

Uso de escaneo 3D y manufactura aditiva para el prototipado de ortesis

G. Pérez-Hernández ¹, J.E. Ojeda-Rosas ¹, M. González-Guevara ², O. Gallegos-Ortega ², P.G. López-Vázquez ¹, G. Capilla-González ³

¹Licenciatura en Ingeniería Mecatrónica. División de Ingenierías Campus Irapuato-Salamanca.

²Licenciatura en Ingeniería Mecánica. División de Ingenierías Campus Irapuato-Salamanca.

³Departamento de Ingeniería Mecánica, División de Ingenierías Campus Irapuato-Salamanca.

gperezhermandez@ugto.mx, je.ojedarosas@ugto.mx, m.gonzalezguevara@ugto.mx, o.gallegosortega@ugto.mx, pg.lopez.vazquez@ugto.mx, g.capilla@ugto.mx

Resumen

En el presente trabajo de investigación se desarrolló una metodología basada en el proceso de escaneo 3D y manufactura aditiva para el diseño y fabricación de ortesis de inmovilización de mano y rodilla. Las geometrías obtenidas del proceso de escaneo 3D fueron procesadas en un software de diseño asistido por computadora (CAD), un software para el procesamiento de mallas y el software para la impresión. Las ortesis fueron manufacturadas en ácido poli-láctico (PLA) utilizando los parámetros de impresión sugeridos para este material. Parámetros como la densidad de relleno, espesor y dirección de los filamentos fueron considerados dentro del proceso de impresión. Finalmente, se manufacturó una ortesis de inmovilización de mano, con mejoras en el diseño estructural utilizando diagramas de Voronoi así como en el sistema de ensamble de las partes.

Palabras clave: Escaneo 3D, manufactura aditiva, ortesis, diagramas de Voronoi, PLA.

Introducción

Cuando habla de discapacidad se hace referencia a las limitaciones o dificultades que tiene una persona para llevar a cabo acciones o tareas en situaciones cotidianas y vitales debido a una condición física y/o mental. Ya que como señala la Organización Mundial de la Salud (OMS), la discapacidad forma parte de la propia condición humana; por lo cual existe una alta probabilidad de que cualquier persona sufra de algún tipo de discapacidad ya sea temporal o permanente en algún punto de su vida.

A partir de los resultados de la encuesta del diagnóstico sobre la situación de personas con discapacidad en México, se estima que, en 2014, el 6.4% de la población del país (7.65 millones de personas) reportaron tener al menos una discapacidad, las cuales representan en su mayoría a personas adultas mayores que contaban con 60 años o más (52.1% del total de PCD o 3.98 millones de personas). Además, en ese mismo año el principal tipo de discapacidad reportado fue la motriz (37.32% de las PCD o 2.6 millones de personas).

Por otro lado, los equipos de prótesis más utilizados como ayudas técnicas que permiten incrementar el desempeño de las PCD son las prótesis de pie, pierna o rodilla (18%); de cadera (12%); de mano, dedos o brazo (4%); ocular (1%) u otro tipo de prótesis (3%). Por otro lado, los equipos de órtesis más utilizados son el bastón (9%), aparatos auditivos (9%), aparatos ortopédicos (7%) y otros tipos de prótesis (8%), como se puede observar en la Figura 1.

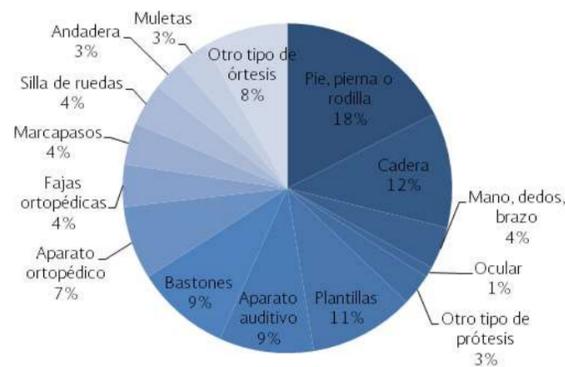


Figura 1.- DGAP con datos del informe Final de Resultados de la ENPDs 2010, Instituto Nacional de Salud Pública.

Uno de los aspectos importantes es el acceso a una atención médica inmediata y eficiente donde se le puede ofrecer al paciente los servicios adecuados y de calidad de los sistemas de salud en México puesto que en la mayoría de los casos se requiere de una atención constante y especializada.

¿Qué son las órtesis?

Las ortesis son dispositivos de uso externo que realizan funciones de corrección y soporte de los sistemas esquelético y neuromuscular. Aparatos como estos pueden ser de gran utilidad para el tratamiento de lesiones de diversa índole y gravedad.

Estos aparatos pueden ser clasificados como:

- Férulas pasivas no articuladas
- Férulas dinámicas articuladas
- Órtesis de dedo
- Órtesis de mano
- Órtesis de muñeca (Elástica, pasiva y dinámica)
- Órtesis de codo
- Órtesis de codo a hombro
- Órtesis de codo, hombro y muñeca
- Órtesis de cadera (Abducción, Abducción y descarga)
- Postural
- Órtesis de bidepestaación y marcha
- Collarines
- Soportes rígidos

Así mismo mencionan que las ortesis se pueden clasificar de una forma más general en:

- Funcionales o dinámicas cuyo objetivo es mejorar la forma de caminar de los usuarios.
- Posturales o pasivas que se enfocan en corregir la postura o algunas deformidades.
- Correctoras usan un mecanismo de soporte de tres puntos que alivian la carga uno del otro simultáneamente.
- Inmovilizadoras permiten una libertad al usuario de regresar a actividades cotidianas.
- De descarga que permite transferir el esfuerzo soportado hacia un punto específico.

Se puede inferir que existen diversas subclasificaciones de estos aparatos, sin embargo, esta investigación se centra en el estudio de órtesis de muñeca y rodilla, con un enfoque inmovilizador; ya que se brindará un apoyo a la articulación de forma que el usuario sienta seguridad de inmiscuirse en sus labores diarias aun cuando se encuentra en un proceso de rehabilitación.

Proceso de escaneo 3D

a) Calibración

Para iniciar la calibración del escáner se requiere realizar un estudio óptico del espacio donde se realizará el escaneo. Es importante considerar la cantidad de luz que entra al escáner, así como su orientación. Para dar inicio, se debe conectar el escáner al equipo de cómputo y entrar al software EinScan 1.0.4.4 y seleccionar el proceso de calibración, necesario para cada condición de luz. Para dar conclusión a este proceso se deben seguir las indicaciones establecidas en la interfaz.

b) Selección del tipo de escaneo

Antes de iniciar el escaneo se debe tener en cuenta que existen varias formas de usar el dispositivo EinScan – H, en este caso se usó el tipo “Body Scan” para dar detalle a cuerpos de gran tamaño. Se deben seguir las instrucciones del software para tener un resultado satisfactorio.

c) Escaneo

Fijar el objetivo dentro del campo visual del escáner para que así pueda comenzar a digitalizar, siguiendo con un desplazamiento suave y constante para mejores resultados.

d) Postproceso

Una vez que se tiene la imagen capturada a partir del objetivo es de suma importancia elegir el formato al que se exportará la digitalización, esta ocasión se usó el formato.



Figura 2. Proceso de escaneo 3D.

Superficies y modelos CAD

En el presente apartado se expondrá el proceso que se llevó a cabo para la selección del área superficial de la extremidad en la que se realizaría la ortesis, tratándose de una ortesis de mano y de rodilla. Además, también se presentara el desarrollo para la obtención de los modelos CAD respectivos.

Selección del área.

Para realizar el proceso de selección para el tamaño de la órtesis se utilizó el modelo de la extremidad que previamente se había escaneado. Una vez obtenido el modelo en el formato adecuado, se procedió a utilizar el entorno de Meshmixer para hacer la selección del área para el diseño de la ortesis mediante la herramienta de “selección”. Una vez seleccionada el área de trabajo se suavizaron los bordes para que el modelo fuera más limpio y estético. El área fue elegida con el propósito de que la órtesis fuese cómoda y totalmente funcional para el paciente, se optó por dejar libre el extremo superior de los huesos metacarpianos para que

fuera posible la movilidad de las falanges sin que existiera molestia, así como recubrimiento total de la muñeca para un mejor soporte obteniendo una longitud total de 15 cm. Es importante mencionar, que el tamaño de la órtesis cambiará de acuerdo a la antropometría de cada paciente, teniendo una órtesis hecha a la medida.

Modelos CAD.

Una vez que se determinó el área superficial respectiva para las ortesis, se procedió con la elaboración del modelo CAD, el diseño del modelo tanto para la ortesis de mano como de rodilla se presenta a continuación.

Modelo CAD ortesis de mano.

En el diseño de la ortesis de mano se utilizaron los programas de la familia de Autodesk; Meshmixer e Inventor. El primero fue empleado para modelar la ortesis (selección de grosor, offset, diseño y cortes) mientras que en Inventor se diseñaron y agregaron los bornes exteriores, los cuales tienen la función del ensamble y desensamble de la prótesis en la extremidad. Este procedimiento se presenta a continuación.

Selección del grosor.

El grosor de la pared de la ortesis de mano se estableció de 3 mm, siendo un valor apropiado para otorgar la rigidez necesaria para la estructura. Además, es importante señalar que este parámetro está relacionado con el tipo de material con el que se fabricaría la ortesis. El material utilizado para la fabricación de las ortesis es ácido poli-láctico (PLA por sus siglas en inglés) el cual es un polímero biodegradable proveniente de la fécula de maíz.

Offset estructural.

Con la finalidad de considerar el efecto de la contracción del material al ser impreso mediante tecnología FDM, se estableció un offset para toda la superficie de la ortesis de mano de 2 mm partiendo de la superficie de la extremidad. Este offset considerado puede variar dependiendo del tipo de material utilizado y algunos parámetros de impresión como lo es la temperatura del extrusor. En la Figura 3 se muestra la estructura general de la ortesis de inmovilización de mano con las características mencionadas.

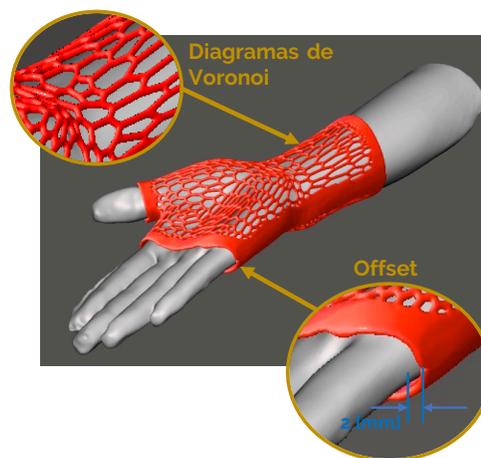


Figura 3.- Ortesis de inmovilización de mano con los parámetros considerados.

Diagramas de Voronoi.

Una parte del diseño de la ortesis se conforma por los diagramas de Voronoi, los cuales son una técnica que permite el ahorro del material a través de la generación de geometrías poligonales; permitiendo la disminución del tiempo de impresión, así como la conservación de la rigidez estructural de la ortesis.

Colocación de los bornes.

Para que la ortesis sea un dispositivo fácil de quitar y poner a manera que el propio paciente pueda realizar esta tarea se diseñaron bornes que van adheridos a los laterales de la ortesis. Cabe mencionar, que la ortesis se separa en dos secciones: superior para la parte del dorso de la mano e inferior para la parte de la palma. Dichos bornes son de 14 milímetros de diámetro y se unen mediante O-rings cuyo diámetro puede variar para dar un mayor ajuste a las partes. Para la elaboración de los bornes se trabajó en el entorno de Autodesk Inventor importando el archivo del diseño previo, utilizando operaciones como extrusión y empalme. Se crearon planos en 3 diferentes lugares para la colocación de los bornes, uno en la parte lateral superior, el segundo en el centro y el ultimo en la parte lateral inferior, quedando 3 de cada lado para mayor sujeción, 6 en total.

Corte y separación de la ortesis.

Para realizar el corte de la ortesis se utiliza la herramienta de corte en el plano en Meshmixer, cuidando que pase por todos los bornes y exista una simetría en ambas partes. Para separar ambas partes se realiza una transformación de coordenadas a una de las piezas de manera vertical respecto a la otra para obtener las 2 partes de la ortesis. La Figura 4 muestra las dos secciones de la ortesis desarrollada así como los bornes de unión.

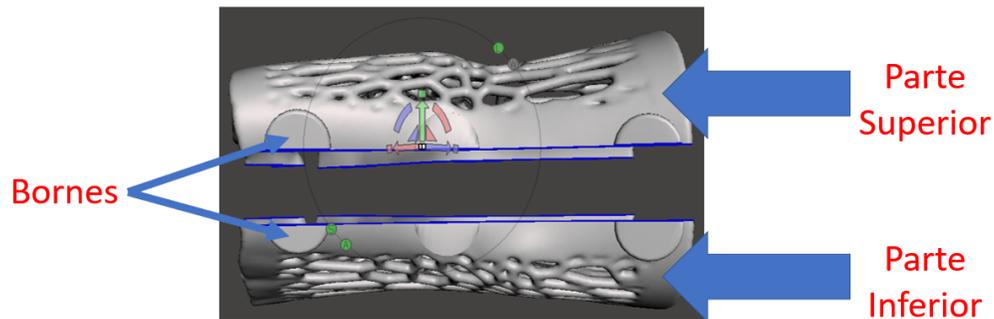


Figura 4.- Ortesis cortada en el plano y separada en 2 partes.

Proceso de conversión de formatos.

La generación del modelo CAD para la ortesis de mano se realizó a partir de dos programas de la familia de Autodesk; Meshmixer e Inventor, debido a los distintos formatos que están presentes en ambos programas fue necesario la conversión de formatos.

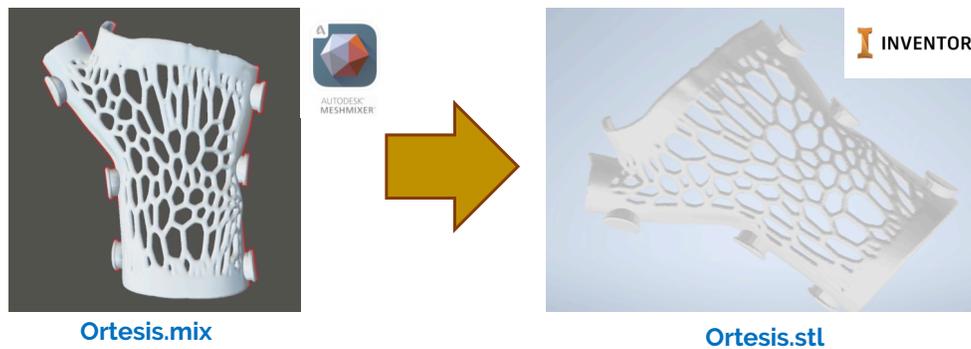


Figura 5.- Proceso de conversión de formatos; Autodesk Meshmixer – Autodesk Inventor.

El formato STL fue el empleado para hacer posible la edición en ambos programas, ya que cuenta con compatibilidad con cualquier sistema CAD actual. Además de ser el formato de transmisión de datos estándar de la industria de creación rápida de prototipos o impresión 3D.

Modelo CAD ortesis de Rodilla.

Para trabajar sobre el modelo 3D, en el programa Inventor de la familia Autodesk, fue necesario convertir la malla a un cuerpo sólido.

Creación de Solido.

Primeramente, se crearon 17 planos transversales separados 2cm cada uno a lo largo de la pierna. Utilizando la herramienta spline, se modelan las caras de corte, para posteriormente tener la posibilidad de generar un barrido a través de estas, y se obtiene un modelo solido de la pierna. Este posteriormente, con un plano lateral, se divide en distintas caras que posteriormente se pueden extruir. El procedimiento descrito es mostrado en la Figura 6.

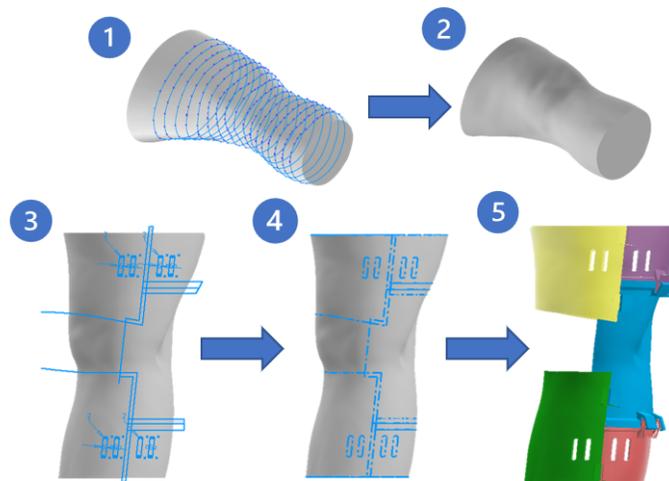


Figura 6.- Proceso de creación de modelo 3D de ortesis de rodilla en Inventor.

El espesor de la ortesis es de 3 mm y con una holgura de 2 mm la pierna y la ortesis. Algunas decisiones importantes de este modelo, ha sido la división de este en 5 partes, para que sea más fácil imprimirlo en impresoras convencionales, y ser capaces de cubrir mayor parte de la extremidad.

Uniones.

Debido a que el tamaño de la ortesis rebasa las dimensiones de la impresora, la ortesis fue dividida en secciones las cuales fueron ensambladas mediante clips integrados en el modelo. Para el diseño de las uniones, se consideró que éstas deben tener la rigidez suficiente para unir de forma adecuada cada una de las partes, así como deben permitir el proceso de ensamble y desensamble de forma sencilla. También, en el diseño se incluyeron pares de rendijas que permitirán hacer uso de cintas de velcro para reforzar las uniones. El modelo de la ortesis así como el detalle del sistema de unión son mostrados en la Figura 7.

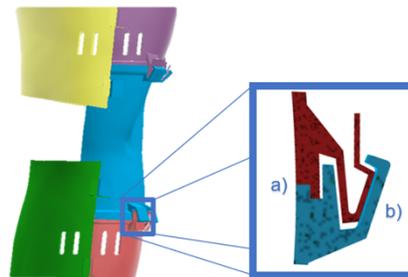


Figura 7.- Vista de corte de la unión de dos piezas, donde se observan a) las intersecciones de las pestañas y b) el clip.

Las uniones más sencillas tratan de pestañas para que las piezas estén bien embonadas y clips diseñados para ser impresos con la pieza y que proporcionen un mejor ajuste. Además de tener una sección alargada para ser fácil de removerse con el movimiento de un dedo en caso de ser necesario, como se muestra en la Figura 7. La ortesis cuenta en total con 14 clips, 6 como unión de las tres partes inferiores y 4 por cada unión superior.

Patrón de Voronoi.

En el programa Autodesk® Fusion 360™ existe un add-in que permite generar un patrón de Voronoi conforme a una cara plana. Las configuraciones de este posibilitan cambiar la densidad de celdas y la forma de esta, para que se acomode mejor al perfil deseado.

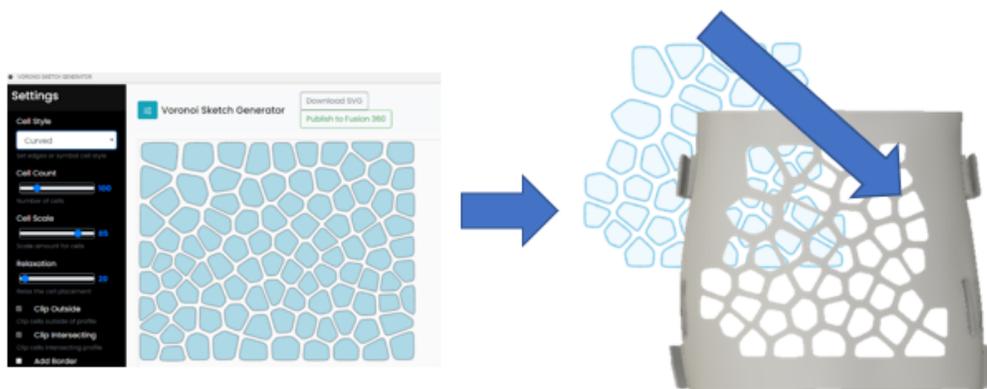


Figura 8.- Extrusión del patrón de Voronoi en una pieza de la férula.

Con el perfil creado, se realizó un corte de extrusión en las caras más grandes de los modelos sin interferir en partes cruciales como las uniones. Estos cortes se realizaron con el propósito de reducir la cantidad de material sin afectar de gran manera la estructura.

Proceso de impresión 3D

Para llevar a cabo la impresión de ambas partes de la órtesis de brazo se ha tenido que subir el archivo STL definitivo al programa de impresión Ultimaker CURA, en este caso la versión 5.0. En esta interfaz de impresión nos permite acomodar de la manera más óptima la pieza en la cama de impresión. Para la órtesis de brazo en específico haremos 2 rondas de impresiones, la primera para imprimir la parte superior y la otra para la parte inferior. Cabe recalcar que por el tamaño de las piezas bien se podrían imprimir ambas en una sola impresión, pero se ha decidido que sea por separado para optimizar la vida útil de la impresora y sus componentes.

La impresora que se utilizó para la impresión de la órtesis de brazo es la Ender-3 de la compañía Creality, y se ha configurado con los siguientes parámetros para las 2 partes impresas:

- Material: PLA
- Calidad de impresión: estándar (0.2 mm)
- Anchura de pared: 1.2 mm
- Densidad de relleno: 50%
- Patrón de relleno: Triangular-Hexagonal
- Temperatura de impresión: 200°C
- Velocidad de impresión: 50 mm/s
- Velocidad de ventilación: 100%
- Forma del soporte: Tipo árbol
- Base de construcción: Tipo raft

En la interfaz de CURA se puede visualizar previamente la impresión y el tiempo que le tomaría realizarla. En la figura 8 se puede previsualizar la parte superior de la órtesis de brazo junto con el tiempo y el material necesario para imprimirse. Es un tiempo y un material bastante similar para la parte inferior de la órtesis.

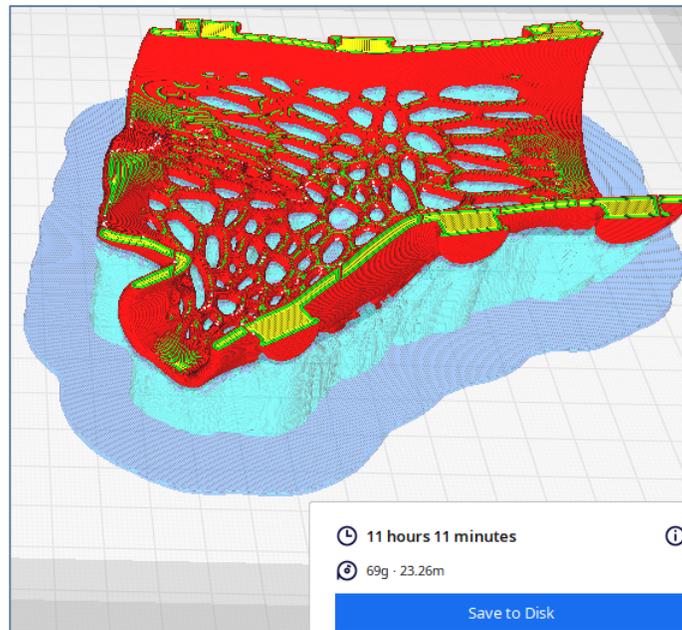


Figura 9.- Vista preliminar de impresión de la parte superior de la órtesis de brazo.

Resultados y conclusiones

Una vez terminado el proceso del diseño de los modelos respectivos para las ortesis de mano y rodilla, se procedió a la manufactura. El proceso de impresión se presentó en el apartado anterior y los resultados obtenidos se muestran en la Figura 10.



Figura 10.-Ortesis de mano impresa en PLA.

En el presente proyecto se desarrolló una metodología para el diseño y manufactura de ortesis de inmovilización de mano y de rodilla. Primeramente, se realizó una revisión del estado del arte y la técnica referente a las ortesis¹⁻⁵; donde se analizaron distintos factores como el tipo de ortesis, material, diseño estructural, forma de ensamble, etc. Posteriormente se realizó una lluvia de ideas para obtener un nuevo diseño funcional de las ortesis con base en los parámetros de interés revisados. Finalmente se utilizaron las herramientas de escaneo 3D, diseño asistido por computadora y manufactura aditiva para la fabricación de estos elementos. Como se observa en la Figura 10, se presenta una ortesis para la inmovilización de mano, siendo el producto final del trabajo de investigación. Sin embargo, aún es necesario continuar trabajando para mejorar características del modelo así como considerar las propiedades mecánicas del material para tener una órtesis totalmente funcional.

Referencias

- [1] S. Janzen, K. Stewart, and P. P. Pott, "Low-cost active knee orthoses - A systematic evaluation: Assisted stair climbing and sit-to-stand," *Current Directions in Biomedical Engineering*, vol. 4, no. 1, pp. 649–652, Sep. 2018, doi: 10.1515/cdbme-2018-0156.
- [2] S. Santos, B. Soares, M. Leite, and J. Jacinto, "Design and development of a customised knee positioning orthosis using low cost 3D printers," *Virtual and Physical Prototyping*, vol. 12, no. 4, pp. 322–332, Oct. 2017, doi: 10.1080/17452759.2017.1350552.
- [3] Y. A. Jin, J. Plott, R. Chen, J. Wensman, and A. Shih, "Additive manufacturing of custom orthoses and prostheses - A review," in *Procedia CIRP*, 2015, vol. 36, pp. 199–204. doi: 10.1016/j.procir.2015.02.125.
- [4] D. S. Chae *et al.*, "The functional effect of 3D-printing individualized orthosis for patients with peripheral nerve injuries: Three case reports," *Medicine*, vol. 99, no. 16, p. e19791, Apr. 2020, doi: 10.1097/MD.00000000000019791.
- [5] K. W. Lin, L. W. Chou, Y. T. Su, S. H. Wei, and C. S. Chen, "Biomechanical effect of 3d-printed foot orthoses in patients with knee osteoarthritis," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 11, no. 9, May 2021, doi: 10.3390/app11094200.