

DISEÑO DE UN SISTEMA DE PERFILACIÓN DE FÉRULAS MEDIANTE EL ESCANEO 3D DE MUÑECA, BRAZO Y TOBILLO PARA FINES DE IMPRESIÓN 3D

Design Of A Pellets Profiling System By 3d Screening Of Wrist, Arm And Ankle For 3d Printing Purposes

Oscar Duque Suarez¹

Javier Hernández León²

Daniel Alvarado Castro³

Andrés Mauricio Puentes Velásquez⁴

Resumen

Actualmente, la impresión 3D tiene un papel importante en la medicina, porque brinda una posibilidad que no ofrece ninguna otra tecnología, como la elaboración de un producto para fines médicos. El presente trabajo consiste en el diseño de un sistema de perfilación de férulas mediante el escaneo 3D para fines de impresión 3D, se basa en el escaneo 3D para el reconocimiento de la extremidad del paciente para así hacer una proyección y adecuar la férula a dicha parte del cuerpo, para ayudar con el tratamiento; este es visualizado por medio de una interfaz gráfica donde se apreciara dicha férula implantada en la parte del cuerpo fracturada, se hizo un estudio adecuado de cuál era el material más adecuado y la forma de impresión 3D de la férula, de forma que esta sea robusta y cómoda para el periodo de tiempo que el paciente la va a tener en uso .

Palabras clave: Férula, Escaneo 3D, Impresión 3D, Termoplásticos.

Abstract

Currently, 3D printing has an important role in medicine, because it offers a possibility that does not offer any other technology, such as the development of a product for medical purposes. The present work consists of the design of a splint profiling system by means of 3D scanning for 3D printing purposes, it is based on 3D scanning for the recognition of the patient's extremity to make a projection and adapt the splint to said part. of the body, to help with the treatment; this is visualized by means of a graphical interface where said splint implanted in the fractured body part could be appreciated, an adequate study was made of which was the most suitable

¹ Universidad de Pamplona, Facultad de ingenierías y arquitectura, Programa de ingeniería mecatrónica. Km 1 Vía Bucaramanga Ciudad Universitaria, Pamplona, Norte de Santander, Colombia. E-mail: omduke@hotmail.com

² Universidad de Pamplona, Facultad de ingenierías y arquitectura, Programa de ingeniería mecatrónica. Km 1 Vía Bucaramanga Ciudad Universitaria, Pamplona, Norte de Santander, Colombia. E-mail: javierleon598@gmail.com

³ Universidad de Pamplona, Facultad de ingenierías y arquitectura, Programa de ingeniería mecatrónica. Km 1 Vía Bucaramanga Ciudad Universitaria, Pamplona, Norte de Santander, Colombia. E-mail: dmauro17@hotmail.com.

⁴ Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, Regional Norte de Santander, Centro de formación para el desarrollo rural y minero, Grupo de investigación CEDRUM-NDS. Cúcuta, Norte de Santander, Colombia. E-mail: apuentesv@sena.edu.co

material and the 3D printing form of the splint, so that it is robust and comfortable for the period that the patient will have it in use.

Keywords: Splint, 3D scanning, 3D printing, thermoplastics.

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente grandes avances tecnológicos abren puertas a la introducción de nuevas tecnologías como la impresión tridimensional en el área de la medicina (Fontrodona-Francolí & Blanco-Díaz, 2014). La impresión 3D es un método de fabricación digital y fabricación aditiva de objetos mediante una gran diversidad de materiales, como: cerámica, metal, plásticos, entre otros (León-Medina & Torres-Barahona, 2016; Bejarano & Barrera, 2018). Varía de las impresoras tradicionales en que el producto final es un objeto en tres dimensiones, como su nombre lo indica.

En los últimos años, los principales usos de la impresión 3D en el campo de la medicina son fabricación digital de modelos anatómicos, con el fin de conseguir ayuda en cirugía como simulación de la intervención quirúrgica, mejorar la enseñanza a los alumnos reduciendo los costos por la escasa disponibilidad y enfermedad específica en cadáveres, creación de órganos, prótesis y férulas a medida a cada paciente (Santafé et al., 2013; Pinto-Salamanca et al., 2015; Niño-Vega et al., 2016).

En el presente trabajo se aplicó la tecnología de fabricación digital de Férulas mediante un sistema de perfilación con escaneo 3D, para extremidades como muñeca, brazo y tobillo. Estas férulas tienen como objetivo solucionar los problemas que muestra la escayola tradicional, como: hinchazón, ardor, picor, mal olor, entumecimiento, irritación de la piel, aparición de alergias, entre otros (AMF, 2009). 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 la escayola de yeso tradicional (Tangarife-Chalarca, 2013; Aboul-Hosn Centenero, 2014).

Las ventajas que proporciona la férula de fabricación digital y tridimensional, se deben: al material con el que pueden ser elaboradas, 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 (DelCastillo, 2016). Esta última es la principal ventaja que presentan dichas férulas ya que permite tener 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.

Las libertades de las que goza esta tecnología, unidas a la democratización y acceso universal que se está produciendo tanto con los programas de modelado como con la impresión 3D, indican que la fabricación aditiva supondrá un antes y un después para el mundo de la

fabricación (Patiño-Cuervo & Caro, 2017; Cubillos-Lobo et al., 2016). Literalmente, estamos hablando de acercar y exponer el mundo del diseño y la fabricación a un amplio espectro de público, significando así que millones de personas que anteriormente nunca habrían pensado en experimentar con la creación de algún objeto ahora tienen la posibilidad de probar, experimentar y por tanto aportar alguna innovación (Zuluaga-Duque, 2017; Núñez-Pérez, 2015).

2. METODOLOGÍA

2.1. Criterios de diseño para la perfilación de férulas y generación de formato para impresión y escaneo 3D.

Para la selección de los criterios del software a utilizar se basó en la norma ISO/IEC 25000 de 2005, ya que esta norma abordaba el proceso de evaluación de productos software para la elección del software apropiado para el trabajo (Mercado-Ramos et al., 2015). También se evalúa el software de acuerdo con el Modelo de calidad, para la calidad del software en uso, de acuerdo a la norma ya mencionada. El software elegido fue Matlab (abreviatura de MATrix LABoratory) de propiedad de la compañía The Mathworks que permite realizar cálculos numéricos con vectores y matrices (Vera-Dávila et al., 2018). Incluye una gran potencia a la hora de representar gráficos en 2 y 3 dimensiones. Una característica muy importante es que incorpora un lenguaje de programación propio que resulta muy simple comparándolo con otros lenguajes. Incluye múltiples librerías de diversos temas, entre las que se encuentran “Financial” y “Financial Derivatives”, que fueron el enfoque principal de nuestro análisis (Rodríguez et al., 2013; Torres et al., 2013).

2.1.1. Selección del escáner 3D.

Después de diversas investigaciones con fabricantes y distribuidores, se seleccionaron los dispositivos de percepción que podrían ser usados para el desarrollo del proyecto de acuerdo con los criterios ya establecidos. Analizando las características de cada dispositivo de percepción seleccionado para la elección de este mismo; se realizó la calificación desde 0 hasta 10.0 basado en la proximidad a la característica requerida en los criterios de diseño siendo 0 la calificación más baja y 10 la más alta. Los dispositivos evaluados fueron Scan XYZprinting, BQ Ciclop, Kinect v2, Sense 3D scanner, Kinect v1, Makerbot Digitizer Artec Eva, HandySCAN 300; siendo seleccionado por su relación costo beneficio el Kinect v1.

2.1.2. Selección del software para escaneo 3D

El seleccionado fue el software de escaneo 3D Skanect, que permite crear modelos de objetos reales, personas o habitaciones utilizando diferentes dispositivos como: Microsoft Kinect, Asus Xtion y PrimeSense Carmine.Structure Sensor. Este software genera el formato para impresión 3D una vez reconstruido el modelo, archivos como OBJ, PLY, STL y VRML; el formato

seleccionado fue el STL, teniendo como ventaja que es el preestablecido para todas las impresoras 3D.

Luego, se diseñó el sistema de percepción de muñeca, brazo y tobillo para obtener el escaneo 3D de la extremidad (Cock, 2000). Un factor importante en el diseño fueron las dimensiones, para tener conocimiento del área de trabajo necesaria para el sistema de percepción y así obtener el escaneo 3D de la extremidad. Se tuvo en cuenta el campo de visión del escáner seleccionado; asimismo se realizaron unas pruebas para conocer el área de trabajo necesario para obtener un buen escaneo (Ortiz-Coder & del Pino-Espinoza, 2013). Estas pruebas se realizaron a varias distancias de la extremidad para comprobar el campo de visión necesario en cuanto al escaneo. La pantalla de profundidad del programa varía entre ciertos colores ya que estos definirán si la extremidad está dentro del volumen de escaneo o no (Bonilla-González & Prieto-Ortiz, 2016).

Tabla 1: Colores de la profundidad del escaneo

COLOR	CARACTERÍSTICA
Rojo	Muy cerca al volumen de escaneo, no viable para obtener un buen escaneo.
Naranja	Cerca al volumen de escaneo, no garantiza un buen escaneo.
Amarillo	Viable para el volumen de escaneo
Verde	Recomendable para la toma de un buen escaneo
Azul	Lejos al volumen de escaneo, no garantiza un buen escaneo
Negro	Muy lejos en este color el objeto no se encuentra en el volumen de escaneo impidiendo la toma de datos.

Las pruebas fueron tomadas a distancias de 30, 50, 70, 85 y 100 cm, para observar como este se visualizaba y lograba entrar y desaparecer del rango funcional del software, como se logra observar en las siguientes fotografías.



Fig. 1 Escaneado a 30 cm de la extremidad



Fig. 2 Escaneado a 50 cm de la extremidad



Fig. 3 Escaneado a 70 cm de la extremidad

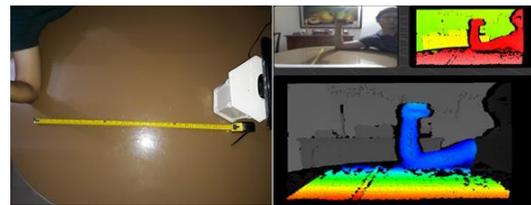


Fig. 4 Escaneado a 85 cm de la extremidad

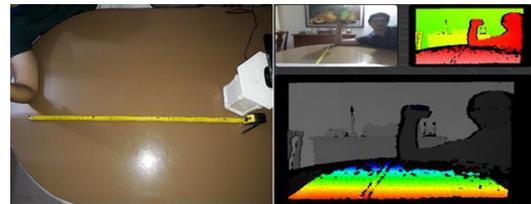


Fig. 5 Escaneado a 100 cm de la extremidad

Se determinó que la distancia más recomendable para obtener un buen escaneo es de 70 cm entre el escáner y la extremidad, basados en los colores de profundidad del software Skanect. Por ello se decidió trabajar en un campo de visión entre 60-80 cm.

Otro factor importante para un buen escaneo fue la trayectoria ya que, tras las pruebas, se determinó que también se requieren múltiples vistas de la extremidad y de diversos ángulos. A continuación, se muestra una de las diferentes trayectorias para el escaneo de la extremidad.

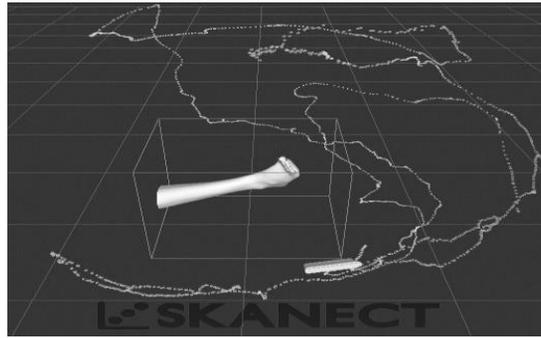


Fig. 6 Trayectorias para el escaneo 3D

El escaneo se realizó de dos maneras: la primera fue con un mecanismo con una trayectoria uniforme y la segunda fue manualmente, indicando una trayectoria no determinística, como en la figura anterior. De las dos formas la más indicada fue la segunda forma ya que al escanear la extremidad se necesitan varias perspectivas para tener una buena representación de esta, mientras que con la forma del mecanismo no era una buena representación.

2.2 Diseño de la plataforma de perfilación de férulas y generación de formato para Impresión y escaneo 3D

Para el desarrollo de este objetivo se tuvo en cuenta aspectos fundamentales como:

- Diseño del código fuente.
- Diseño de la interfaz gráfica.
- Diseño del reporte médico.

Esta metodología permitió el desarrollo íntegro de la plataforma de perfilación de férulas, así como la generación de formato de impresión.

2.2.1. Diseño del código fuente

Para esto se determinó un paso a paso del funcionamiento de la plataforma.

1. Cargar el escaneo de la extremidad
2. Recibe y almacena la posición tridimensional de la extremidad
3. Se identifica sobre cual extremidad se va a realizar el proceso (brazo, muñeca, tobillo).
4. Se generan los puntos de corte para la férula
5. Se genera la férula para impresión 3D
6. Se guarda en el formato de impresión 3D
7. Se genera un reporte médico.

2.2.2. Diseño de la interfaz gráfica

De acuerdo con las normas UNE 139802, ISO 13407 de 1999, que hablan de sistemas interactivos centrados en el operador humano, y con las opiniones de diversos expertos, se desarrolló la interfaz gráfica interactiva adecuada para el proyecto. En ella se eligieron aspectos necesarios para que el operador pueda observar el diseño pertinente para el paciente, ver figura 7.

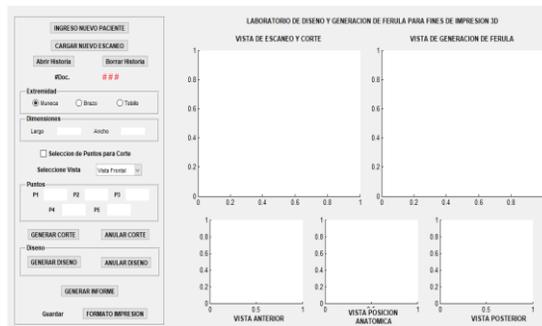


Fig. 7 Interfaz grafica

La interfaz cuenta con botones, casillas, gráficas y campos necesarios para diligenciar la información personal del paciente. Además, tiene una pestaña cuya función es predeterminar sobre qué sentido de la extremidad se va a trabajar, ya sea izquierda o derecha; también se puede configurar el diseño de la férula.

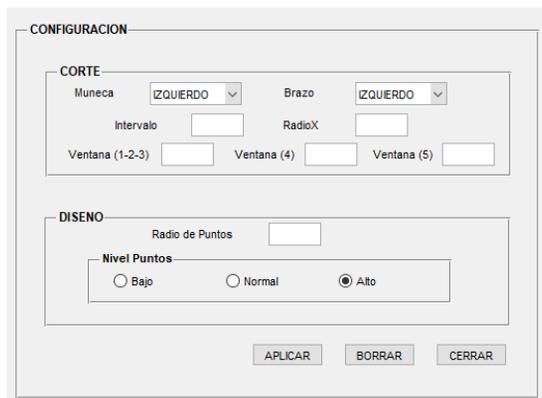


Fig. 8 Configuración de la interfaz gráfica

Al dar clic en el botón de ingreso nuevo paciente, nos desplegará una ventana complementaria la cual se compone del diligenciamiento de datos del paciente usuario de la plataforma.

Fig. 9 Formato de información personal del paciente

2.2.3. Diseño del reporte médico

De acuerdo con la información encontrada sobre los reportes médicos y normas que rigen esta documentación, como la resolución 1995 de 1999 del ministerio de salud, debe contener características básicas como: integralidad, secuencialidad, racionalidad, disponibilidad, oportunidad. Esto es de vital importancia para un evaluador que requiere registrar cronológicamente las condiciones de salud del paciente.

	DISEÑO DE UN SISTEMA DE PERFILACIÓN DE FÉRULAS MEDIANTE EL ESCANEO 3D DE MUÑECA, BRAZO Y TOBILLO PARA FINES DE IMPRESIÓN 3D	
HISTORIA DE PACIENTE		Pág. 1 de 3

I. IDENTIDAD DEL USUARIO

Datos Personales

Nombres	Apellidos
Documento de Identidad:	No.
Eps	Edad
Estado Civil	Fecha de Nacimiento
Telefono	Dirección

II. IDENTIDAD ACOMPAÑANTE

Datos Personales

Nombres	Apellidos
Telefono	Parentesco

III. MOTIVO CONSULTA

IV. OBSERVACIONES

VI. DATOS DISEÑO FÉRULA

Extremidad a Tratar	
Puntos de Corte	
P1	P2
P3	P4
P5	
Dimensiones	
Largo	Ancho
Grosor	

Fig. 10 Reporte médico generada

2.3. Validación de la férula mediante análisis estructural y pertinencia para fines de rehabilitación.

Este análisis se realizó con un ensayo en el laboratorio de la universidad de pamplona, en la sede principal, utilizando la máquina de ensayo universal (Moreno-Anselmi, 2016). El material usado para este análisis fue el ABS (Mariano, 2011).

Estos ensayos se rigen bajo la normatividad ASTM (Asociación Internacional para Pruebas y Materiales); la ASTM International es una organización de normas internacionales que desarrolla normas técnicas para una amplia gama de materiales, productos, sistemas y servicios. Dependiendo de cuál sea el ensayo en este caso se tuvieron en cuenta las siguientes normas:

- Tensión, ASTM D638, Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics.
- Compresión, ASTM D695, Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics.
- Flexión ASTM D790, Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials.

Se diseñaron probetas para estas pruebas y se realizaron mediante impresión en 3D.

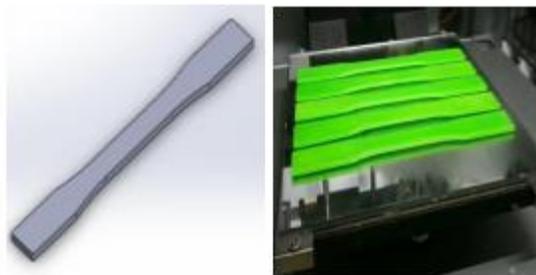


Fig. 11 Probeta para ensayo de tensión

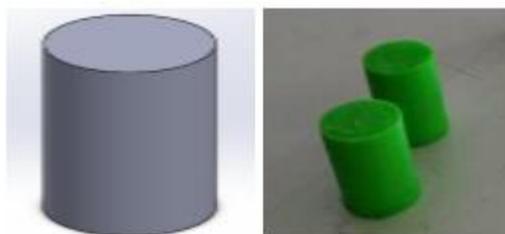


Fig. 12 Probeta para ensayo de compresión



Fig. 13 Probeta para ensayo de flexión

Una vez realizadas las pruebas de acuerdo con la norma, se registraron los siguientes resultados

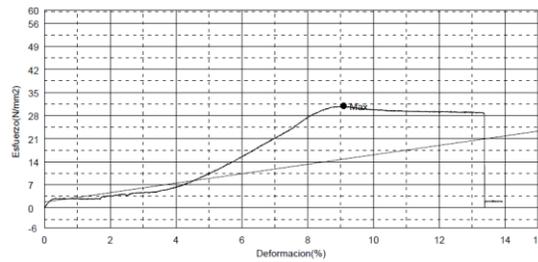


Fig. 14 Curva esfuerzo-deformación del ensayo de tensión

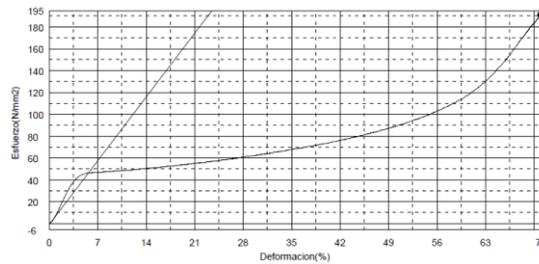


Fig. 15 Curva esfuerzo-deformación del ensayo de compresión

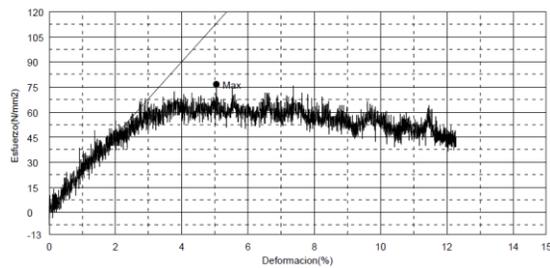


Fig. 16 Curva esfuerzo-deformación del ensayo de flexión

Una vez obtenidos todos los resultados de las pruebas ensayadas, se realizó una comparación entre los datos recopilados con la ficha técnica del material, observando así qué tanta similitud se presenta al momento de hacer la comparación.

Tabla 2 Comparativa de ensayos realizados contra ficha técnica.

Propiedades mecánicas	Ficha técnica de la empresa Ultimaker	Norma	Velocidad	Ensayos realizados			Norma	Velocidad
				1	2	3		
Módulo de elasticidad a la tracción	1681,5 MPa	ISO 527	1 mm/min	38,125 Mpa	143,59 Mpa	101,75 Mpa	AST M D638	3 mm/min
Esfuerzo de tracción a la deformación	39,0 MPa	ISO 527	50 mm/min	29,071 Mpa	30,942 Mpa	32,835 Mpa	AST M D638	3 mm/min
Alargamiento a la deformación	3,50%	ISO 527	50 mm/min	9,86%	9,09%	10,40 %	AST M D638	3 mm/min
Esfuerzo de tracción a la rotura	33,9 MPa	ISO 527	50 mm/min	27,224 Mpa	28,643 Mpa	29,613 Mpa	AST M D638	3 mm/min
Resistencia a la flexión	70,5 MPa	ISO 178	50 mm/min	85,760 Mpa	82,429 Mpa	76,602 Mpa	AST M D790	3 mm/min
Módulo de flexión	2070,0 MPa	ISO 178	50 mm/min	2143,7 Mpa	2439,2 Mpa	2204,1 Mpa	AST M D790	3 mm/min

En este punto se puede observar que los resultados al compararlos con la ficha técnica de un fabricante, son muy similares. Esto a pesar de que las normas aplicadas a los ensayos varían con respecto a las de la ficha técnica, que se rigieron por las normas ISO.

3. RESULTADOS

Para la validación del formato de impresión 3D se imprimieron las férulas, una de cada extremidad, y se probaron en cada uno de los pacientes que se les realizó el procedimiento del escaneo 3D.

Para esto se realizaron los siguientes pasos.

- Al iniciar el proceso se escaneo la extremidad del paciente y se obtuvo la forma tridimensional de la extremidad.
- Al tener la extremidad digitalmente computarizada, se realizará las mediciones pertinentes para hacer la corroboración de datos de 3 escaneos tomados sobre la persona.
- Se realizó una comparación de las medidas reales con las medidas de los escaneos, mediante un análisis estadístico para verificar que los datos no fueran tan dispersos.
- Ya teniendo la verificación mediante análisis estadísticos se realizó la férula de la extremidad en la plataforma.
- Paciente muñeca



Fig. 17 Muñeca escaneada

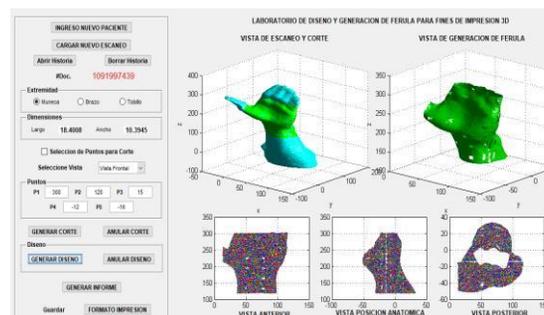


Fig. 18 Férula 3D de muñeca en la interfaz gráfica

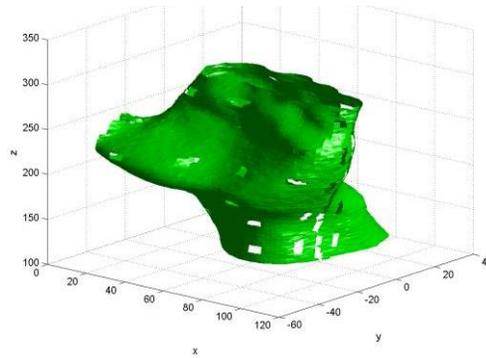


Fig. 19 Férula de muñeca en 3D



Fig. 20 Férula 3D de la muñeca

- Paciente tobillo



Fig. 21 Tobillo escaneado

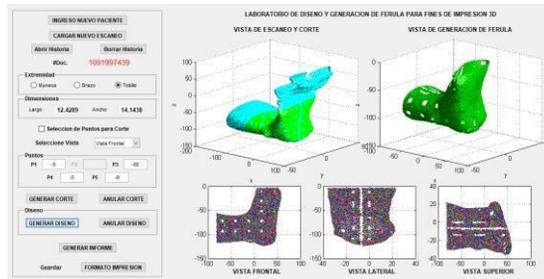


Fig. 22 Férula 3D del tobillo en la interfaz gráfica

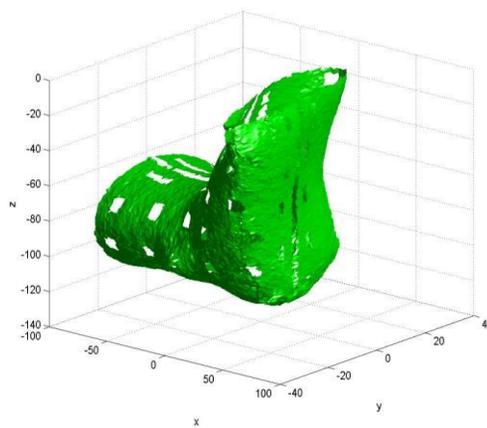


Fig. 23 Férula en 3D Tobillo



Fig. 24 Férula 3D del tobillo

- Paciente brazo



Fig. 25 Brazo escaneado

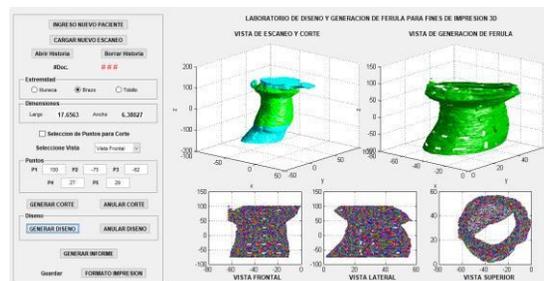


Fig. 26 Férula 3D del brazo en la interfaz gráfica

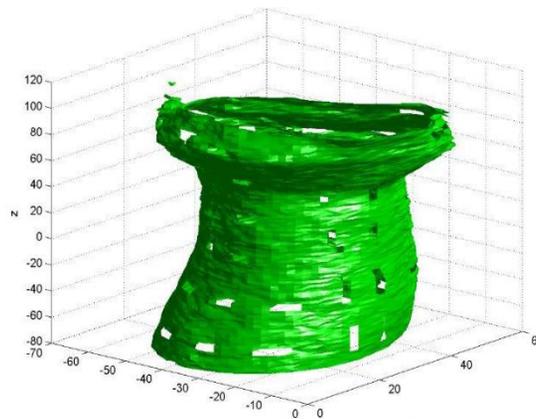


Fig. 27 Férula en 3D Tobillo



Fig. 28 Férula 3D del brazo

4. RECOMENDACIONES

- Realizar un diseño de sistema de percepción de muñeca, brazo y tobillo para obtener el escaneo que abarque las trayectorias no uniformes, como un sistema tipo tomógrafo que trabaja por medio de un sistema computarizado, donde la computadora de la máquina recolecte varias imágenes sucesivas, se unen digitalmente para formar una imagen tridimensional que permita más fácilmente la fabricación digital de las férulas en un menor tiempo.
- Realizar un estudio comparativo en pacientes con lesiones reales de muñeca, brazo y tobillo tratados con escayola de yeso tradicional versus tratados con férulas de fabricación digital evaluando, tiempo de evolución del paciente, recuperación de movilidad, así como también ventajas y desventajas de las dos alternativas de tratamiento.
- Mejorar la estética del producto final, junto con una mejora en el diseño de ventilación, y abarcar otro sistema para tratar las lesiones. P.ej. como se utiliza actualmente en España, a través de una App que envía señales ultrasónicas para mejorar en menor tiempo la sesión.
- Realizar un ensayo de tracción, flexión y compresión de los plásticos de ASTM D638 para determinar las propiedades mecánicas de los plásticos, con un material diferente para comparar los materiales estudiados y ver qué diferencias tienen dichos plásticos.

CONCLUSIONES

- Se determinó que no existe un protocolo establecido para la toma del escaneo de las extremidades muñeca, brazo o tobillo para los fines requeridos en este proyecto con respecto a la forma tradicional. Se encontraron algunos ejemplos de empresas que realizaban la toma del escaneo de forma graduada manualmente conforme a su parecer y la necesidad de cumplir con todas las trayectorias y vistas que este tipo de escaneo requieren.
- En el diseño del sistema de percepción de muñeca, brazo o tobillo para la obtención del escaneo de la extremidad en 3D fue imprescindible reunir las características necesarias para la obtención de un buen escaneo, con el software y escáner previamente seleccionados, tomando como prioridad las necesidades del proyecto en la calidad metrológica del escaneo. En este sentido, se propuso validar mediante la desviación estándar la discrepancia de datos con medidas seleccionadas a través de manuales ortopédicos, entre distintos escaneos de la misma extremidad corroborando estos datos con la extremidad en físico.

REFERENCIAS

Aboul-Hosn Centenero, S. (2014). Planificación tridimensional y utilización de férulas Computer Aided Design/Computed Aided Manufacturing en cirugía ortognática. *Revista Española de Cirugía Oral y Maxilofacial*, 36(3), 108-112. doi: <https://dx.doi.org/10.1016/j.maxilo.2013.02.003>

AMF (2009). Técnicas externas de inmovilización en traumatología, semFYC.

ASTM D638-14, Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014, www.astm.org

ASTM D695-15, Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2015, www.astm.org

ASTM D790-17, Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017, www.astm.org

Bejarano, J., & Barrera, D. (2018). Desarrollo de una prótesis mioeléctrica de miembro superior con amputación transradial por medio del uso de tecnologías 3D. *Infometric@ - Serie Ingeniería, Básicas y Agrícolas*, 1 (1). Recuperado de: <http://cienciometrica.com/infometrica/index.php/syh/article/view/23>

Bonilla-González, J. P. & Prieto-Ortiz, F. A. (2016). Determinación del estado de maduración de frutos de feijoa mediante un sistema de visión por computador utilizando información de color. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 7 (1), 111-126. doi: <https://doi.org/10.19053/20278306.v7.n1.2016.5603>

Cock, J. D. (2000). el método de la Triangulación aplicado en un escáner laser, para objetos tridimensionales. *REVISTA Universidad EAFIT*

Cubillos-Lobo, J. A., Albarracín-Galindo, A., Ortíz-Otálora, C., & Muñoz-Prieto, E. (2016). Síntesis de nanopartículas de óxido de titanio en fase rutilo para el desarrollo de un material compuesto de espuma de poliuretano. *BISTUA Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, 14 (2), 169-181. doi: <https://doi.org/10.24054/01204211.v2.n2.2016.2191>

DelCastillo, J., Casales, N., & Filomeno, P. (2016). Tratamiento de las fracturas no articulares de los metacarpianos excluido el primer dedo. Revisión bibliográfica sistematizada. *Revista Médica del Uruguay*, 32(3), 205-217. Recuperado de: http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1688-03902016000300010&lng=es&tlng=es.

Fontrodona-Francolí, J., & Blanco-Díaz, R. (2014), Estado actual y perspectivas de la impresión en 3D. Barcelona, España: Generalitat de Catalunya.

León-Medina, J. X., & Torres-Barahona, E. A. (2016). Herramienta para el diseño de sistemas de posicionamiento tridimensional usados en fabricación digital. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 6 (2), 155–167. doi: <http://doi.org/10.19053/20278306.4603>

Mariano (2011), *Propiedades Mecánicas, Tecnología de los Plásticos*. Recuperado de: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.co/2011/06/propiedades-mecanicas.html>

Mercado-Ramos, V. H., Zapata, J., & Ceballos, Y. F. (2015). Herramientas y buenas prácticas para el aseguramiento de calidad de software con metodologías ágiles. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 6(1), 73–83. doi: <https://doi.org/10.19053/20278306.3277>

Moreno-Anselmi, L. A., Reyes-Ortiz, Ó. J., & Ruíz-Acero, J. C. (2016). Evaluación del comportamiento mecánico de asfalto natural a partir de muestras a temperatura ambiente provenientes de Caquetá, Colombia. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 6(2), 145–154. doi: <http://doi.org/10.19053/20278306.3115>

Niño-Vega, J. A., Martínez-Díaz, L. Y., & Fernández-Morales, F. H. (2016). Mano robótica como alternativa para la enseñanza de conceptos de programación en Arduino. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, 2 (28), 132-139. doi: <https://doi.org/10.24054/16927257.v28.n28.2016.2476>

Núñez-Pérez, V. (2015). Pedagogía social e interculturalismo: una lectura posible. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 5 (2), 141–149. doi: [10.19053/20278306.3716](https://doi.org/10.19053/20278306.3716)

Ortiz -Coder, P., & del Pino -Espinosa, B. (2013). Digitalización 3D automática con láser escáner, fotogrametría y videogrametría. El caso práctico del Templo de Diana (Mérida). Instituto de Arqueología de Mérida-CSIC. Mérida. España

Patiño-Cuervo, O., & Caro, E. O. (2017). Tecnología aplicada a un caso particular de discapacidad múltiple. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 8(1), 121-133. doi: [10.19053/20278306.v8.n1.2017.7373](https://doi.org/10.19053/20278306.v8.n1.2017.7373)

Pinto-Salamanca, M. L., Sofrony-Esméral, J. I., & Jiménez, D. F. (2015). Detección de colisiones con librerías V-Collide y PhysX para interacción virtual con interfaces hápticas. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 5 (2), 119–128. doi: [10.19053/20278306.3721](https://doi.org/10.19053/20278306.3721)

Rodríguez, O., Pineda-Pinto, R., & Cárdenas, P. (2013). HERRAMIENTAS EJS 3D/MATLAB PARA EL CONTROL DEL SISTEMA NO LINEAL APLICADO AL PÉNDULO INVERTIDO SOBRE CARRO DESLIZANTE. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, 1 (19). Recuperado de: http://revistas.unipamplona.edu.co/ojs_viceinves/index.php/RCTA/article/view/153

Santafé, YE., Chaparro, B., & Franco, J. (2013). Detección de patrones característicos con transformadas wavelet en señales electromiográficas del cuádriceps. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, 2 (20), 151-158. Recuperado de: http://revistas.unipamplona.edu.co/ojs_viceinves/index.php/RCTA/article/download/202/206

Tangarife-Chalarca, D. (2013). Desarrollo de una aplicación web para el montaje de una mesa quirúrgica en el área de traumatología. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 4(1), 32-44. doi: <https://doi.org/10.19053/20278306.2124>

Torres, C. J., et al. (2013). Estudio cinemático de una plataforma robótica para agricultura. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, 2 (22). Recuperado de: http://ojs.unipamplona.edu.co/ojs_viceinves/index.php/RCTA/article/view/421

Vera-Dávila, A., Delgado-Ariza, J., & Sepúlveda-Mora, S. (2018). Validación del modelo matemático de un panel solar empleando la herramienta Simulink de Matlab. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 8(2), 343-356. doi: <https://doi.org/10.19053/20278306.v8.n2.2018.7972>

Zuluaga-Duque, J. F. (2017). Relación entre conocimientos, saberes y valores: un afán por legitimar los saberes más allá de las ciencias. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 8(1), 61-76. doi: [10.19053/20278306.v8.n1.2017.5973](https://doi.org/10.19053/20278306.v8.n1.2017.5973)