

Diseño, Desarrollo y Construcción de una Mano Biónica y un Exoesqueleto

Daniel Felipe Zárate Bello, 7003552, *e-mail: est.daniel.zarate@unimilitar.edu.co*
Luis Esteban Maldonado Garzón, 7003625, *e-mail: est.luise.maldonado@unimilitar.edu.co*
Alan Andrey Sanabria Agudelo, 7003553, *e-mail: est.alan.sanabria@unimilitar.edu.co*
Juan Camilo Tinjaca Sanabria, 7003523, *e-mail: est.juan.tinjaca@unimilitar.edu.co*

I. INTRODUCCIÓN

Este documento presenta los pasos, resultados y conclusiones del diseño, desarrollo y construcción de una mano biónica y un exoesqueleto. El objetivo principal de este proyecto fue crear una solución tecnológica que permitiera a personas con discapacidades en las extremidades superiores recuperar o mejorar su funcionalidad y calidad de vida.

El proceso de desarrollo comenzó con un escaneo 3D preciso realizado en un escáner de alta resolución, que capturó todos los detalles anatómicos del brazo y la mano del usuario. Esta información se utilizó como base para diseñar la mano robótica y el exoesqueleto, asegurando un ajuste personalizado y una interfaz cómoda entre la prótesis y el usuario.

Se realizaron varias iteraciones de diseño y se exploraron diferentes materiales, considerando aspectos como resistencia, flexibilidad y biocompatibilidad. Finalmente, se optó por utilizar una impresora 3D de la marca Vertex y el material PLA para la fabricación de las partes de la prótesis.

La mano robótica se controla mediante una interfaz desarrollada utilizando la tecnología de pose de MediaPipe de Google. Esto permite detectar y traducir los movimientos de cada dedo en señales eléctricas que accionan los actuadores correspondientes en la prótesis, permitiendo al usuario realizar una amplia gama de movimientos y agarres precisos.

Por otro lado, los movimientos del exoesqueleto son programados para proporcionar soporte y facilitar los movimientos de la muñeca. Esta combinación de la mano robótica y el exoesqueleto permite al usuario realizar tareas diarias, como agarrar objetos, escribir o realizar gestos complejos, con mayor autonomía y destreza.

A lo largo del proceso de desarrollo, surgieron diversas dificultades que requirieron soluciones ingeniosas y ajustes continuos. Estas dificultades incluyeron desafíos técnicos, como la calibración precisa de los sensores y actuadores, así como desafíos ergonómicos, para asegurar una integración adecuada entre la prótesis y el usuario.

En resumen, este informe detalla el enfoque multidiscipli-

nario utilizado para diseñar, desarrollar y construir una mano biónica y un exoesqueleto. Se describen los pasos tomados desde el escaneo 3D inicial hasta la fabricación e implementación final del prototipo. Además, se presentan los resultados obtenidos durante las pruebas y se ofrecen conclusiones sobre la efectividad y el potencial de esta solución tecnológica en el campo de las prótesis y la rehabilitación de las extremidades superiores.

II. OBJETIVOS

II-A. *Objetivo General*

Diseñar, desarrollar y construir una mano biónica y un exoesqueleto que permitan acercarnos más al desarrollo de sistemas que permitan a personas con discapacidades en las extremidades superiores recuperar o mejorar su funcionalidad y calidad de vida.

II-B. *Objetivos Específicos*

Realizar un escaneo 3D del brazo y la mano del usuario para obtener un modelo digital detallado que sirva como base para el diseño de la mano biónica y el exoesqueleto.

Explorar y evaluar diferentes diseños y materiales para la fabricación de la mano biónica y el exoesqueleto, teniendo en cuenta aspectos como resistencia, flexibilidad y biocompatibilidad.

Implementar una interfaz de control, que permita detectar y traducir los movimientos de cada dedo en señales eléctricas para accionar los actuadores correspondientes en la prótesis.

Programar los movimientos del exoesqueleto para proporcionar soporte y facilitar los movimientos de la muñeca, complementando las funcionalidades de la mano biónica.

Realizar pruebas y ajustes continuos para asegurar un sistema funcional entre la prótesis y el usuario, optimizando la comodidad y la precisión de los movimientos.

Extraer conclusiones sobre la efectividad y el potencial de esta solución tecnológica en el campo de las prótesis y la rehabilitación de las extremidades superiores, identificando posibles áreas de mejora y futuras investigaciones.

III. ESCANEADO DE LA MANO



Figura 1: Centro de Biomecánica UMNG

Para realizar el escaneo de la mano buscando los mejores resultados posibles, se han empleado las herramientas asequibles de esta forma nos acercamos al centro de Biomecánica de la Universidad Militar Nueva Granada, ubicado en la facultad de medicina en Bogotá; el cual hace "Prestamo de equipos para análisis de biomecánica, señales fisiológicas, prototipado rápido, impresión 3D, mecanizado de materiales y demás actividades de desarrollo ingenieril"[1]. Conociendo esta información, nos contactamos con el doctor en ciencias Mauricio Plaza Torres, director del Centro y Docente tiempo completo en la Facultad de Ingeniería de la UMNG.



Figura 2: Escáner podia 3D - STT

En el centro de Biomecánica se nos otorgó el acceso al escáner podia 3D - STT, el cual permite realizar el escaneo de extremidades del cuerpo humano y obtener una imagen computarizada.

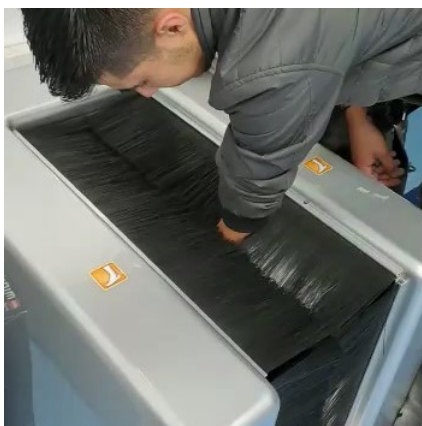


Figura 3: Escaneo Mano Izquierda podia 3D - STT UMNG

El escáner podia 3D, está diseñado especialmente para pies, sin embargo, puede ser utilizado para escanear cualquier parte del cuerpo que se pueda posicionar en la bandeja de soporte. "Podia Scanner se basa en tecnología de triangulación láser, donde cuatro unidades de escaneo se deslizan desde el frente hacia la parte posterior adquiriendo datos 3D"[2]. La resolución del escaneo es de 0,04 mm/píxel y tiene un tiempo de escaneo de aproximadamente 10 segundos.

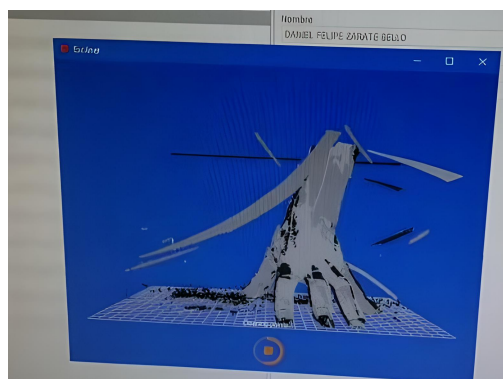


Figura 4: Resultado preliminar - Escaneo Mano Izquierda

Inicialmente el software de la máquina muestra el resultado a medida de que se realiza el escaneo de la mano, todo esto mientras que avanza el láser de la máquina. La imagen preliminar obtenida parece tener bastante ruido como se puede apreciar en la figura 4.

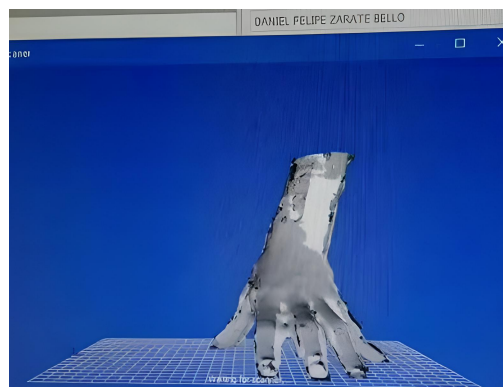


Figura 5: Resultado escaneo Mano Izquierda

Seguidamente el software se deshace automáticamente de la mayor parte del ruido que se obtuvo en el escaneo. En la figura 5 se muestra el resultado obtenido, en este se evidencia que a pesar de lo robusto del escaneo se presentan algunos errores entre los dedos donde algunos puntos se mezclan uniendo el dedo índice con el corazón.

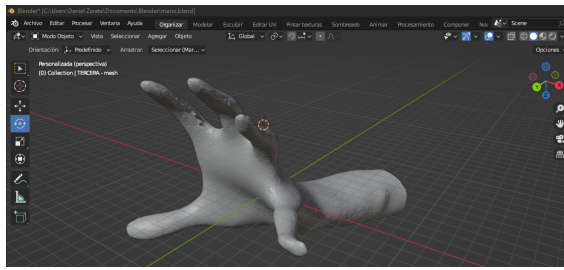


Figura 6: Corrección de errores y suavizado en Blender

El programa entrega la malla de la mano escaneada en formato de archivo OBJ, un tipo de archivo para imágenes tridimensionales, este se puede abrir directamente en SolidWorks pero, antes lo pasamos a Blender (un programa dedicado al modelado y renderizado de objetos) para corregir el error del escaneo y aplicar algunos filtros para suavizar los vértices que conforman la mano y así obtener mejores resultados.

IV. IMPRESIÓN Y PRUEBAS MANO ROBÓTICA

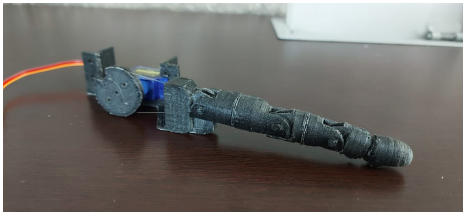


Figura 7: Ensamblado - Impresión dedo InMoov

En pro de realizar pruebas acerca del funcionamiento, se descargó el CAD para la impresión del dedo índice de la mano de la página *InMoov*. Posteriormente se procedió a realizar la impresión con PLA, la cual cuenta con la adaptación pertinente para la adecuación de un servomotor *Sg90*, la construcción de una polea para con ello por medio de Nylon se logre contraer y extender el dedo en cuestión. Se realizó esto como prueba para verificar el funcionamiento de este método, ya que al revisar diferentes tipos de prótesis y al verificar el movimiento que realiza, es uno de los más adecuados para generar la pinza, que consiste en la unión del pulgar con el dedo índice de la mano, con esto facilitar la forma en la cual logra agarrar algún objeto, sin embargo y antes de esto se desea verificar el funcionamiento y la movilidad con el dedo índice.

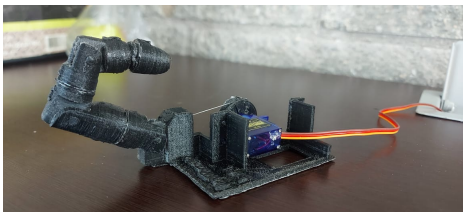


Figura 8: Ensamblado - Impresión dedo InMoov

Luego se ensamblar las partes impresas del dedo se procedió a realizar las pruebas de movimiento, en donde se evidenció un gran rozamiento entre las piezas por lo cual se optó por

ligar las partes que hacían contacto con el fin de reducir la fricción.



Figura 9: Material Escogido para Impresión

En la activación del motor, evidenciamos un correcto funcionamiento luego de la reducción del rozamiento entre las piezas, esta acción se realizó debido a que si se presentaba, el torque del motor podría verse afectado y no lograr contraerse el dedo de la manera esperada.

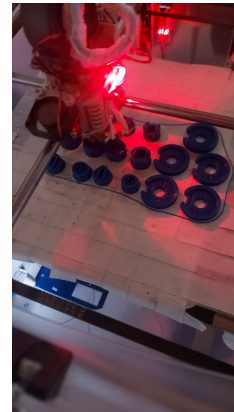


Figura 10: Material Escogido para Impresión

Luego de realizar esta impresión se evidenció que el acabado de la pieza no era el esperado por lo cual se optó por comprar un nuevo material el cual se muestra en la anterior imagen, con el que se procedió a imprimir la prótesis de la mano.

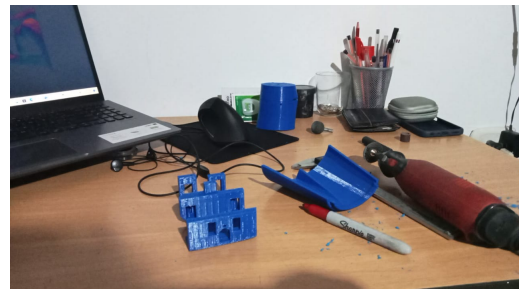


Figura 11: Mejoramiento de acabado de las piezas impresas

Una vez impresas todas las piezas de la mano biónica se procedió a mejorar el acabado de estas, con el fin de que el ensamblaje fuese más sencillo de realizar y que la prótesis no fuese tan aspera, ya que debido a que estas piezas terminaban con una textura muy aspera, aumentaba el

rozamiento impidiendo que al motor le fuese sencillo realizar el movimiento.



Figura 12: Material Escogido para Impresión

Seguidamente se realizó el correspondiente ensamblaje, en donde se aseguró que las piezas se acoplaran correctamente, para que en el momento de realizar los respectivos movimientos, la mano biónica fuese capaz de realizarlos sin ningún problema.



Figura 13: Ensamblaje mano Robótica

V. EXOESQUELETO



Figura 14: Exoesqueleto para mano de P4H bionics

El desarrollo de un exoesqueleto para mano podría ser útil en el desarrollo de terapias para prevenir la atrofia muscular y ayudar en la recuperación de la movilidad de los dedos y movimiento de muñeca. El exoesqueleto modelo que se utilizó de base de inspiración se muestra en la Figura 14, el cual es un exoesqueleto de P4H Bionics al que no se tiene acceso pero demuestra lo que queremos alcanzar. Este exoesqueleto

de mano utiliza un cinco motorreductores que permite generar un movimiento independiente en los dedos de la mano.



Figura 15: Motor DVD

Al exoesqueleto inicial se le pretenden realizar algunas modificaciones, partiendo de la mano escaneada. Se pretende dejar un motor para cada dedo, para en caso de ser utilizado en terapias permitir el mayor número de movimientos independientes posibles. Lo anterior inspirados en el exoesqueleto para mano de P4H bionics, a continuación se seleccionan los actuadores que ejecutaran dicha tarea:



Figura 16: Dimensiones Motor DVD [1]

Los actuadores seleccionados para llevar a cabo esta tarea se muestran en la figura 15, los cuales son motores "Step motor" cargados de mover con precisión el cabezal lector sobre el disco.

El Motor paso a paso de unidad óptica 0 motor de máquina de grabado láser de tornillo de 15mm de DVD o reproductor de CD, tiene las siguientes características:

- Tipo de Motor: 2-Fase 4-Sistema de alambre
- Voltaje de la unidad: 5V/MA
- Resistencia de la bobina: 10Ω.
- Longitud del tornillo: 56mm
- Motor diámetro: 15mm
- Diámetro del tornillo: 3mm
- Paso del tornillo: 3mm
- Ángulo de paso: 18

Otras características de este tipo de motores se encuentran en la siguiente tabla:

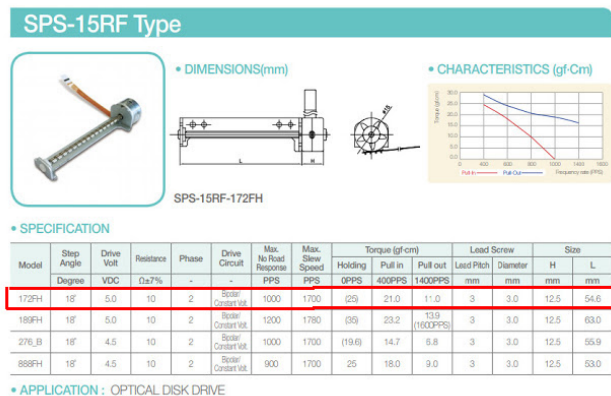


Figura 17: Datasheet Motor DVD SPS-15RF [2]

Luego de conseguir los motores necesarios para el funcionamiento del exoesqueleto, se llevó a cabo el desarrollo de nuestro exo-esqueleto partiendo del escaneo de la mano y generando una superficie apartir de esta; que serviría para ser la plataforma que soportaría los motores y eslabones y que a la vez se soportará sobre la mano:

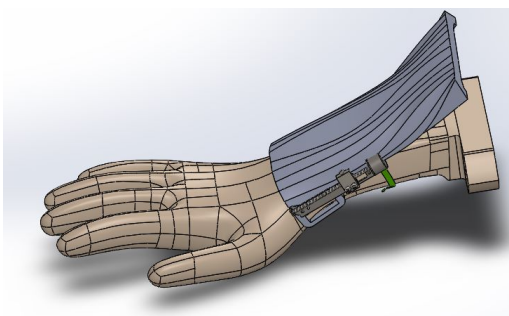


Figura 18: Plataforma de sujeción

En la siguiente imagen se muestra un ensamblaje del resultado donde se optó dejar los actuadores en una pieza mas atrás de la muñeca para permitir que esta también se flecte en caso de ser necesario:

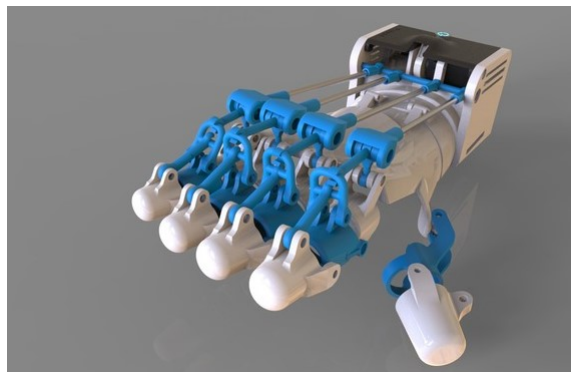


Figura 19: OpenPose Mano

Se procedió a imprimir las piezas que conforman el exoesqueleto con tanto con distintos problemas ya que son piezas muy irregulares que requieren de varios soportes para ser impresas:



Figura 20: Impresión eslabones - Exoesqueleto

El diseño del exoesqueleto de esta índole permite que al activar los actuadores que mueven los dedos y se quieren fuerzas de resistencia por los dedos o limite de movimiento la muñeca del brazo también suba o baje dependiendo la dirección de movimiento.

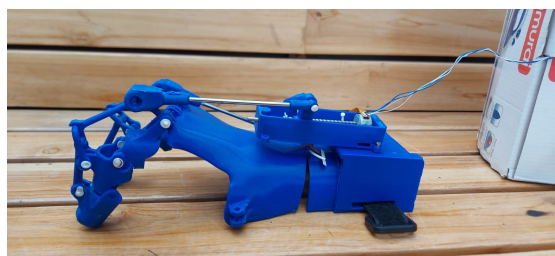


Figura 21: Resultado Final

VI. CONCLUSIONES



Figura 22: Ensamble Mano Robótica

En cuanto al diseño de la prótesis robótica, se optó por utilizar servo motores controlados para accionar los dedos a través de poleas, inspirándose en la mano de InMoov. Esta elección permitió una buena funcionalidad y flexibilidad en

los movimientos. Sin embargo, se considera la posibilidad de explorar otros materiales, como PET u otros materiales flexibles, para mejorar la adaptabilidad y comodidad de la prótesis.

Para el control del brazo robótico, se eligió la tecnología de MediaPipe para detectar las posturas y movimientos de la mano, lo cual demostró una baja latencia y una respuesta rápida en los movimientos. Además, se plantea la posible mejora de incorporar sensores capacitivos o electrodos en los dedos, como una opción adicional para mejorar el control y la precisión de la prótesis.

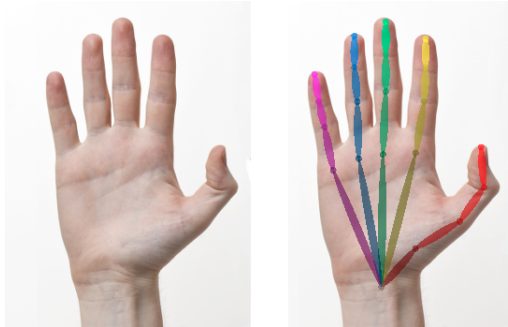


Figura 23: MediaPipe - Pose Mano

En cuanto a la función de extender y contraer la mano, se implementó una polea en la parte inferior de la ubicación del dedo índice, utilizando una impresión 3D con PLA para visualizar su funcionamiento. Se observó que el Nylon no era un material adecuado, ya que se deformaba con el tiempo. Como alternativa, se consideró el uso de materiales como el cáñamo o el hilo para caña de pescar, pero finalmente se optó por guayas trenzadas de acero, que ofrecen una baja deformación y rigidez cuando se tensan.

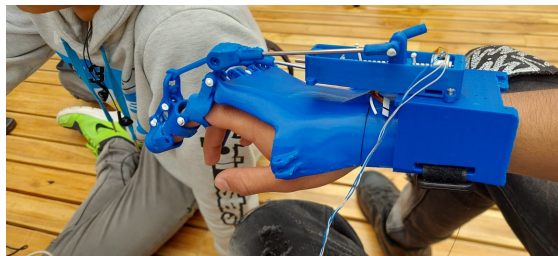


Figura 24: Resultado Final Exo-esqueleto

En cuanto al exoesqueleto, la implementación de motores de DVD permitió un diseño más compacto y mejores resultados en la construcción. Se identificaron amplias oportunidades de mejora y aplicaciones adicionales para el exoesqueleto, lo cual representa un campo prometedor para futuras investigaciones y desarrollos.

En resumen, el diseño y desarrollo de la mano biónica y el exoesqueleto proporcionaron resultados satisfactorios en términos de funcionalidad y control. Se identificaron áreas de mejora, como la exploración de nuevos materiales y sensores, que podrían aumentar la precisión y adaptabilidad de la prótesis. Además, se destacan las posibilidades de expansión y aplicaciones futuras del exoesqueleto. Este proyecto representa

un avance significativo en el campo de las prótesis y la rehabilitación de las extremidades superiores, brindando mayores oportunidades y mejorando la calidad de vida de las personas con discapacidades.



Figura 25: Resultado Final Mano Robótica

REFERENCIAS

- [1] aliexpress.com, "Motor paso a paso, DVD."
- [2] "Stepper 2 — sm15dd bipolar stepper motor and adafruit tb6612 driver board — bends."
- [3] I. y control.net, "Los Buses de Campo: directo al grano."
- [4] D. R. L. JOHANA CARBALLO SIERRA, "TUTORIAL NORMA ISA S5.1 Y DIAGRAMAS PID JOHANA," *UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR, CARTAGENA DE INDIAS D. T. Y C.*, 2011.
- [5] M. A. Mendoza, "Introducción a la Instrumentación. Simbología, normas y sistemas de unidades.," 2000, pp. 1–29, 2014.
- [6] J. Roldan Castillo, "Simbología Y Diagramas De Instrumentación Normas Isa," *Simbología Y Diagramas De Instrumentación*, p. 33, 2010.
- [7] N. A. Isa, "Normas ansi / isa para instrumentación."
- [8] O. P. Rivera, P. Asociado, P. Oscar, and P. Rivera, "Pagina 1 Norma ISA," tech. rep., UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE, SANTIAGO DE CHILE.
- [9] C. A. Salazar Serna and L. C. Correa Ortiz, "Buses de campo y protocolos en redes industriales," *Ventana Informatica*, no. 25, pp. 83–109, 2013.
- [10] "BUSES DE CAMPO," 2010.
- [11] A. Iverson and I. Verhappen, *Instrumentation Symbols and Identification ANSI/ISA-5.1-2009*. No. September, 2009.