

Artículo de Investigación

3D printed orthoses for the treatment of upper limb injuries in young adults in rural communities of Popayán

Órtesis impresas en 3D para el tratamiento de lesiones en miembros superiores en adultos jóvenes de las comunidades rurales de Popayán.

Dumer Duban Hoyos Noguera ^{1*} , Angela María Muñoz Molano ² 

Citación: Hoyos D,D; Muñoz A;M. "Aplicación del ambiente virtual de aprendizaje arduino para el desarrollo de habilidades tecnológicas en educación media ". I + T + C Investigación, Tecnología y Ciencia. Vol 1. Num. 16. 2022.

Nota del editor: Sello editorial Unicomfacaucá se mantiene neutral con respecto a los reclamos derivados de los resultados de este artículo.



Derechos de autor:© 2022 por los autores. Presentado para posible publicación en acceso abierto bajo los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Attribution (CC BY NC SA) (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es_ES)

¹ Ingeniería Mecatrónica. Unicomfacaucá. dumerhoyos@unicomfacaucá.edu.co

² Fisioterapia. Fundación Universitaria María Cano. angelamariamunozmolano@fumc.edu.co

Resumen: En este artículo se realiza una investigación y desarrollo de dos tipos de férulas para diferentes traumas en miembros superiores aplicando conocimientos y técnicas de la ingeniería mecatrónica al campo de la salud. Se han aplicado tres tecnologías importantes a esta investigación, como lo son: el escáner 3D, el diseño CAD y la impresión 3D, con las que se pueden diseñar diferentes tipos de órtesis para múltiples patologías en miembros superiores u otras partes del cuerpo que requieran este tipo de elementos. Se propone el desarrollo de dos férulas para los traumas denominados Tenosinovitis de Quervain y fractura de radio distal siendo las patologías más comunes en las personas haciendo uso de la fotogeometría (escáner 3D) para obtener el modelo del miembro a inmovilizar con todas sus características como tamaño, forma y posición, luego se enviará dicho diseño a un software médico en donde se procesarán y diseñarán las férulas completamente personalizadas a gusto del paciente, a continuación, se transfiere el diseño de las férulas a una impresora 3D que es la encargada de fabricar el modelo a escala real, consiguiendo así un diseño personalizado, obteniendo una reducción en masa a valores inferiores a los de un yeso tradicional y además una adaptación muy precisa en cada paciente.

Palabras clave: órtesis, impresión 3D, escáner 3D, diseño CAD/CAM/CAE, lesiones, miembros superiores.

Abstract: In this article we carry out a research and development of two types of splints for different traumas in upper limbs, applying knowledge and techniques of mechatronic engineering to the field of health. Three important technologies have been applied to this research, such as: 3D scanner, CAD design and 3D printing, with which different types of orthoses can be designed for multiple pathologies in upper limbs or other parts of the body that require this type of element. The development of two splints for traumas called Quervain's tenosynovitis and distal radius fracture is proposed, being the most common pathologies in people making use of photogeometry (3D scanner) to obtain the model of the limb to be immobilized with all its characteristics such as size, shape and position, then said design will be sent to a medical software where the splints will be processed and designed completely customized to the patient's liking. then, the design of the splints is transferred to a 3D printer that is responsible for manufacturing the full-scale model, thus achieving a personalized design, obtaining a reduction in mass to values lower than those of a traditional cast and also a very precise adaptation in each patient.

Keywords: orthosis, 3D printing, 3D scanner, CAD/CAM/CAE design, injuries, upper limbs.

1. Introducción

En Colombia la gran mayoría de la población rural en algún momento de su vida ha sufrido de lesiones, esguinces, fisuras o fracturas en sus miembros superiores por realizar trabajos que los exponen a cargas físicas excesivas al realizar sus labores de agricultura. Se calcula que en el país al año se reportan 40.000 fracturas de vertebras, 20.000 fracturas de cadera y 12.000 de muñeca, siendo las 3 fracturas más comunes [1]. Dichas lesiones de mano en agricultores causan importante ausentismo laboral y secuelas incapacitantes que representan un impacto socioeconómico para la región [2].

Para cada uno de estos problemas mencionados se aplican diferentes métodos de recuperación, ya sea por medio de yesos o férulas, que normalmente son fabricados a base de yeso o fibra de vidrio, los cuales no son muy cómodos para los pacientes y acarrear consigo consecuencias no tan favorables durante la recuperación como la picazón, úlceras, mal olor y molestias al desarrollar diferentes actividades tan simples como el bañarse [3]. En este trabajo se pretende aplicar la tecnología de la fabricación digital mediante el sistema de escaneo 3D, para las extremidades superiores como muñeca y brazos. Estas férulas tienen como objetivo solucionar los problemas que muestran la escayola o yeso tradicional, como: hinchazón, ardor, mal olor, entumecimiento, irritación de la piel, aparición de alergias, entre otros.

Igualmente, se busca con ellas optimizar la recuperación de los pacientes mejorando la fuerza muscular, el rango de movilidad articular y la capacidad para la realización de las actividades diarias; esto a la vez que se disminuye el dolor y el número de complicaciones propias de la lesión, relacionadas con el uso de las escayolas de yeso tradicional [3]. Las ventajas que proporciona la férula de fabricación digital tridimensional, se deben al material con el que pueden ser elaboradas, a la forma de la férula con un diseño que permita una mejor transpiración para mejorar la comodidad y una fácil adecuación a la hora de retirarla o adherirla a la extremidad afectada. Esta última es la principal ventaja que presentan dichas férulas, permitiendo un mejor control de la piel de la zona afectada, además de permitir una movilización lo más temprana posible no solo de las articulaciones más próximas a la fractura sino también de la afectada [4].

La democratización de la tecnología de impresión 3D y el acceso universal que se está produciendo tanto con los programas de modelado como con la impresión y escáner 3D, indican que la fabricación aditiva se cataloga como una tendencia disruptiva, marcando un antes y un después para el mundo de la fabricación de todo tipo de elementos personalizados y que, por ejemplo, pueden abordar toda una gama de alternativas eficientes para el tratamiento de lesiones Músculo esqueléticas entre otros campos de la medicina [5]. Por este motivo, se propone usar nuevos métodos de tratamiento como lo son las férulas impresas en 3D, las cuales difieren bastante en ventajas, comodidad, apariencia y características a las tradicionales. Al fabricarse mediante impresión 3D se pueden crear geometrías bastante complejas, por lo que normalmente estas férulas tienen aspectos bastante refinados para ahorrar peso, mejorar la resistencia y ser, en general, productos mejor diseñados. Las férulas habituales no son diseñadas de manera individual para cada usuario. Suelen consistir en una parte rígida y dura y una serie de elementos de sujeción, ya sean vendas, cintas o correas. Una férula convencional está diseñada para ser capaz de funcionar en cualquier persona, por lo que nunca será todo lo precisa que debería y, en ocasiones, restringirá nuestro movimiento más o menos de lo necesario [7]. Una férula impresa en 3D no tendría por qué funcionar así, siguiendo el paradigma de la fabricación digital, se diseñan férulas para su impresión en 3D a la medida de cada persona, su textura y particularidades de forma y estética. Esto significa que la férula envolverá de manera perfecta nuestra extremidad para satisfacer las restricciones de movilidad que nos prescriba un profesional de la salud [7].

2. Materiales, métodos

Para abordar el presente proyecto de investigación aplicada se adopta una metodología secuencial por fases. Uno de los procesos de diseño para productos mecatrónicos es conocido como VDI2206; proceso aceptado mundialmente desarrollada por la Sociedad de Ingenieros Alemanes, con el fin de realizar su respectivo seguimiento. De acuerdo con la metodología adoptada se presentan las siguientes fases.

FASE1: Requerimientos: Especificaciones de forma de la mano

Actividades

1. Revisar bibliografía de las características morfológicas de la mano
2. Estudiar las lesiones musculoesqueléticas
3. Determinar posición de seguridad de la mano

FASE 2: Diseño del sistema: Especificaciones de órtesis

Actividades

4. Determinar el peso del dispositivo deberá estar entre 200 - 400 g.
5. Garantizar que el dispositivo sea cómodo
6. Garantizar que el dispositivo se pueda mojar
7. Garantizar que el dispositivo se adapte a la morfología de cada paciente
8. Garantizar que el dispositivo permita la fácil colocación y circulación de aire
9. Diseño y rediseño después de las asesorías con especialistas
10. Estudio de los materiales para impresión de órtesis, prefiriendo bajo costo y fácil acceso.
11. Proporcionar una resistencia adecuada en el punto de interés.
12. Garantizar un diseño estético neutro

FASE 3: Modelado y análisis: Simulación y pruebas de las órtesis

Actividades

13. Analizar resistencia mecánica
14. Analizar ergonomía
15. Estudiar el diseño según requerimientos
16. Realizar realimentación según las pruebas preliminares
17. Analizar desde la estadística los datos de simulación y factor de seguridad

-Informe y sustentación preliminar

FASE 4: Integración del sistema: Fabricación de las órtesis

Actividades

18. Utilizar tecnología de impresión 3D

19. Estimar la viabilidad del uso de tecnologías de escáner 3D
20. Utilizar técnicas de CAM para la obtención del código G
21. Definir un perfil de impresión 3D
22. Utilizar técnicas de post-procesamiento

FASE 5: Verificación y validación: Evaluación de las órtesis

Actividades

23. Realizar simulaciones mecánicas para estimar el desempeño de las órtesis
24. Realizar la evaluación de los prototipos basada en encuestas
-informe y sustentación final

El esquema metodológico general se presenta en la Fig.1.

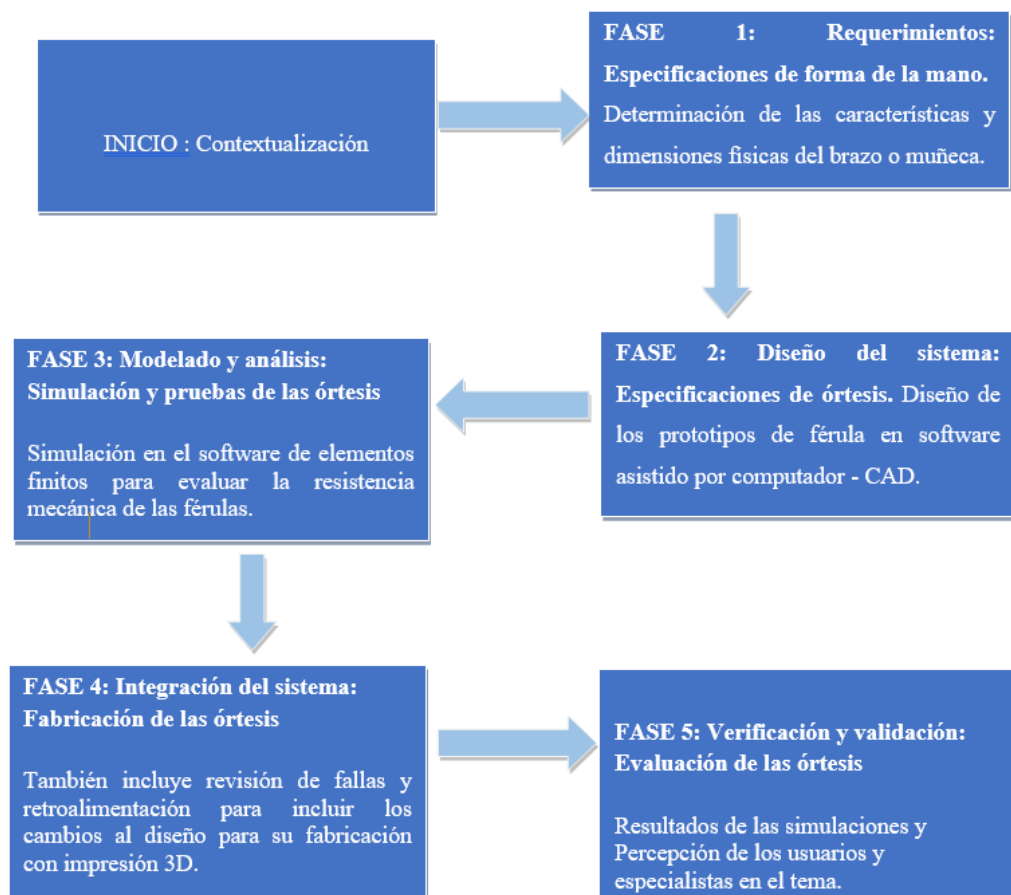


Fig.1. Esquema metodológico del proyecto. Fuente: Elaboración propia

Antes de iniciar con los diseños de las órtesis se debe cumplir con ciertos requisitos para lograr obtener un dispositivo seguro, con una excelente calidad y además que su funcionamiento supla las necesidades que requiera el paciente, los requisitos a tener en cuenta son, ver tabla 1.

Tabla 1. Principales características que debe tener una órtesis o una férula para lograr obtener un dispositivo seguro, funcional y de calidad para el usuario.

REQUISITOS PARA OBTENER UN DISPOSITIVO SEGURO Y FUNCIONAL	
	➤ El peso de la órtesis no debe superar los 400 gramos de peso.
	➤ La órtesis debe ser cómoda para el paciente.
	➤ La órtesis debe ser higiénica previniendo afecciones a la piel del paciente.
	➤ La órtesis debe poder entrar en contacto con el agua sin que se deteriore.
	➤ La órtesis debe tener una adaptación excelente a la anatomía del paciente.
	➤ Debe permitir la fácil colocación del dispositivo y extracción para que el especialista pueda realizar valoraciones durante la recuperación.
	➤ La órtesis debe tener una excelente circulación de aire gracias a su diseño.
	➤ Debe ser impresa en materiales de fácil acceso y además de bajo costo.
	➤ Debe tener una excelente ergonomía y que sean atractivas al ojo humano.

Fuente: Elaboración propia.

3. Resultados

Para la elaboración de las órtesis se realizó un escaneo 3D al miembro superior afectado para parametrizar y lograr obtener un modelo 3D de la zona con la lesión, la cual facilitará la fabricación de los diseños y además permitirá ser completamente adaptable y personalizable para el paciente. Para el escaneo de los miembros superiores, se debieron tener en cuenta los siguientes requisitos, que fuera un lugar iluminado y que el paciente tuviera su miembro afectado en una posición de seguridad orientada por un profesional de la salud (fisioterapeuta).

Siguiendo las recomendaciones previamente mencionadas, se utilizó un escáner sin contacto Einscan Pro 2X Plus de la marca Shining 3D para obtener el modelo 3D de los miembros superiores de los pacientes. Este escáner manual permitió realizar un escaneo completo de la extremidad deseada, para procesar los datos escaneados en tiempo real, se empleó una computadora con un hardware adecuado además del software Einscan Pro que sirve para recibir y visualizar el modelo a medida que se generaba durante el escaneo. Una vez finalizado el proceso de escaneo, se obtuvo el primer modelo del miembro escaneado.

Después, se realizó la corrección del modelo utilizando el programa Einscan Pro, se seleccionaron las partes no deseadas haciendo clic izquierdo y utilizando la tecla CTRL, las cuales fueron eliminadas para obtener un modelo más limpio y preciso. A continuación, el modelo fue exportado en formato STL, que es el tipo de archivo utilizado por el software de diseño de férulas y órtesis, ver Fig.2.



Fig.2. Miembro superior escaneado en posición de seguridad orientada por fisioterapeuta y listo para pasarlo a software de diseño de órtesis y férulas. Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presenta el diagrama de flujo correspondiente, con el propósito de brindar una comprensión más clara del proceso previamente descrito en forma de texto. Para visualizar el diagrama, consultar la Figura 3.

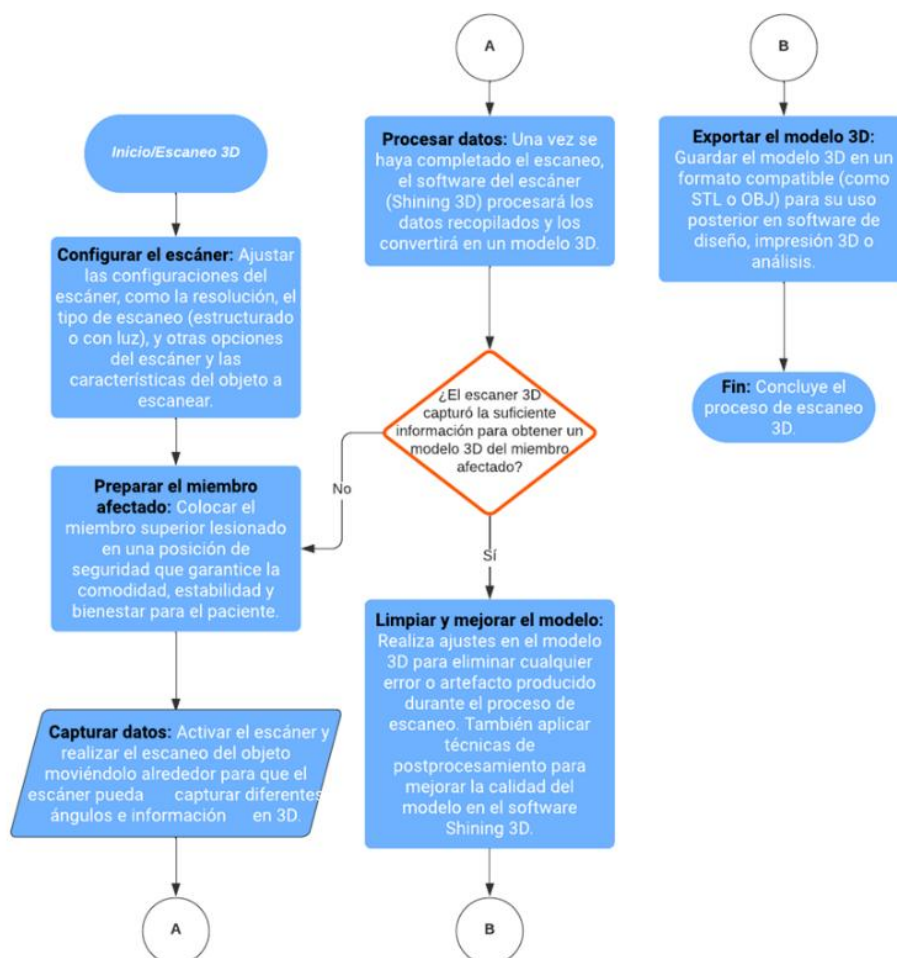


Fig.3. Diagrama de flujo para llevar a cabo el escaneo 3D del miembro afectado. Fuente: Elaboración propia

A continuación se procedió a utilizar un programa llamado Mediace 3D ®, el cual es un software CAD 3D médico con origen en Corea del sur, dicho programa está diseñado para desarrollar todo tipo de órtesis y férulas personalizadas mediante la aplicación de un algoritmo de diseño de plantilla patentado, este software permite diseñar órtesis y férulas para diferentes partes del cuerpo como lo son los brazos, las piernas, los pies y además cuenta con un apartado libre en donde se pueden diseñar férulas para el resto del cuerpo como la cabeza y el torso además de servir para desarrollar férulas para animales.

Para comenzar con el diseño de la órtesis se configuró el software Mediace 3D como se muestra en la Fig.4.

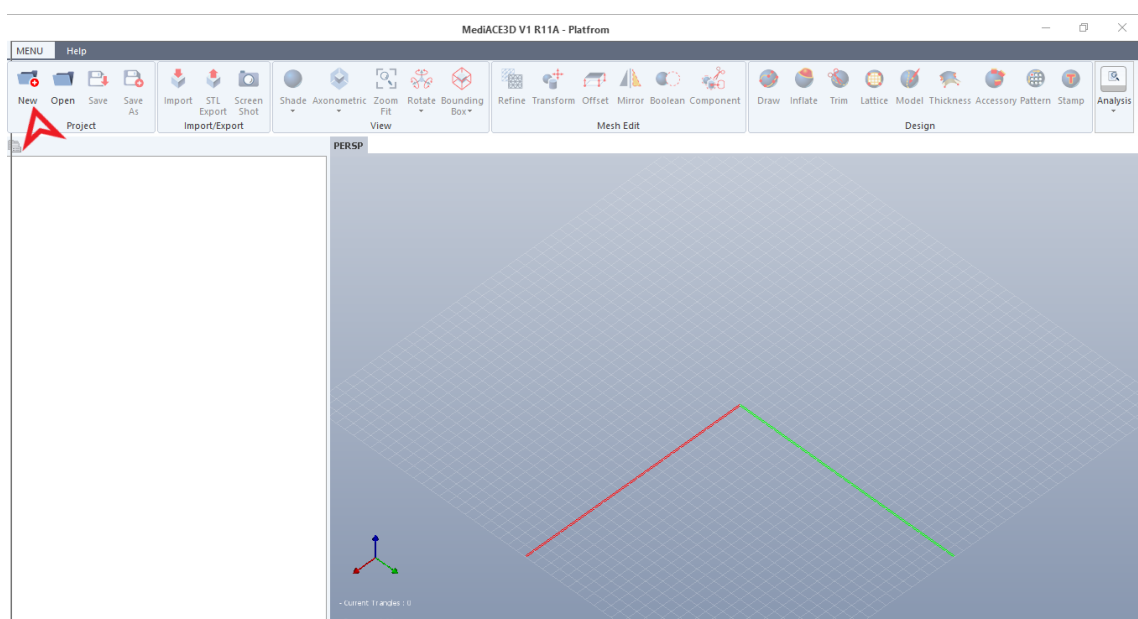


Fig.4. Entorno de software Mediace 3D. Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se abre una ventana donde se elige el tipo de extremidad para la cual se diseñará la órtesis. En este caso, se selecciona la opción correspondiente a los brazos. También se proporciona un nombre para la órtesis y se importa el archivo STL generado a partir del escáner 3D. Luego, se hace clic en "Create" para iniciar el proceso de diseño de la órtesis, tal como se ilustra en la Fig.5.

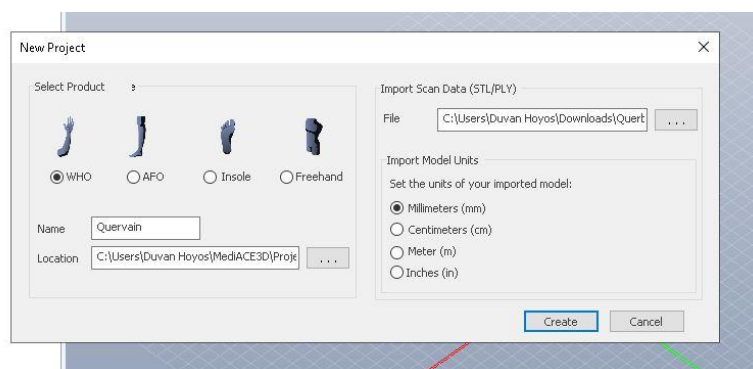


Fig.5 Selección de extremidad e importación de stl en Mediace 3D. Fuente: Elaboración propia.

Después de haber dado clic en el apartado de Create aparecerá en el área de diseño de Mediace 3D el brazo en tamaño real con todas sus características obtenidas por el escáner anteriormente como se muestra en la Fig.6

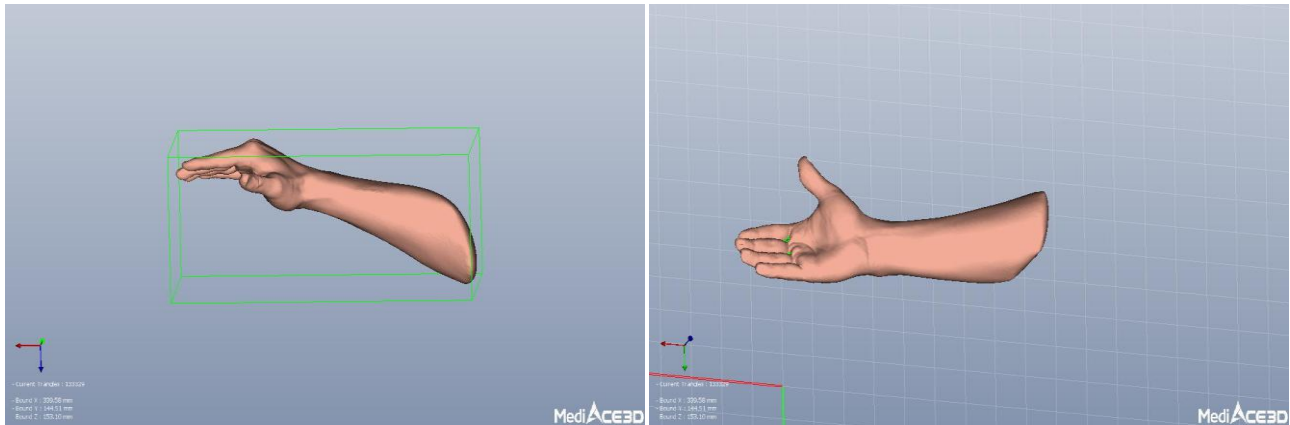


Fig.6 Miembro superior obtenido por el escáner 3D en el entorno de Mediace 3D. Fuente: Elaboración propia.

Una vez importado el brazo en el área de trabajo se procedió a dar clic en el botón WHO Design del software y luego en la herramienta Hand Skeleton tal y como se muestra en la Fig.7.

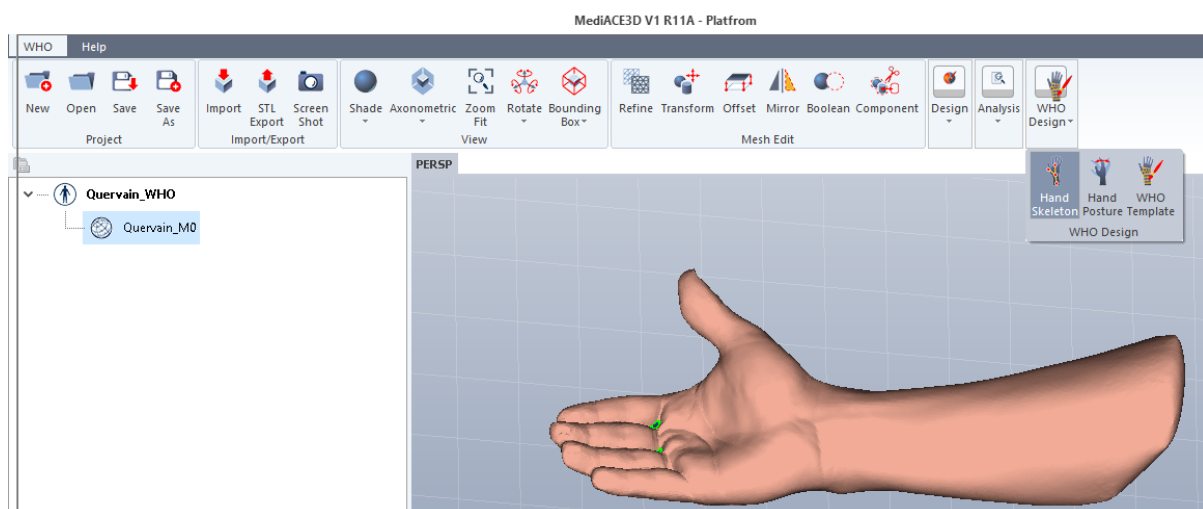


Fig. 7 Herramienta Hand Skeleton para dar inicio a la elaboración del diseño de la órtesis. Fuente: Elaboración propia.

Luego de haber realizado esta acción se generó otra ventana en la cual se escogió a cuál de los dos brazos se le va a diseñar la órtesis (derecho o izquierdo), para este caso se dio clic en Right ya que el brazo al que se le va a diseñar la órtesis es el derecho, seguido de esto se dio clic en Set y procedemos a darle 8 parámetros o puntos de referencia que requiere el software (A. Punto dorsal semilunar, B. 3er centro dorsal de la articulación metacarpofalángica, C. centro escafoides medial, D. centro lunar lateral, epicóndilo lateral bajo, E. epicóndilo medio bajo, F. primer centro de la articulación metacarpofalángica, G. primer centro de articulación interfalángica) con los cuales el software se guía y detecta el miembro al que se le va a diseñar la órtesis para así habilitar las herramientas necesarias para desarrollar el diseño a realizar como se muestra en la Fig.8.

Seguido se dio clic en Save para guardar los puntos requeridos, se esperó un momento a que se procesara y se dio clic en el botón de Align model y así guardó dichos puntos.

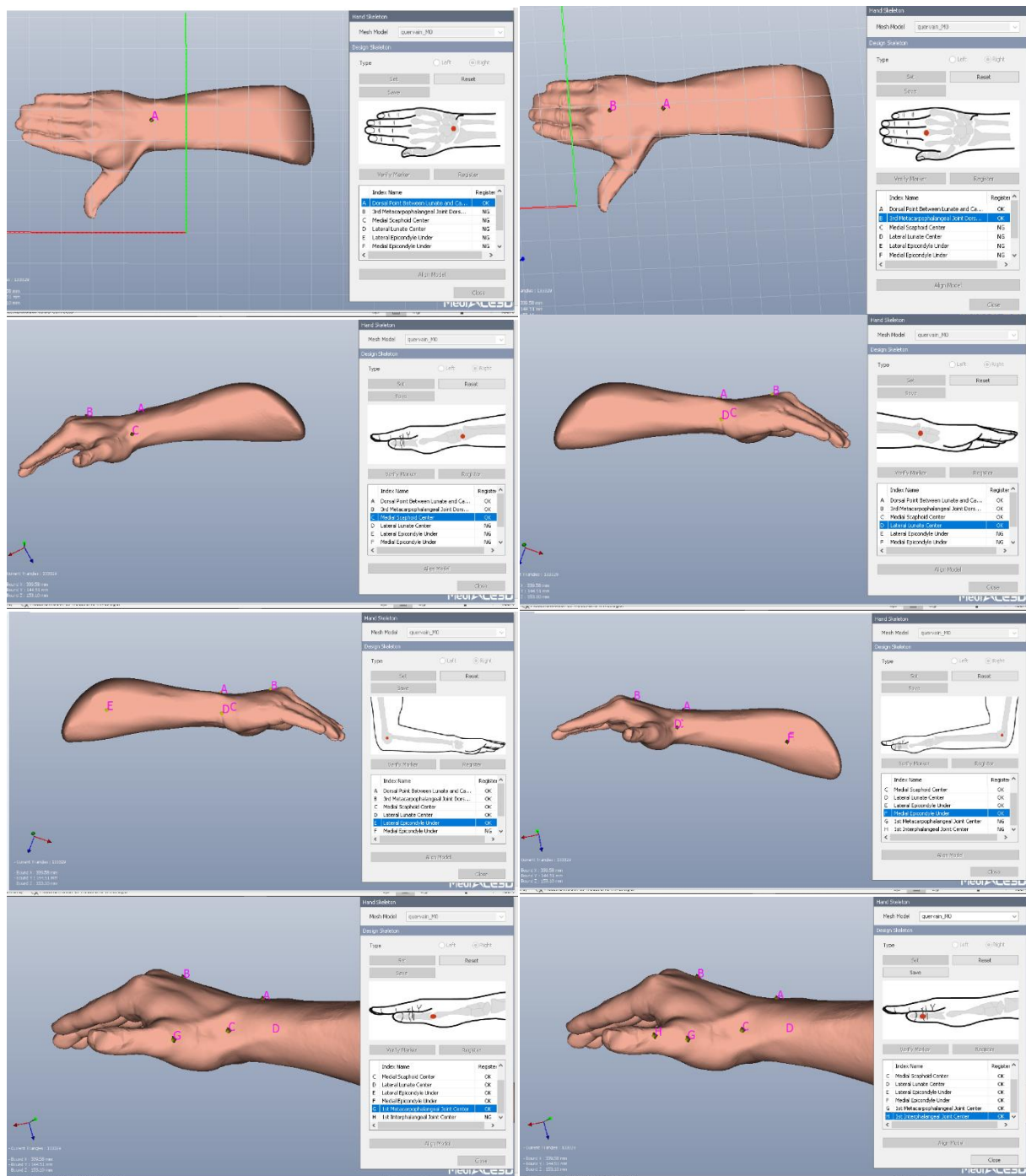


Fig.8 Puntos de referencia requeridos por el software. Fuente: Elaboración propia.

Dado el caso que el especialista requiera cambiar la rotación de la articulación de la muñeca para llevarla a otra posición, se dirige nuevamente al botón de Who Design y se da clic en Hand posture en donde se puede variar 2 ángulos de la mano en el eje transversal (extensión o flexión de la mano) y en el eje sagital (desviación ulnar o desviación radial de la mano) como se puede apreciar en la Fig.9, seguidamente se da clic en Run para guardar la nueva posición y Close para salir del apartado.

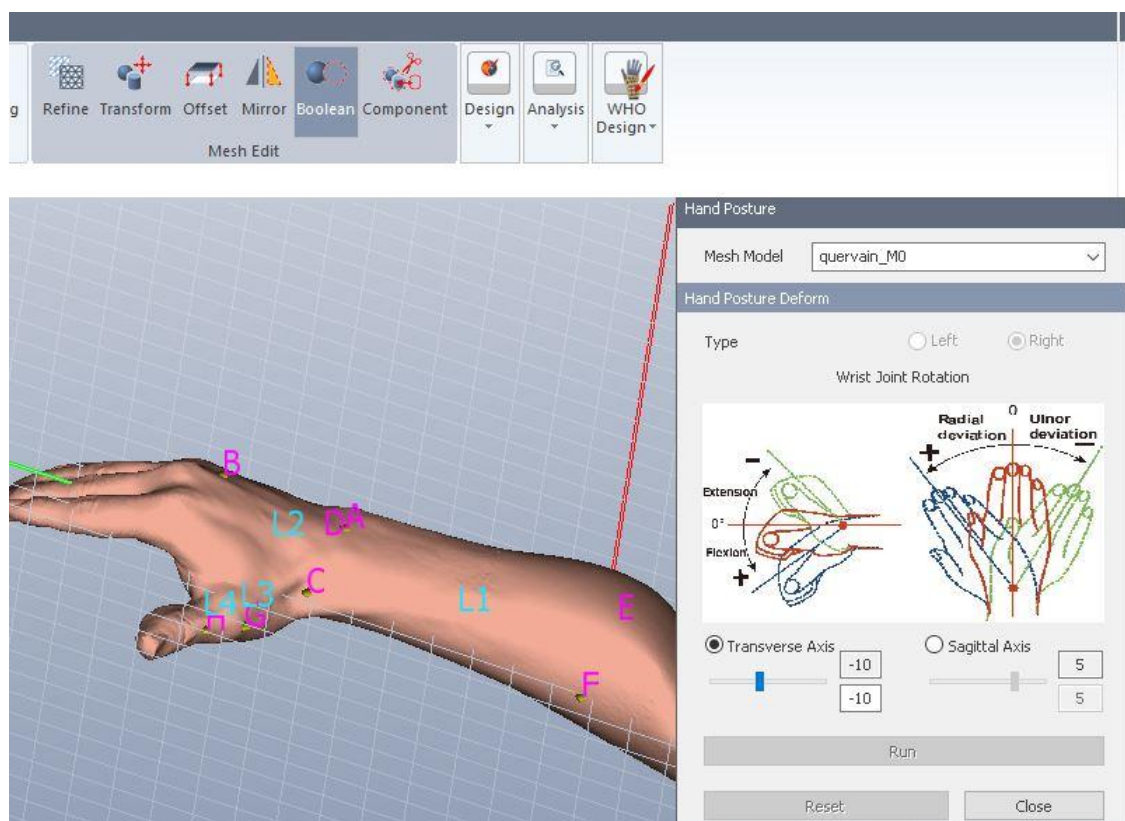


Fig.9 Rotación de la articulación de la muñeca en el eje transversal o en el eje sagital. Fuente: Elaboración propia.

Una vez realizado este paso, se prosiguió a dar clic nuevamente en el apartado Design y luego en Draw para comenzar a dibujar el tipo de diseño que se va a adaptar al paciente, como se puede observar en la Fig.10.

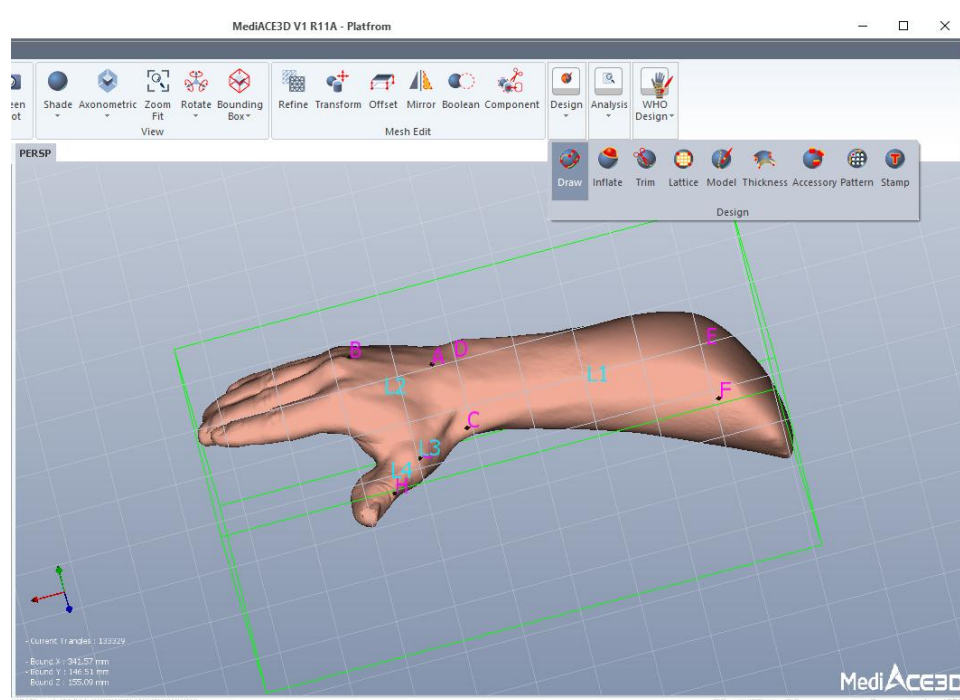


Fig.10 Apartado para comenzar a diseñar la órtesis. Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se procedió a diseñar la férula según el tipo de lesión que se iba a tratar, en este caso se diseñó una órtesis para el síndrome de Quervain teniendo en cuenta los diferentes requisitos y características haciendo uso de la herramienta Design y luego Draw como se puede observar en la Fig.11.

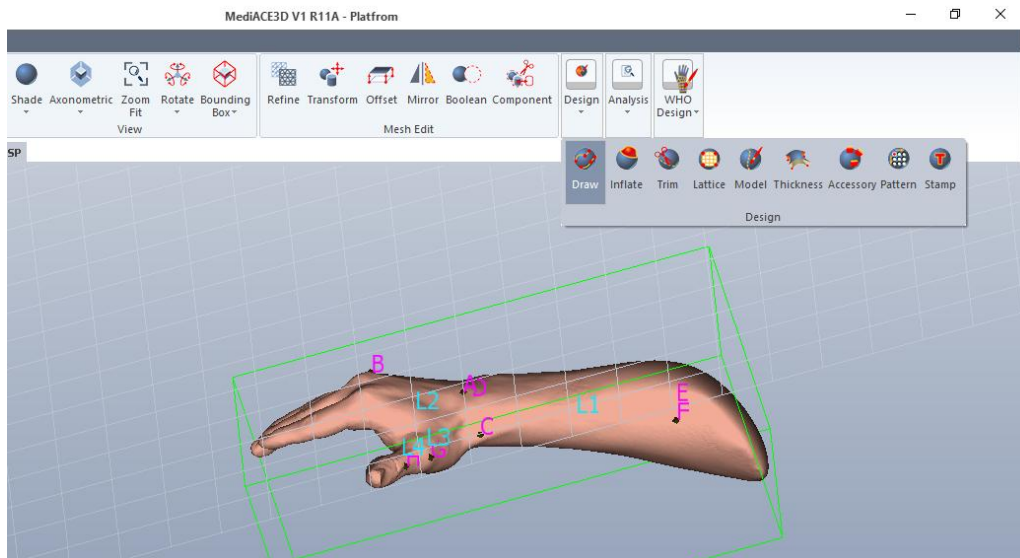


Fig.11 Herramienta para comenzar a crear el diseño de la férula. Fuente: Elaboración propia.

Una vez se dibujó el contorno del diseño de la férula teniendo en cuenta los parámetros dados por el especialista se generó una plantilla delineada de color azul como se ilustra en la Fig.12.

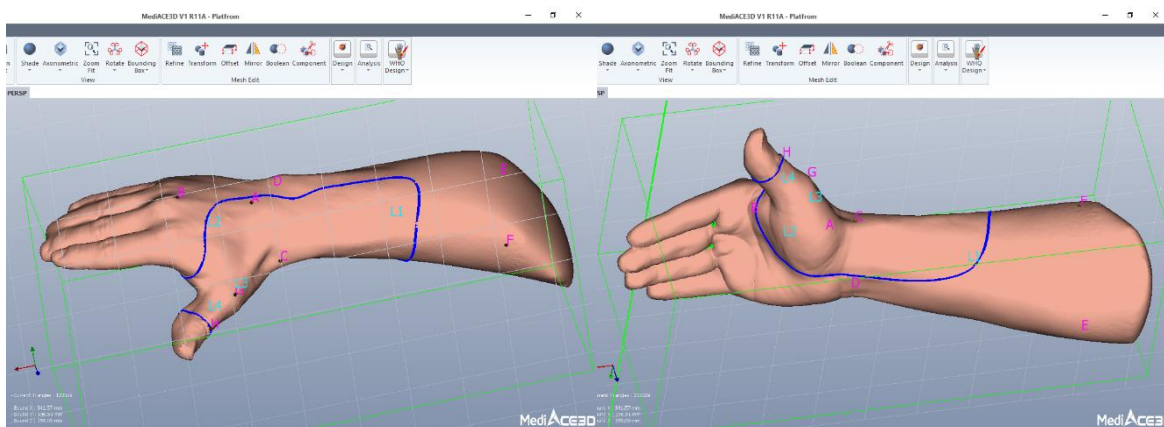


Fig.12 Diseño del contorno de la órtesis para el síndrome de Quervain. Fuente: Elaboración propia.

Ya realizado el anterior paso se procedió a usar la herramienta Design y luego Model y se seleccionó el contorno de la órtesis para darle el espesor que para este caso será de 4 mm y además se le dio una tolerancia de 2 a 3 mm entre la férula y el brazo para evitar lesiones en caso de hinchazón y evitar una órtesis demasiado ajustada, se dio en el apartado Run para que se ejecutara la orden dada como se observa en la Fig.13.

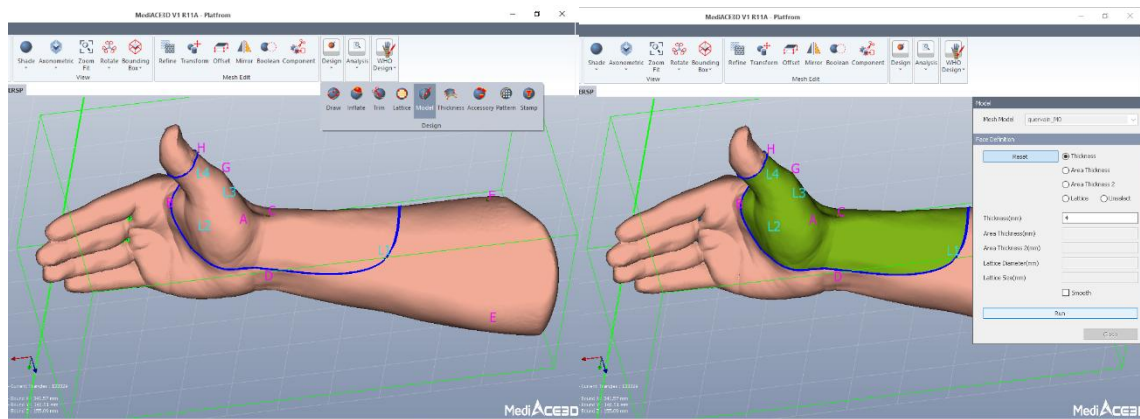


Fig. 13 Extrusión de 4mm para el diseño de la férula. Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta el desarrollo metodológico, se incorporó encima de la férula uno de los patrones de orificios con los que cuenta el software, este diseño de patrones tiene como objetivo mejorar la ventilación del miembro afectado reduciendo posibles irritaciones, alergias o sudoración excesiva, además este enfoque contribuirá a que la órtesis sea mucho más liviana para el paciente como se puede apreciar en la Fig.14.

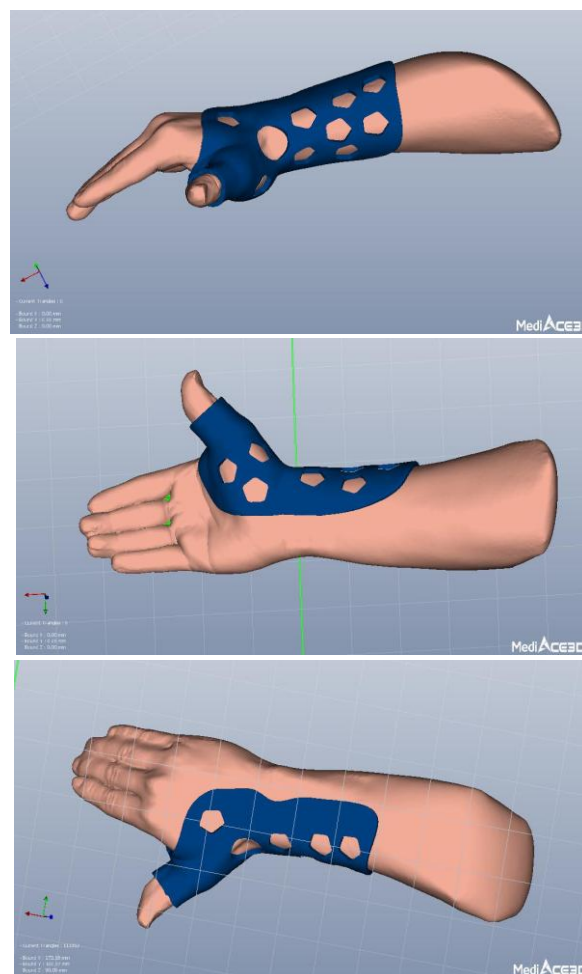


Fig. 14 Diferentes vistas de la férula diseñada para el síndrome de Quervain con su respectivo patrón de orificios para mejorar la ventilación. Fuente: Elaboración propia.

Se procedió a asignarle uno de los accesorios del software a la órtesis, el cual se usará para la sujeción de dicha órtesis al miembro afectado del paciente haciendo uso de correas o velcro usando la herramienta Design y Accessory, se seleccionó el tipo de accesorio que mayor sujeción tenga y se agregó al diseño como se observa en la Fig. 15

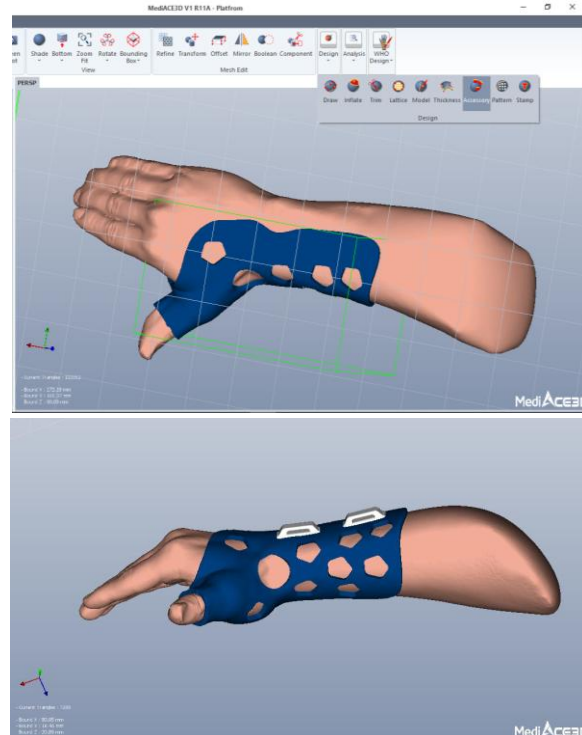


Fig.15 Ubicación de accesorios (pieza color blanco) para la fijación de la férula a la mano del paciente. Fuente: Elaboración propia.

Una vez aplicado el espesor y la tolerancia al diseño de la férula se procedió a darle un patrón de perforaciones con el que cuenta el software para otorgarle una mejor ventilación y confort al paciente que vaya a utilizar dicha férula y así evitar posibles efectos negativos en la recuperación de la lesión a tratar como se puede apreciar en la Fig.16.

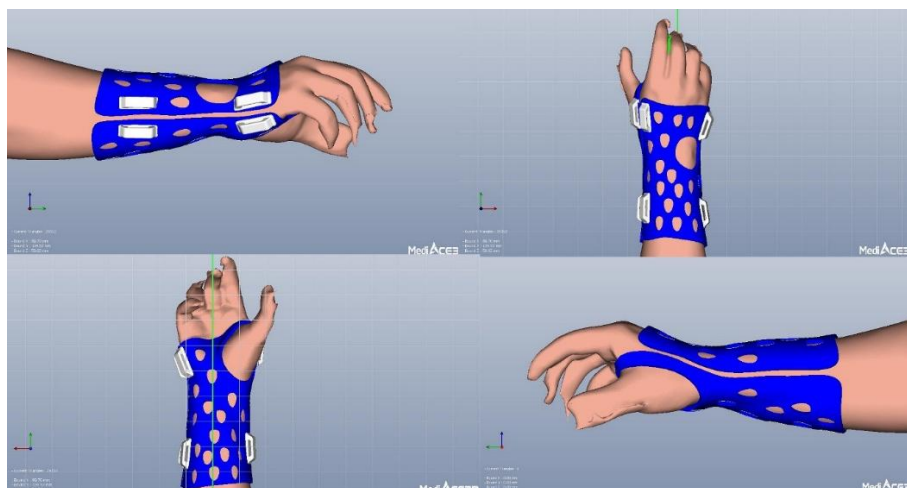


Fig.16 Vistas del diseño de la férula con sus respectivos accesorios de sujeción. Fuente: Elaboración propia.

Una vez completado el diseño, el último paso consistió en exportarlo a extensión STL, que es el formato utilizado por los diversos programas de laminado para la impresión 3D. Una vez obtenido el archivo STL, se procedió a utilizar el software de laminado ULTIMAKER CURA, que fue el programa utilizado en este caso para configurar y dar instrucciones a la impresora 3D, como se ilustra en la Fig.17

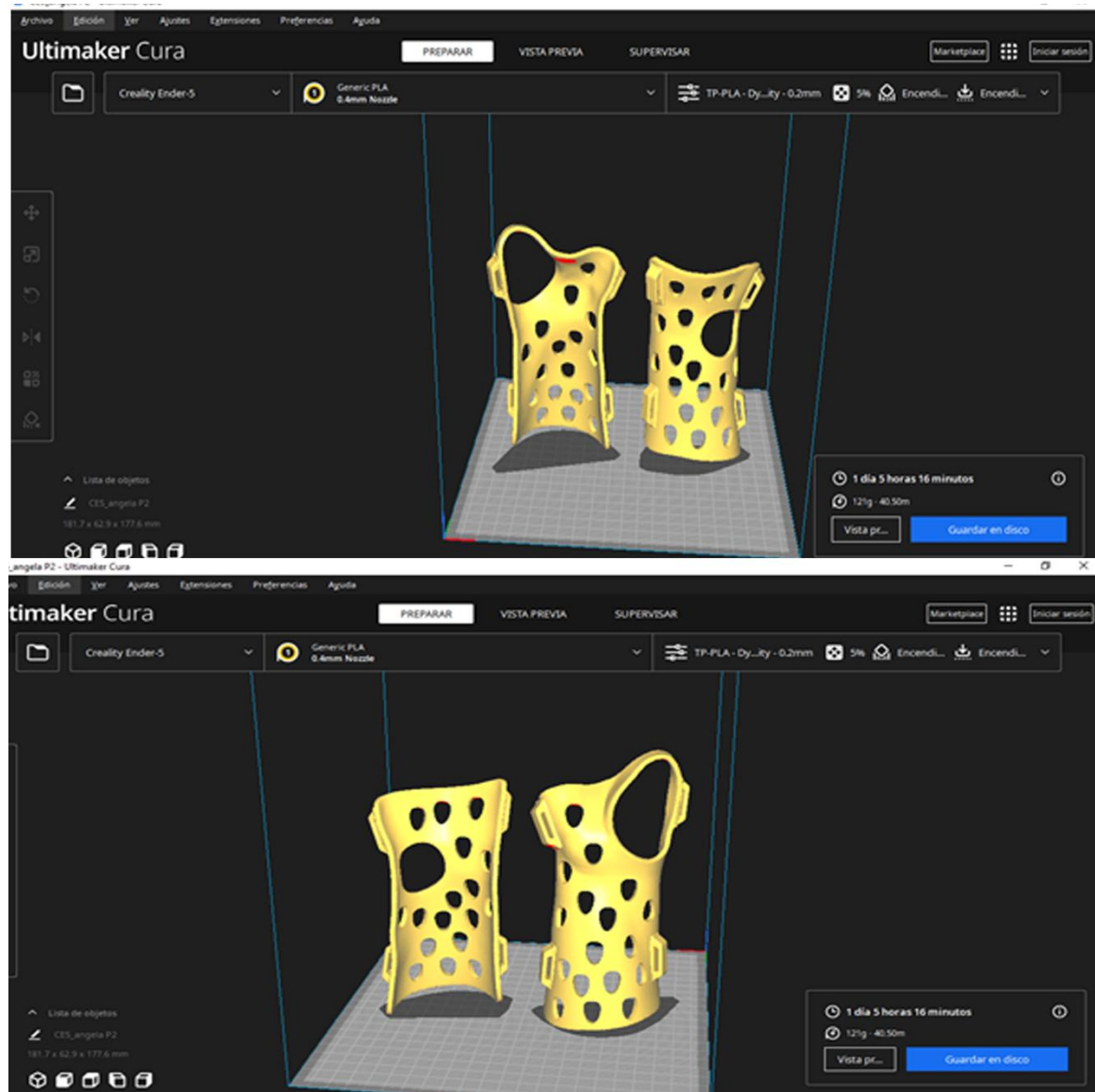


Fig.17 STL de Férula para fractura de Colles en programa laminador Ultimaker Cura. Fuente: Elaboración propia.

Después de segmentar el diseño para su impresión, se obtienen datos cruciales, como el tiempo estimado de impresión, la cantidad de material necesario y además una vista previa de la pieza y los soportes requeridos para garantizar una correcta impresión como se ilustra en la Fig.68.

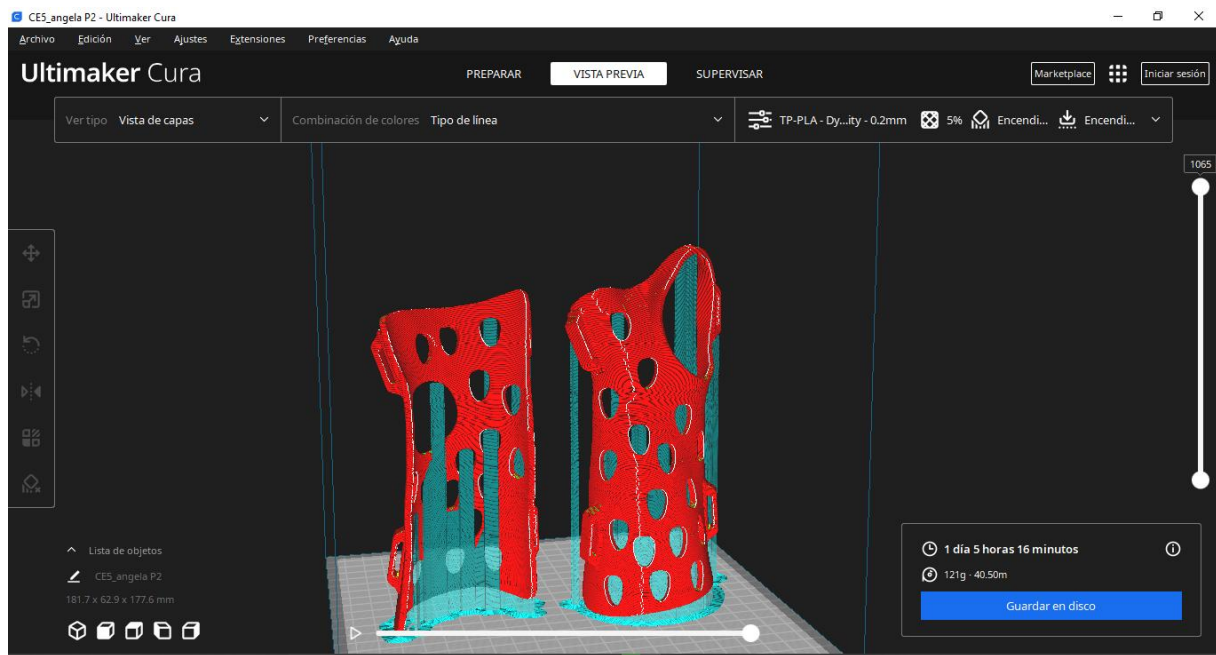


Fig.18 Vista previa de cómo quedará la impresión en un entorno real. Fuente: Elaboración propia.

Finalmente se evidencia el resultado de la órtesis fabricada para tratar la tenosinovitis de Quervain (Fig. 19)) y la férula usada para el tratamiento de la fractura de colles (Fig.20), las cuales fueron impresas en filamento PLA con las configuraciones antes mencionadas para lograr piezas completamente funcionales y de buena calidad.



Fig.19 Órtesis impresa para el tratamiento de Tenosinovitis de Quervain. Fuente: Elaboración propia.



Fig.20 Férula impresa para el tratamiento de la Fractura de Colles. Fuente: Elaboración propia.

4. Conclusiones

Mediante la implementación de tecnologías como el escaneo 3D, la impresión 3D y el uso de software de diseño especializado, fue posible crear la férula y la órtesis que no solo cumplen con el objetivo de inmovilizar adecuadamente la zona afectada, sino que también brindan comodidad, permiten la transpiración de la piel y son ajustables según las necesidades individuales. Además, estas férulas son más ligeras, resistentes al agua y más estéticas en comparación con las opciones tradicionales.

La aplicación de la ingeniería en el campo médico ha demostrado ser un enfoque prometedor para mejorar la calidad de vida de los pacientes, acelerar la recuperación y reducir los tiempos de inmovilización. Además, esta colaboración multidisciplinaria abre la puerta a futuras investigaciones y desarrollos en áreas similares, donde la convergencia de la medicina y la ingeniería puede seguir brindando soluciones innovadoras y transformadoras para el beneficio de la sociedad.

La férula y órtesis desarrolladas no solo destacan por su funcionalidad, sino también desde una perspectiva humanitaria, ya que su fácil desarrollo y bajo costo las convierten en una solución altamente beneficiosa para países en vías de desarrollo y para sectores de la población que se encuentran en situaciones económicas desfavorecidas.

Fondos: Esta investigación recibió financiación en especie de la Fundación para el Progreso Rural - CAUCARUAL

Agradecimientos: Al Tecnoparque SENA Nodo Popayán por colaborar en la siguiente etapa 2023

Conflictos de interés: Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Referencias

- [1]. Ocello, Mónica, y Verónica Lovotti. Órtesis y prótesis. 1a ed.- Santa Fe: Ediciones UNL, 2015, 2020. bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8443, <https://bibliotecavirtual.unl.edu.ar/handle/11185/5534>.
- [2]. Ayala Villela, Laura Esmeralda. «Caracterización de pacientes con trauma de mano». Revista Ciencia Multidisciplinaria CUNORI, vol. 1, n.o 1, noviembre de 2017, pp. 27-32, <https://doi.org/10.36314/cunori.v1i1.7>.
- [3]. Molina Gómez, Camilo Alexander. Diseño, estudio y fabricación con impresión 3D de férulas personalizadas para el tratamiento de fracturas de miembro superior. 2021. bibliotecadigital.udea.edu.co, <http://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/21930>.
- [4]. Aboul-Hosn Centenero, S. C. (2010). Planificación 3d y tecnología CAD/CAM aplicada a la cirugía ortognática. Confección de férulas quirúrgicas y predicción de resultados postoperatorios (Doctoral dissertation, Universitat Internacional de Catalunya).
- [5]. Suarez, O. D., León, J. H., Castro, D. A., & Velásquez, A. M. P. (2019). DISEÑO DE UN SISTEMA DE PERFILACIÓN DE FÉRULAS MEDIANTE EL ESCANEEO 3D DE MUÑECA, BRAZO Y TOBILLO PARA FINES DE IMPRESIÓN 3D. Infometric@-Serie Ingeniería, Básicas y Agrícolas, 2(1).
- [6]. Inicio - Asociación Colombiana de Osteoporosis. (2019, junio 10). Asociación Colombiana de Osteoporosis. <https://asociacioncolombianadeosteoporosis.com/>
- [7]. «T sobre las férulas impresas en 3D». Bitfab, 28 de octubre de 2020, <https://bitfab.io/es/blog/ferulas-impresas-en-3d/odo>
- [8]. Ramirez, D. R., Moreno, C. E. R., Bayona, M. Á. N., Torres, S. L. T. L., & Rueda, M. Á. G. (2020). La mano. Aspectos anatómicos I. Generalidades, osteología y artrología. Morfolia, 12(1), 11-30.
- [9]. Kapandji A.I.(2012).Fisiología articular. España: Ed. Médica Panamericana, Tomo I, 6ª. ed., pág. 146-151
- [10]. Elaine, M. (2008). Anatomía y fisiología humana. PEARSON. Madrid, España.
- [11]. Arce, G. C. (2005). Ortesis de miembros superiores. Clasificación, Funciones, Prototipos, Características, Indicaciones [Internet]. Lima, Perú: Medicina de Rehabilitación.
- [12]. White, T. O., Mackenzie, S. P., & Gray, A. (2017). McRae. Traumatología. Tratamiento de las fracturas en urgencias. Elsevier Health Sciences.
- [13]. Copo-Torres, M., Echeverría-Tamayo, F., Santamaría-Bedón, S., & Amancha-Proano, P. I. (2021). Instrumento terapéutico para tratamiento de la tenosinovitis De Quervain. Revista UIS Ingenierías, 20(4), 1-12.
- [14]. Gomar Sancho, Vicente C. Guía de Patologías y sus indicaciones ortésicas. 2014, https://www.international.prim.es/images/products_pdf/patologias_catalogo_es.pdf.