCIAS EN EL DESARROLLO DE PRÓTESIS DE MANO EVOLUTION AND TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF HAND PROSTHESIS. 78, 191–200.
- Petri, R. P., Army, M. U. S., Aguila, E., & Army, U. S. (n.d.). *THE MILITARY UPPER EXTREMITY AMPUTEE*.
- Rengier, F., Mehndiratta, A., von Tengg-Kobligk, H., Zechmann, C. M., Unterhinninghofen, R., Kauczor, H. U., & Giesel, F. L. (2010). 3D printing based on imaging data: Review of medical applications. In *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery* (Vol. 5, Issue 4, pp. 335–341). Springer Verlag. <https://doi.org/10.1007/s11548-010-0476-x>
- Steven, A., Barrera, I., & Ana, Q. (2007). *Un breve recorrido por la historia de la protésica*. [www.amputee-coalition.org](http://www.amputee-coalition.org)
- Zuo, K. J., Olson, J. L., & Zuo, K. (2014). *the evolution of functional hand replacement: From iron prostheses to hand transplantation* (Vol. 22, Issue 1). [www.commonswikimedia.org](http://www.commonswikimedia.org)