



Universidad
Señor de Sipán

**FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y
URBANISMO**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA**

TESIS

**DISEÑO DE UNA FÉRULA PARA EXTREMIDADES
SUPERIORES UTILIZANDO EL MÉTODO DE
DEPOSICIÓN FUNDIDA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
MECÁNICO ELECTRICISTA**

Autor

Bach. Gonzales Perez Jose Albert

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4402-2968>

Asesor:

Mtro. Vives Garnique Juan Carlos

ORCID: <https://orcid.org/000-0003-0988-9881>

Línea de Investigación:

Infraestructura, tecnología y medio ambiente

Pimentel – Perú

2023

**DISEÑO DE UNA FÉRULA PARA EXTREMIDADES SUPERIORES
UTILIZANDO EL MÉTODO DE DEPOSICIÓN FUNDIDA**

APROBACIÓN DEL JURADO

Dra. GASTIABURU MORALES SILVIA YVONE

Presidente(a) del jurado de tesis

MSc. ROJAS CORONEL ANGEL MARCELO

Secretaria del jurado de tesis

Mtro. VIVES GARNIQUE JUAN CARLOS

Vocal del jurado de tesis

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Quien(es) suscribe(n) la **DECLARACIÓN JURADA**, soy egresado, del Programa de Estudios de **Ingeniería Mecánica Eléctrica** de la Universidad Señor de Sipán S.A.C, declaro bajo juramento que soy (somos) autor(es) del trabajo titulado:

DISEÑO DE UNA FÉRULA PARA EXTREMIDADES SUPERIORES UTILIZANDO EL MÉTODO DE DEPOSICIÓN FUNDIDA

El texto de mi trabajo de investigación responde y respeta lo indicado en el Código de Ética del Comité Institucional de Ética en Investigación de la Universidad Señor de Sipán (CIEI USS) conforme a los principios y lineamientos detallados en dicho documento, en relación a las citas y referencias bibliográficas, respetando al derecho de propiedad intelectual, por lo cual informo que la investigación cumple con ser inédito, original y autentico.

En virtud de lo antes mencionado, firman:

Gonzales Perez Jose Albert	DNI: 73414084	
----------------------------	------------------	---

* Porcentaje de similitud turnitin:24%

Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO	AUTOR
DISEÑO DE UNA FÉRULA PARA EXTREMI DADES SUPERIORES UTILIZANDO EL MÉ TODO DE DEPOSICIÓN FUNDIDA	jose albert gonzales perez

RECUENTO DE PALABRAS 11941 Words	RECUENTO DE CARACTERES 59842 Characters
RECUENTO DE PÁGINAS 63 Pages	TAMAÑO DEL ARCHIVO 4.1MB
FECHA DE ENTREGA Jul 11, 2023 9:06 AM GMT-5	FECHA DEL INFORME Jul 11, 2023 9:07 AM GMT-5

- 24% de similitud general
 El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos
- 22% Base de datos de Internet
 - Base de datos de Crossref
 - 11% Base de datos de trabajos entregados
 - 2% Base de datos de publicaciones
 - Base de datos de contenido publicado de Crossr
- Excluir del Reporte de Similitud
- Material bibliográfico
 - Coincidencia baja (menos de 8 palabras)
 - Material citado

Dedicatoria.

La presente tesis está dedicada a mis padres el Sr. José Mario Gonzales Castillo y Sra. María T. Pérez Pérez y a mis familiares, quienes han sido los que me han inculcado valores y a la vez me han brindado su apoyo incondicional a lo largo de mi formación como profesional.

Agradecimiento.

En primer lugar, agradecer a DIOS por la vida, la salud y a mis padres y familiares por brindarme su apoyo incondicional en el trayecto de mi formación.

A todos los docentes por sus conocimientos y enseñanzas brindadas y en especial a mi asesor Mg. Juan Carlos Vives Garnique, por brindarme el apoyo, orientación y sobre todo por dedicarme su tiempo y paciencia a lo largo del desarrollo de mi tesis.

I. Índice.

Dedicatoria.....	4
Agradecimiento.....	5
Índice De Figuras.....	7
Índice de tablas.....	8
Resumen.....	9
Abstract.....	10
I. INTRODUCCIÓN.....	11
1.1 Realidad Problemática.....	11
1.2 Formulación Del Problema.....	17
1.3 Hipótesis.....	17
1.4 Objetivos.....	17
1.5 Teorías relacionadas al tema.....	18
II. MATERIALES Y MÉTODO.....	47
2.1 Tipo y diseño de investigación.....	47
2.2 Variables y operacionalización.....	48
2.3 Población de estudio, muestra, muestreo y criterios de selección.....	50
2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.....	50
2.5 Criterios éticos.....	51
III. RESULTADOS Y DISCUSION.....	54
3.1 Resultados.....	54
3.2 Discusión:.....	88
IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	90
4.1. Conclusiones.....	90
4.2. Recomendaciones.....	90
ANEXOS.....	94

Índice De Figuras

<i>Figura 1 Esquema de impresora por FDM.....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 2 Avance De La Impresión 3d.....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 3 Férula impresa en 3D y electro de Oxivite.....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 4 Férula de miembro superior.....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 5 Férula impresión 3D.....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 6 Férula de miembro superior de Fiixit.....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 7 Férula de miembro superior de Voxel Desing.....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 8 Componentes de una articulación móvil.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 9 Músculos del brazo.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 10 Músculos del antebrazo.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 11 Muñeca con sus articulaciones y huesos.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 12 Articulaciones de la muñeca.....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 13 Movimientos de la mano.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 14 Movimiento de supinación de la mano.....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 15 Movimiento de pronación de la mano.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 16 División del antebrazo.....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 17 División del antebrazo.....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 18 Diagrama de flujo.....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 19 Boceto del proyecto preliminar 1.....</i>	<i>64</i>
<i>Figura 20 Boceto del proyecto preliminar 2.....</i>	<i>65</i>
<i>Figura 21 Boceto del proyecto preliminar 3.....</i>	<i>66</i>
<i>Figura 22 Prototipo seleccionado.....</i>	<i>69</i>
<i>Figura 23 Propiedades mecánicas del PLA (Marca: Polymaker).....</i>	<i>73</i>
<i>Figura 24 Férula en el antebrazo.....</i>	<i>73</i>
<i>Figura 25 Material de la Férula.....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 26 Simulación de fuerzas (Von misses).....</i>	<i>76</i>
<i>Figura 27 Simulación de fuerzas (Deformación unitaria).....</i>	<i>77</i>
<i>Figura 28 Simulación de fuerzas (Desplazamientos).....</i>	<i>78</i>
<i>Figura 29 Simulación de fuerzas (Factor de seguridad).....</i>	<i>79</i>

Índice de tablas

Tabla 1	Variable Independiente.....	48
Tabla 2	Variable Dependiente.....	49
Tabla 3	Resultados promedio de las encuestas.....	55
Tabla 4	Dimensiones de la férula estándar.....	56
Tabla 5	Lista de exigencias.....	57
Tabla 6	Matriz morfológica.....	61
Tabla 7	Criterios técnicos y económicos.....	62
Tabla 8	Tabla de ponderación para criterios técnicos.....	67
Tabla 9	Tabla de ponderación para criterios económicos.....	67
Tabla 10	Promedio de talla y pesos de las personas encuestadas.....	70
Tabla 11	Tensión de impacto (MPa) en función al diámetro de impresión y densidad de impresión.....	80
Tabla 12	Tensión de Fatiga (MPa) en función al diámetro de impresión y densidad de impresión.....	81
Tabla 13	Factor de Seguridad para Fatiga en función al diámetro de impresión y densidad de impresión.....	83
Tabla 14	Desplazamiento (mm) en función al diámetro de impresión y densidad de impresión.....	84
Tabla 15	Propiedades mecánicas del Yeso ortopédico. (Bordallo, Diseño y Ensayo de Férulas Personalizadas Mediante, 2017).	87
Tabla 16	Comparación entre una Férula de PLA y de yeso ortopédico.....	87

Resumen.

El presente informe de investigación es realizado con la finalidad diseñar una férula para extremidades superiores que cumpla las mismas funciones de recuperación como las ortesis de yeso, estudiando las fuerzas que soporta y podría aguantar, se realizó una simulación con dichas fuerzas y se demostró que si cumple dichos parámetros; además, el material usado es de bajo costo con respecto al yeso y puede estar al alcance del usuario, por lo tanto es posible ofrecer una alternativa igual de resistente, de menor costo y mejor estética que el yeso ortopédico.

PALABRAS CLAVES

Férula, Impresión 3D, PLA, Extremidades superiores.

Abstract.

This research report is carried out with the purpose of designing a splint for upper extremities that fulfills the same recovery functions as plaster orthoses, studying the forces that it supports and could withstand, a simulation was carried out with said forces and it was shown that it meets those parameters; In addition, the material used is low cost compared to plaster and can be within the user's reach, therefore it is possible to offer an alternative that is equally resistant, lower cost and better aesthetic than orthopedic plaster.

KEYWORDS

Splint, 3D Printing, PLA, Upper Extremities.

I. INTRODUCCIÓN

1.1 Realidad Problemática

En la actualidad para la correcta recuperación de una lesión parcial de hueso lesionado, roto o dislocado aún se utiliza las ortesis de yeso, este método se aplica y se lleva a cabo hace y bastante tiempo; pero este ha presentado muchos inconvenientes para los usuarios de dichas escayolas. Lo que hace las férulas de yeso es salvaguardar los huesos rotos y lastimados apoyando a disminuir el dolor y la inflamación en una primera etapa y también como ayuda de los tejidos blandos, como los músculos y los ligamentos. [1].

Actualmente en la fecha la impresión 3D está en constante incremento, pues se presenta de una técnica relativamente nueva que junto a lo novedosos y modernos escáneres 3D, los cuales nos permiten conseguir geometrías complicadas de forma más sencilla. Un claro muestra de ello son las férulas hechas mediante impresión 3D, que con mucha facilidad se acomodan a cada interesado dependiendo de sus necesidades. Esto también es aplicable a diferentes servicios de apoyo que valen para hacer la vida a personas con inhabilidad o mayores. Si concentramos el uso de la impresión 3D en el perímetro de la salud y el bienestar, se puede lograr férulas y prótesis con el igual empleo, capacidad y aguante que los propios espejuelos de escayola y férulas habituales. Asimismo, es significativo recalcar que también ofrecen un progreso en la fase de recuperación. Primordialmente se emplean para fisuras convencionales, roturas de tendones, tendinitis e inmovilidades para avisar posibles malestares. Estos modelos muestran ciertas superioridades dado que son higiénicos, lavables, livianos. [2, p. 15].

“Paralizar una extremidad sin necesidad de un espejuelo ya es una realidad; los pacientes con este prototipo de fisuras pueden optimizar su lesión gracias a las férulas impresas en 3D”. [3].

Las tecnologías 3D son cada vez más habituales en el ámbito cotidiano, y una de sus aplicaciones más manifiestas la hallamos en el campo de la medicina. Una de las trascendentales ventajas que ofrecen es la posibilidad de conseguir una personalización específica para cada paciente y patología. [4].

El proceso de hacer una impresión 3D la ortesis consiste principalmente en 3 fases digitalizadas y Los estudios se han centrado principalmente en la etapa de escaneo 3D para aumentar la precisión y la integridad de anatómica adquisición de imagen de la extremidad afectada Comentarios relacionados con la etapa de impresión 3D se dedican principalmente a la Comparación de la idoneidad del material, fabricación tecnología y eficiencia de fabricación y varios grupos han informado un proceso de modelado 3D de ortesis ponibles, ventiladas y ligeras. [5].

Actualmente, cuando toleramos alguna fisura en un miembro superior y requerimos lograr una inmovilidad, se usan órtesis de yeso, usualmente reconocido por escayola. Son equipos muy eficaces en la restauración de la contusión, ya que tiene cualesquiera desventajas: estos tienden a ser fastidiosos, de cerca de 1 kg, las mangas de ciertas prendas no ingresar por el brazo escayolado, no son sumergibles, por lo que no puedes bañarse, etc. pero para realizar sua aseo personal del resto de cuerpo podemos utilizar una bolsa al contorno de la escayola pero igual son muy incomodas. [6].

Las impresiones 3D es un proceso aditivo de creación que permite fabricar una pieza a través de un diseño 3D a una pieza física por medio de la superposición de

capas, otorgando volumen a medida que se acumula material. En el campo de fisioterapia su uso primordial es la creación de las férulas (ortesis) y prótesis., estos modelos anatómicos impresos en 3D realizados con datos del paciente, permite evaluar su rendimiento y eficiencia para el tratamiento mediante terapias física, donde las estructuras anatómicas reales y específicas de la Patagonia pueden servir de guía durante todo el proceso, desde los parámetros de diseño iniciales hasta la validación del dispositivo. [7].

La aplicación de tecnología de impresión 3D hacia la elaboración de ortesis a medida proporciona ventajas, incluida una mayor ventilación y pesos más ligeros. Actualmente, el diseño de tales ortesis es el más a menudo se realiza en el entorno CAD, pero crear el modelo de ortesis es un proceso lento que requiere experiencia CAD significativa. Esta brecha de habilidades limita a los médicos a aplicar esta tecnología en fracturas tratamiento. [8].

Las tecnologías 3D modernas ahora permiten una precisión y flexibilidad sin precedentes para el desarrollo de productos, con beneficios que pueden ver en términos de adquisición de datos 3D (Treleaven & Wells 2007), cómo se pueden explorar y desarrollar las iteraciones de diseño y la fabricación final del prototipo y dispositivos funcionales (Bagaria 2015; Mohammed et al.2016). [9].

[10] La impresión 3D es una causa para realizar cosas consistentes desde un registro digital y capas de llamarse técnica disruptiva más significativo estas épocas ya que se creando extensa innovación hacia varios campos, principalmente en la medicina. A paso firme, los métodos médicos están agilizando con la tecnología y varios centros de la salud han cambiado el mundo de la paralización de contusiones usando férulas personificadas con ortesis de impresión 3D a jugadores de alto

rendimiento; este tipo de tecnología tiene varias superioridades a las escayolas (más agilidad, acomodo mejor precisión, secreción del sudor, y la gran superioridad de que, al ser abierto, al experto le accede a ocuparse en la zona afectada).

Antecedentes de la Investigación

A nivel internacional

[1] en esta investigación nos trata de llevar más a allá el diseño de una actual férula utilizando hoy por hoy cuando se origina una lesión, se tratará de cambiar las escayolas hechas de yeso, esto se utiliza actualmente que es un material de muy bajo precio y una adaptación y moldeo a lo que se necesita aplicar donde se ha ocasionado la lesión. Debido a estas pautas se piensa que los materiales imprimidos en 3D podrían reemplazar muy satisfactorias estas características, por lo que son férulas que sus elementos realizados por medio de impresión y tienen costo muy bajo, siendo el material fundamental utilizado el plástico PLA, entonces se podría alcanzar una dureza casi igual que las del yeso ya una vez seco y endurecido, con todas estas indicios se va a realizar varios ensayos y de iteraciones tratando de encontrar una ortesis impresa en 3D de PLA que se acople de la mejor manera a la parte deseada y que posea una resistencia capaz de fijar el hueso, también utilizar este tipo de material para las férulas también presentara un sin fin ventajas ya sea como una mayor movimiento y ligereza por parte del paciente, al saber que es un polietileno se puede hasta mojar, nos dejara tener más flexión y movimiento además de eso tendremos una serie más de características que se ira observando en el transcurso de proyecto.

[2] Este propósito está basado al progreso y prototipo a férula de paralización para una mano utilizando un escáner 3D, resolviendo el archivo logrando y su extremo impresión con material bio compatible. En primera zona, se tratará la

descripción sobre la digitalización 3D, así a manera la comprobación de los datos obtenidos. A su vez, se ejecutará el caso práctico, donde se modificará el archivo que nos provee el escáner mediante un programa de computador CAD para la fabricación de un modelo final. Y, por lo posterior, se examinarán los efectos logrados imprimiendo el molde en PETG, que es el co polímero más utilizado en este tipo de estudios, evaluando las consecuencias y la exactitud dimensional deseada.

[11] En su proyecto propone la creación de una férula, en que se principiará utilizando fotogrametría de escanear lo que quedará inmóvil, y posteriormente en el programa de computador se realizará esa indagación se creará dicha férula completamente personificada. Siguientemente, se elaborará con una impresora 3D, logrando un modelo atrayente, con agilidad y perfecto ajuste, reemplazando dichas ortesis de escayola convencionales y optimando la vida de las personas.

[7] la investigación basa en mejorar las ortesis para personas que necesitan rehabilitación en la muñeca. Sus acciones principales es conocer los productos que existen y sus peculiaridades. De esta forma ayudara en el diseño de la ortesis que tenga mucha comodidad y de fácil movilidad. Los aspectos más importantes que se consideraron es un sistema de accionamiento debe proporcionar una flexibilidad palmar y dorsal de la muñeca.

A nivel nacional

[10]Esta averiguación muestra una idea para reducir el lapso de instalación la ortesis acatando dos ofrecimientos en el diseño y fabricación: y así reducir los lapsos que interceden en la impresión 3D y además las que se contiene dicha concordancia médico-paciente un método embebido de diseño generativo

completado en la utilización de esquemas de ingeniería y elaboración en nube. La inaugural proposición enseña dicho proceso de imprimiendo de la ortesis de brazo, de esta manera es fragmentado en seis pedazos volumétricamente parejos en el ulterior ensamblaje, se consigue dicho descuento en el período de impresión en una cantidad de un 46,7%, y 33,3% de coste con relación a la impresión sincrónica para dicha pieza; en tanto la segunda induce el uso de métodos de cómputo de nivel excepcional en nube con la finalidad de conseguir disminuir los tiempos de dichas incorporación de la ortesis.

[12] El propósito de esto es diseñar dicho aparato robótico para la recuperación manipulando actuadores blandos, esto debe estar dirigido en la utilización de la mano, y poder optimizar la calidad del transcurso de recuperación de dichos pacientes, al rendir un fin de prestaciones indicados de la robótica blanda disminuyendo la utilización de estos aparatos duros y esparciendo la comodidad y adaptación sin disipar funciones. Este consecutivo trabajo percibe el diseño, elaboración e implementación en el equipo y así la restitución de mano hemipléjica asentado en actuadores blandos. Dicho equipo está compuesto de la férula de la materia ligero ABS (impresión 3D, método FFF), actuadores blandos elaborados con silicona (Silicona RTV 1520), un método electro neumático, y una excelente recreación en el que tiene como fin de ocasionar al paciente mientras se realiza la totalidad el transcurso.

[13] En este argumento, brota la insuficiencia de diseñar, elaborar e realizar una prótesis eficaz parcial de mano personificada para un beneficiario determinado, el cual le consienta recobrar su autonomía. Utiliza como metodología, los lineamientos

de la filosofía del “Diseño centrado en el usuario” (DCU), ya que esta se encarga de promover la introducción del mismo en todo el transcurso de los análisis, diseños y evaluaciones. Para la manufactura se planea usar la impresión 3D, ya que es una tecnología que fabrica o elabora las piezas de una manera muy sencilla y aun costo muy bajo, además con una buena calidad, consintiendo que la prótesis adquiriera un importe posible. También se apoya con la ayuda del escáner 3D para así conseguir la copia digital del muñón del beneficiario, y así poder la prótesis personificada. El método del escaneo es rápido y muy superior en comparación con los otros métodos que se acostumbran hacer, por medio de este método el muñón de la persona no se verá manejado, ni afectado de ningún modo.

1.2 Formulación Del Problema.

¿Cuál será la geometría y densidad de las ortesis impresas en 3D reemplazando las férulas de yeso, teniendo en cuenta si cumplen las mismas funciones?

1.3 Hipótesis

Si diseñamos y realizamos el diseño de una férula para extremidades superiores utilizando el método de deposición fundida en impresión 3D para personas fracturadas o lesionadas, entonces obtendremos una ortesis de bajo costo, pero igual de resistente que una de yeso.

1.4 Objetivos

Objetivo General

Diseño de una férula para extremidades superiores utilizando el método de deposición fundida.

Objetivos Específicos

- Describir los parámetros geométricos o morfológicos de la extremidad superior de personas menores de 60 años.
- Seleccionar el diseño óptimo basado en la matriz morfológica y matriz de ponderación
- Realizar cálculos de resistencia y criterios geométricos.
- Elaborar simulación con software CAE
- Analizar ventajas de la férula en impresión 3D con respecto al yeso
- Analizar económicamente la férula en impresión 3D con respecto al

1.5 Teorías relacionadas al tema

Breve historia de las impresiones 3D

Este equipo de impresión el cual crear impresiones tridimensionales como partes, piezas o maquetas volumétricas a partir de un diseño de un computador se llama generalmente impresora 3D, sus inicios datan de 1976 y en la actualidad su rutina de uso se ha prolongado en gran parte todos los campos de nuestras vidas accediendo a recrear cosas como prendas, armamento, cosas de orfebrería fina, adornos, automóviles, piezas, maquetas, prototipos etc.

En breve, se describirán todos los momentos más destacados desde que se creó la primera pieza por medio de la impresión 3D hasta la actualidad.

Chuck Hull, en el año 1984 constituyente de 3D system corporation , extendió una técnica de modelo fundado en dicho causa como estereolitografía (SLA), ya que se aumentan capas durante la curación de fotopolímeros por medio de láser con rayos

ultravioletas. Fue una de las primeras tecnologías de elaboración ligera productivo en la creación de prototipos además una grafía de registro de STL [11].

Luego en el año 1986 se instituyó la compañía y es ahí donde Chuck Hill obtiene la patente de su investigación y luego inicia a comercializarla.

Carl Deckard en el año 1987 despliega el procedimiento de la sinterización selectiva por láser (SLS).

Scott Crump entre los años 1988-1989 elabora un método de modelación por deposición fundida (FDM). Luego por los años 1990-1992 crea la sociedad Stratasys en el que comienzan a vender impresoras las cuales usan el método FDM.

El MIT en el año 1993 despliega el método de las impresiones 3D por medio de inyección (3DP).

En el año 1999 el “Instituto de Medicina Regenerativa de la Universidad de Wake Forest” logra implementar a las personas miembros rectificados por medio de implantes arteriales que se imprimieron en 3D.

En el año 2005 El Dr. Adrian Bowyer, crea una impresora 3D que consigue imprimir el total de sus elementos. El enfoque de este propósito es generalizar la elaboración por medio del repartimiento más económico de unidades RepRap a individuos de toda la tierra.

En el año 2006 se elabora la primera máquina de tipo SLS. Este aparato manipula un láser para unir materia prima en productos 3D. Es uno de los adelantos que se encarga de abrir nuevas puertas para la personalización masiva y baja demanda, de creación de segmentos de la industria, y subsiguientemente prótesis.

En el mismo año un distribuidor OBJET que se encarga de distribuir sistemas de impresiones 3D y materia prima inventa un aparato que tenga la capacidad de imprimir en variados materiales, conteniendo polímeros y elastómeros. El aparato consiste en que diversos materiales crean una sola pieza.

En el año 2011, los profesionales en ingeniería de la Universidad de Southampton elaboraron y proyectaron la primera aeronave impresa en 3D. Esta aeronave no equipada se edificó en una semana, con un financiamiento de 7.000 €.

Año 2014 – actualmente las impresoras 3D han desarrollado un signo exponencial, y estos presentes años logramos conversar de una muchedumbre de efectos reveladores, como la elaboración de cadera a medida y de tejido humano bio impreso, determinados con estos aparatos y en ámbitos inmensamente múltiples como son la arquitectura, medicina e ingenierías. Su coste ha disminuido considerablemente y en la actualidad conseguimos poseer acceso a ellas, incluso en nuestro hogar.

Método de fundición

Modelado por deposición fundida (FDM)

Esta técnica pone los materiales capa por capa y así poder realizar la pieza. Un hilo elástico es empotrado en la abertura donde se halla hacia arriba de la temperatura de fundición del material y consigue trasladar en tres ejes examinando electrónicamente. Esta pieza esta edificada con delicados filamentos de materia prima las que solidifican rápidamente posteriormente de surgir de la abertura [14, pp. 41 - 56].

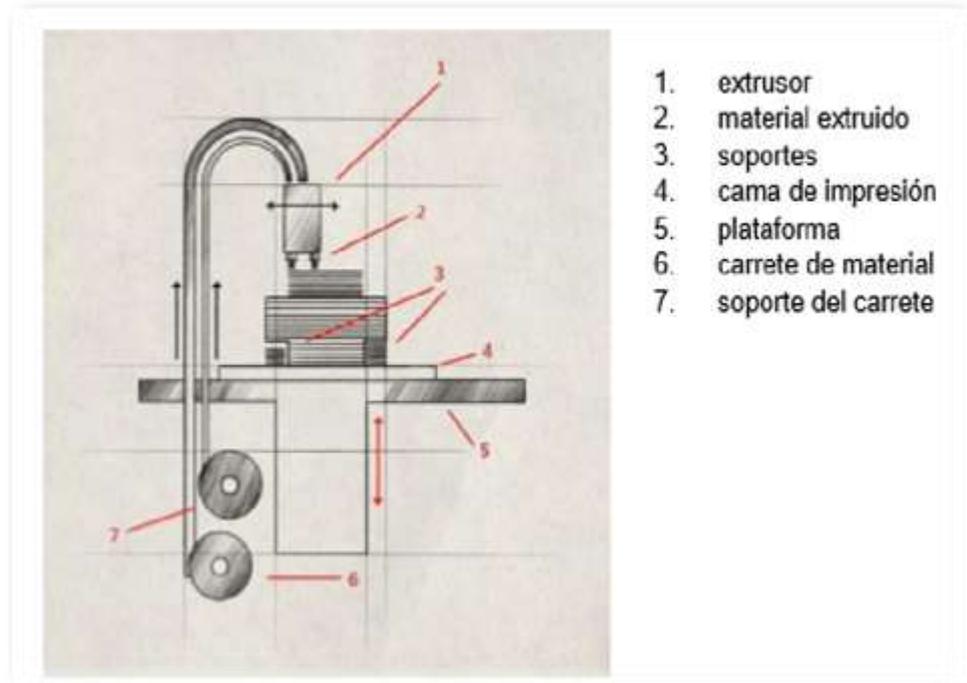
Es una técnica por medio de la cual un hilo se despliega de la bobina o cono este provee material hasta el extrusor. Dicho cabezal se encarga de fundir el material, incluso a lograr una etapa semilíquido, para extrudirlo, colocando sobre las capas pequeñas que no estén calientes, trasportando por la cámara de impresiones junto con la geometría pretendida. De esta manera, capa por capa, se diseña los tipos de piezas que se van a confeccionar [11]. dicho sistema se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Estas son las ventajas que tiene: es una tecnología pura, posible de usar y apropiada para oficinas.

Los termoplásticos de fabricación relacionados están firmes mecánicamente y medioambientalmente.

Figura 1

Esquema de impresora por FDM



Funcionamiento

En el tramo de impresiones en 3D por FDM anuncian diversas etapas que corresponden a interactuar y ocuparse ligeramente entre sí. Por lo tanto, es necesario tener preparaciones anteriores porque es un trabajo muy complejo.

Primera Fase: El modelo digital

Es necesario poseer un modelo digital de tres dimensiones de la pieza que se va a elaborar. Tenemos dos elecciones: la primera es bajar el modelo por medio de plataformas digitales o diseñar nuestro propio modelo por medio de programa de computador. Al ser creado por uno mismo es necesario evidenciar que no hay fallas además se hace la optimización de la malla si fuera forzoso por medio del programa de computador.

Segunda Fase: La exportación

El diseño elegido tiene que contar con toda la información geométrica suficiente y un formato adecuado (por ejemplo. STL).

Tercera Fase: La preparación

Cambiamos el modelo digital de tres dimensiones a una guía de órdenes que la impresora 3D sea capaz de interpretar, habitualmente llamados g-code. Luego, enviamos una lista de órdenes a la impresora y comienza con la impresión.

Cuarta Fase: La impresión

La impresora 3D eleva la temperatura del material plástico hasta obtener una etapa semi líquida esto se va depositando en capas muy delgadas en el camino de extrusión. En algunos casos es necesario un soporte o apoyo, la impresora 3D coloca la materia prima soluble en líquido. Las deducciones cambiarán dependiendo del modelo de la impresora 3D.

Quinta Fase: El acabado

Se elimina el material sobrante, como son los apoyos. Se puede mejorar el acabado del prototipo por medio de un terminado mecánico, químico o térmico.

Materiales que usan las impresiones 3D

El material principal que se usan en las impresoras 3D se extiende en su totalidad para la base indicada, con los distintivos que satisfacen a la impresora. Estos son los materiales más maniobrados en la actualidad (Eduardo, 2019, pág. 27).

Las impresoras son capaces de realizar trabajos con diferentes materiales:

ABS

Material termoplástico agregado de acrilonitrilo, butadieno y estireno. El acrilonitrilo ejerce rigidez a admirables temple, el butadieno genera permanencia

en temperaturas contra impacto. Estos materiales son fáciles en acetona y su consistencia en 1,05 g .cm ⁻³. El cabezal en este tipo de materiales trabaja entre los 230 y 245 °C y el recipiente requiere una temperatura de 110 °C (Flores, 2016).

PLA

Termoplástico de comienzo original biodegradable, tiene composición de ácido poliláctico el cual se extrae de caña de azúcar, del almidón de maíz y de la tapioca. Generando la impresión sale olores a alimentos y estos pueden utilizarse en ello. Dichas partes poseen una forma dura el cual es el material ABS y la mayoría tiene su gama de colores. Esto se hace a temperatura baja que está entre 190 a 200°C. Su consistencia es 1,3g .cm³ (FLORES, 2016).

NYLON

Este tipo de material es pegajoso y se encarga de absorber mucha humedad, por lo que seguidamente tiene que ser secado en un horno, también otra de sus características es que se encoge y no se adhiere fijamente a los demás materiales como el cristal y aluminio. No obstante, es un material que se encarga de presentar buen acabado, y es de muy poca viscosidad y tiene mucha resistencia temperaturas elevadas (FLORES, 2016).

NINJAFLEX

Trata de un elastómero termoplástico este tiene la facilidad de imprimir piezas ligeras, estabilidad y rigidez. El cabezal tiende a realizar trabajos a una temperatura de 215°C (FLORES, 2016).

LAYWOOD-D3

Sus componentes son de la composición entre polvo de maderas y polímeros, se iguala a la madera. Su temperatura para imprimir está entre los 190

y 200 °C, casi igual al PLA, pero tiene la singularidad al cambiar la temperatura crece o reduce el tono y color de la pieza impresa (FLORES, 2016).

HIPS

Consiste en una materia prima de poliestireno generalmente se usan en mezcla junto al ABS para su ejecución de fracciones con espacios (huecos), utiliza el HIP para generar ayuda, consecutivamente esto se elimina con D-Limoneo, esto es fácil y no tiene efecto bajo el influjo de la acetona. Su consistencia del material es de 1,04 g.cm³.

FLEXIBLE PLA

Hilos pegajosos para imprimir cuerpos de estructura ligera. La impresión requiere ligereza más diminuta para no generar errores en las impresiones, frente a separadores orgánicos como es la acetona, comúnmente se usa este material para la impresión de calzados y neumáticos.

HDPE: Resistente a pegamentos y disolventes, es una variedad de polietileno que se compacta y no es biodegradable. Imprime a la temperatura de 225°C.

Uso en la industria Médica de la impresión 3D

La impresión 3D, como herramienta para la industria médica, está forjando una serie de cambios en la historia. Tal como se muestra en la figura 1, la experimentación con este tipo de tecnología no es nada reciente en el campo de la medicina, sino que se remonta desde el año 1999 donde se imprime el primer

órgano en 3D. Después de este primer acercamiento entre ambos mundos ha habido muchos más casos exitosos, en el año 2002 se creó el primer riñón 3D en funcionamiento, la elaboración en masa de los vasos sanguíneos y células o la impresión de útiles y adaptadas totalmente al paciente [15].

Hoy en día, esta tecnología se ha convertido en algo muy novedoso y necesario, y como una elección en la elaboración de los dispositivos médicos, tales como implantes de cadera, prótesis de rodilla, ortesis, órganos etc. Todo esto encaminado para poder tener una mejor calidad de vida de las personas. Tal y como muestra [16] en su proyecto de investigación, la impresión 3D ofrece numerosas características como la personalización de acuerdo al paciente, la elasticidad en el diseño y la elaboración, además de la disminución de desperdicio en el material y los bajos costos en el ciclo de vida del producto [16].

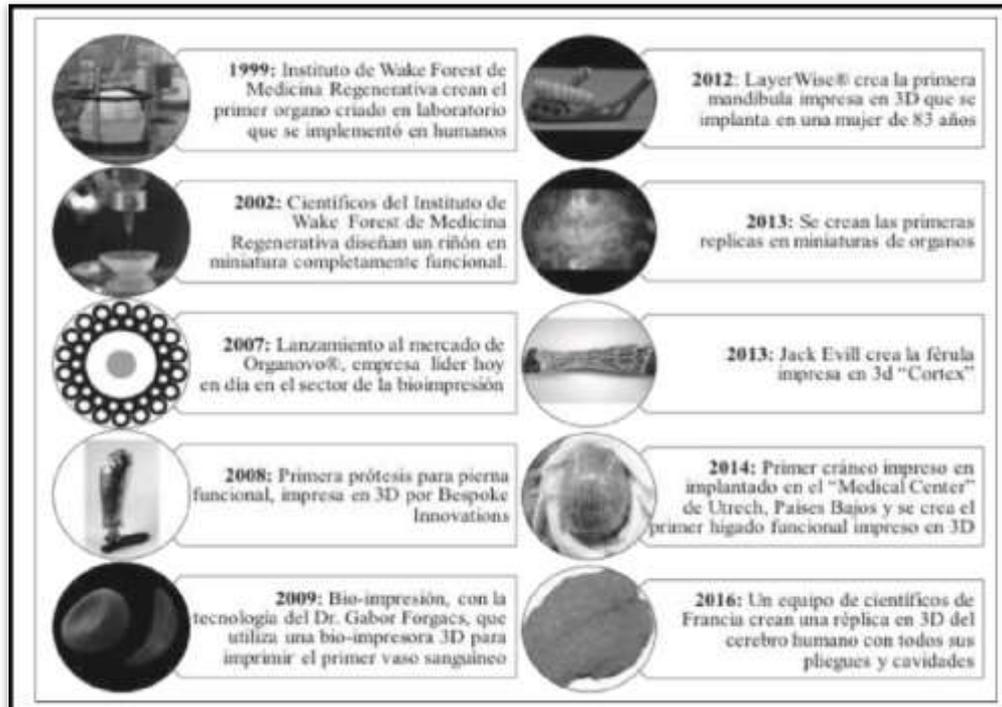
Las piezas que se imprimen en 3D se están convirtiendo en una herramienta de mucha ayuda para los cirujanos y médicos ya que ayuda a aumentar las tasas de éxito y disminuir el tiempo en las operaciones. La impresión 3D puede elaborar elementos con un dato de hasta 0.001 mm, de formas complejas y en una extensa variedad de materiales. La fabricación rápida de piezas con volumen pequeño, así como la eliminación casi total de las restricciones de elaboración, brinda a los médicos y pacientes nuevas perspectivas [17].

La unión del diseño digital en tres dimensiones, como son las imágenes médicas y las impresiones en 3D, hacen posible que los datos específicos de los

pacientes puedan ser manipulados, capturados y en definitiva aplicados a condiciones médicas de todo tipo y tamaño.

Figura 2

Avance De La Impresión 3d.



Tipos de ortesis

Existen empresas que se dedican a la fabricación de ortesis, las cuales manejan distintos métodos, materiales y una variedad de costos, estos son los tipos de ortesis que hay:

EXOVITE

En el año 2015 se diseñó una férula que servía para lograr inmovilizar y recuperar a pacientes a los que se les ha descubierto huesos rotos o lesiones musculares, y así se pudo poner fin a las escayolas de yeso. Gracias a ese diseño se obtuvo muchas mejoras en la calidad de vida de los pacientes y a su vez con ello lograron optimizar la calidad de vida de las personas y así de por medio la

mejora de los recursos en los tratamientos médicos, ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

La ortesis diseñada relaciona el conjunto de técnicas de la impresión 3D y el electro estimulación. El lugar que se desea inmovilizar fue la que consiguieron en un inicio escaneando la extremidad del paciente por medio de Exoscan, de diseño propio y que usa luz estructurada, que después es enviada a la impresora 3D mediante un software propio. Cabe recalcar que la ortesis tiene que imprimirse claramente en el mismo brazo del paciente, logrando que se efectuara en menos de 5 minutos, y que fuese un 75% más ligera que la escayola, tan sólo 350 gr. El electro estimulador de baja frecuencia ayuda a la rehabilitación del brazo fracturado por medio de un software que facilitara al médico dirigir el procedimiento y al paciente seguirlo con la máxima comodidad desde su domicilio. Con esto consiguieron que la extremidad lesionada del paciente no perdiese masa muscular al estar inmovilizado tanto tiempo, reducir el dolor y mejorar el proceso de curación del hueso. Consiguieron con este diseño la inmovilización y rehabilitación que rondaba unas 10 semanas, solamente durara 7 semanas. [11]

Figura 3

Férula impresa en 3D y electro de Oxivite.



CORTEX EXOSKELETON

En el año 2013 inventaron una férula que estaba hecha de nylon e impresa en 3D, reemplazando así los enyesados tradicionales. También gracias a este proyecto se obtuvo una férula mucho más resistente, menos pesada, y además se podía adaptar mejor al miembro a inmovilizar, también ayudó a que la piel pueda transpirar con normalidad, lo cual ayuda a que no aparezcan hongos ni rozaduras, Ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** La forma en que se une es por medio de un mecanismo de bloqueo.

se podía adaptar mejor al miembro a inmovilizar, también ayudo a que la piel pueda transpira con normalidad, lo cual ayuda a que no aparezcan hongos ni rozaduras. La forma en que se une es por medio de un mecanismo de bloqueo.

Para lograr esto, lo primero que se realizó fue escanear el miembro por medio de un aparato que utiliza luz estructurada y es especializado en la área de la medicina, además se combina con una radiografía con el lugar lesionado. Teniendo esto se encargan de crear un modelo de la férula, la cual se adapta correctamente a la fisionomía del paciente y así poder disminuir el tiempo de recuperación de la fractura. Luego con el pasar del tiempo la fabrican por medio de la impresión 3D, el tiempo estimado para la elaboración sería de unas 3 horas [11].

Figura 4

Férula de miembro superior.



XKELET

Esta es una empresa de España la cual está conformada por un equipo multidisciplinar especializado en los rubros de diseños, en el desarrollo de software y de medicina, esta empresa en el año 2016 inventó una férula especializada en

inmovilizaciones a medida de miembros superiores. Está férula se conforma por tres elementos que se unen entre sí gracias a unas juntas tóricas, O-Ring. Gracias a este diseño la órtesis es más fácil de ponérsela y también mucho más fácil de quitársela. Para obtenerla usan un aparato llamado Structure Sensor y para su escaneo usan un ipad mediante luz estructurada y una app propia. El paciente envía a la empresa el escaneado e incluso medidas y fotografías para garantizar un mejor escaneado y ya luego la empresa es la encargada de realizar el modelo y fabricarlo por medio de la impresión 3D.

El material que se usa es el PA12 bio compatible, ver [aquí](#).

Figura 5

Férula impresión 3D.



FILXIT

Es una empresa de Málaga que desde el 2016 se dedican al diseño y elaboración de las ortesis tanto de miembro superior como inferior. Se encargan de

crear férulas plenamente adaptables a las personas gracias al escaneo 3D mediante un aparato llamado iSense, ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, el cual funciona gracias al sistema de luz estructurada. Posteriormente las fabrican con material PLA gracias a la impresión 3D. La técnica de cierre entre las dos partes de la férula es por medio de unos anillos de distintos tamaños según el grado de seguridad que se solicite. En la parte interna van con recubrimientos de un material el cual ayuda a evitar las rozaduras de la piel.

Figura 6

Férula de miembro superior de Fixit.



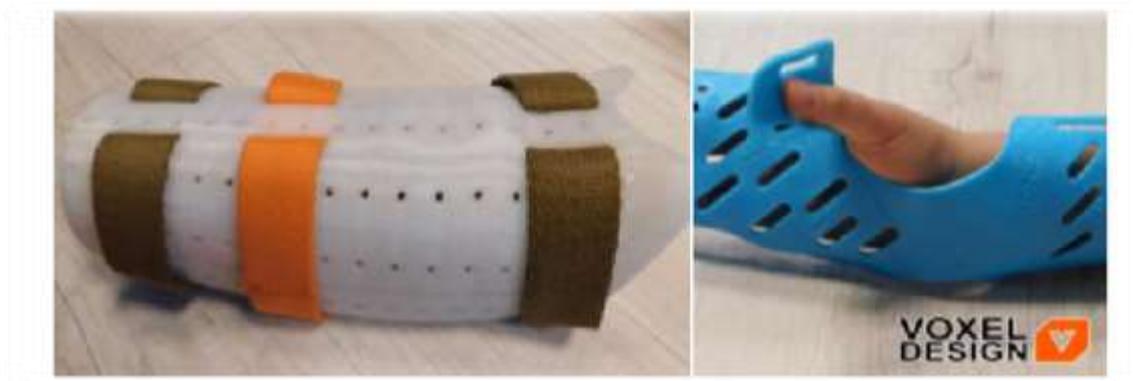
VOXEL DESIGN

Esta es una empresa dedicada a la creación de órtesis desde el año 2017, crean ortesis de miembro inferior y superior, las cuales se imprimen en 3D. Cuentan con 5 tipos de férulas funcionales, de estabilidad y/o extensión y también dinámicas,

de acuerdo a la fractura, o enfermedad que tenga cada paciente. Estas férulas han conseguido la optimización de tiempo y la búsqueda de los pacientes para los terapeutas, ya que hay una mejor adaptación y mejor estética, además una muy buena recuperación de los pacientes. Para obtenerlo, se usa un escaneo 3D del miembro conveniente, por medio de fotogrametría o toma de medidas si es un miembro superior y por medio de un aparato que utiliza luz estructurada si es un miembro inferior. También elaboran un modelo 3D el cual se fabricará más adelante por medio de un material termoplástico en impresión 3D. para que las ortesis sean más adaptables son sujetadas por medio de correas afelpadas. Las espinilleras están costando alrededor de 1650 € y las férulas para niños 650 €, ver .

Figura 7

Férula de miembro superior de Voxel Desing.



Anatomía de las articulaciones

Las articulaciones son estructuras que se encargan de la conexión de los huesos entre si y a la vez brindan el grado necesario de estabilidad y movilidad a los diferentes fragmentos esqueléticos. La gran parte son móviles y algunas son

fijas. Las articulaciones que son móviles, son las que hacen daño en la anatomía de las articulaciones., estas son conformadas por los extremos de dos a más huesos y por otros elementos no menos importantes, como lo es el cartílago y la cápsula articular, y también está la membrana sinovial [18].

Los huesos

Estos son los que se encargan de constituir el elemento base de las articulaciones. En cada articulación la forma de los extremos óseos varia. Es decir, los cambios que hay son en su encaje, lo que condiciona la movilidad de los segmentos esqueléticos involucrados [18].

El cartílago articular

Es una capa de tejido elástico el cual ayuda a que las superficies óseas no tengan contacto directamente entre sí, esto evita que no haya fricciones ni desgastes en las articulaciones más grandes como son las rodillas y caderas, el cartílago articular tiene maso menos un grosor de tres a cuatro milímetros, mientras que en las articulaciones pequeñas como por ejemplo la de los dedos es una fracción de milímetro [18].

La cápsula articular

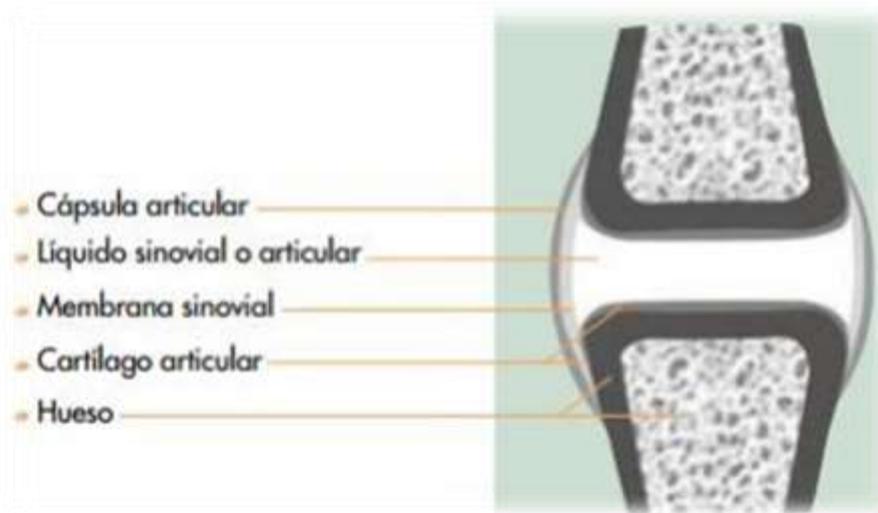
Esta es una envoltura que tiene una forma de saco, el cual engloba toda la articulación. Se conforma por dos membranas: una interna que es blanda y se le denomina la membrana sinovial, y la otra es externa, esta es fibrosa y muy resistente. Esta membrana fibrosa está fusionada a los huesos que sujetan en la articulación y brindan estabilidad a la estructura (Eduardo, 2019).

La membrana sinovial

Esta es la encargada de tapizar la superficie interna de la capsula articular, y tienes como trabajo fabricar un fluido viscoso, el luido sinovial o articular, este es el que se encarga de rellenar la cavidad de las articulaciones y a la vez actúa como lubricante reduciendo el roce entre las estructuras de las articulaciones. También, esta membrana contiene células inmunitarias, por lo que tiene un rol destacado en defender las articulaciones, ya que es por esta misma membrana la producción de reacciones inflamatorias [18].

Figura 8

Componentes de una articulación móvil.



Clasificación de los músculos del brazo y antebrazo

Los músculos del antebrazo y brazo se clasifican siguiendo unos criterios.

Las extremidades superiores se pueden clasificar en:

Brazo: Es la región que está extendida desde la clavícula hasta el codo.

Antebrazo: Es la región que está extendida desde el codo hasta la muñeca.

Dentro de las regiones del antebrazo y brazo se puede diferenciar otras dos partes:

Cara anterior del brazo o el antebrazo: Es la que se encuentra en el lado de la palma de la mano.

Cara posterior del brazo o el antebrazo: Es la que se encuentra en el lado del dorso de la mano.

Músculos del brazo

En nuestro brazo se encuentran dos grupos de músculos: Los músculos de la cara posterior y la cara anterior.

Los músculos de la cara posterior son los que se encargan de contraer, es decir realizan movimientos de contracción, y los de cara anterior son los que realizan movimientos de flexión. Estos dos grupos de músculos son antagonistas ya que cuando un músculo se flexiona el otro tiende a contraerse, ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Los principales músculos anteriores del brazo son:

Bíceps braquial: Este es el que está extendido desde la clavícula hasta el codo. Su función es la rotación y flexión del antebrazo por encima del codo. Su mismo nombre indica que consta de dos partes, porción corta y larga del bíceps.

Braquial: Este está ubicado en el plano más profundo que el bíceps braquial y además es mucho más pequeño. Es de forma aplanada y ancha. Este es el principal músculo que flexiona el brazo y antebrazo.

Coracobraquial: Es músculo prismático y grueso y está extendido desde la escápula hasta el bíceps por dentro de la porción corta del bíceps braquial. Es uno

de los músculos que su especialización es realizar movimientos más rápidos, pero no genera mucha fuerza.

Los músculos del brazo de la cara posterior

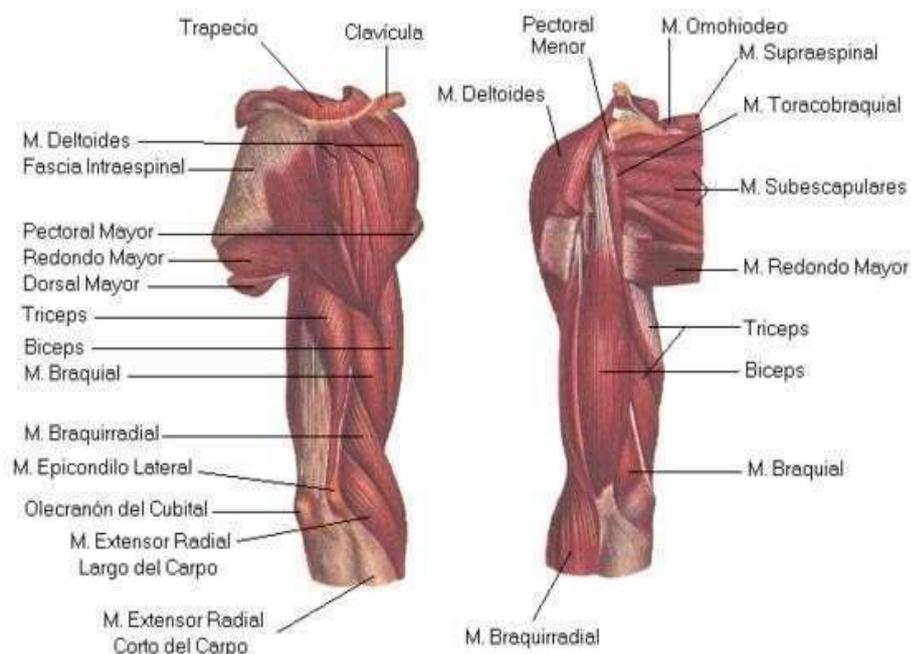
Se encuentran dos músculos principales:

Tríceps braquial: Este es uno de los músculos que más ocupa la región posterior del brazo. Se encuentra conformado por tres fracciones de cabeza: Fracción larga y vastos externos e internos. La función que realiza es lo contrario a lo que hace el bíceps, es decir realiza la extensión del antebrazo sobre el codo.

Músculo ancóneo: Este es un músculo pequeño tiene una forma triangular y contacta con el tríceps y el codo por medio de su extremidad proximal. Además, coopera con el tríceps braquial en el transcurso de extensión del antebrazo encima del codo.

Figura 9

Músculos del brazo.



Músculos del antebrazo

Estos músculos se clasifican en tres grupos:

Flexores de los dedos: Se encuentran ubicados en las caras anteriores de los antebrazos.

Extensores de los dedos: Se encuentran ubicados en las caras posteriores de los antebrazos.

Supinadores o rotadores externos del antebrazo: Se encuentran ubicados en los bordes radiales del brazo.

Músculos de la parte anterior del antebrazo

Estos músculos que se encuentran en la parte anterior del antebrazo son: músculo pronador redondo, cuadrado, flexor radial del carpo, palmar largo, flexor lunar del carpo, flexor superficial de los dedos y músculo flexor largo del pulgar, **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Los principales músculos son:

Músculo flexor profundo de los dedos: Este es uno de los músculos que junto al flexor común superficial de los dedos de la mano, permiten la flexión de los dedos a excepción del pulgar. Es uno de los músculos que tiene asociado un tendón largo el cual corre por el antebrazo atravesando el túnel carpiano hasta lograr implantarse en el lado palmar de las falanges de los dedos.

Músculo flexor superficial de los dedos: Este es uno de los músculos que, junto al anterior, permiten la flexión de los dedos, en determinado la flexión de la falange media sobre la proximal y la mano sobre el antebrazo.

Músculos de la parte posterior del antebrazo

Estos músculos son: Músculo extensor cubital y del carpo, músculo extensor de los dedos, músculo abductor largo del dedo pulgar, músculo extensor corto del dedo pulgar y músculo palmar cutáneo o corto.

El músculo principal de esa zona es:

Músculo extensor de los dedos: Este realiza un recorrido de todo el antebrazo, es decir desde el codo hasta del dorso de la muñeca, en donde se une a cuatro tendones, los cuales tienen que pasar hasta los dedos dos, tres, cuatro, y cinco, es decir por todos los dedos a excepción del pulgar. es un músculo el cual está encargado de la extensión de la muñeca y de las falanges proximales de los dedos, pero también tiene una corta participación en la extensión del brazo.

Músculos laterales del antebrazo

Para finalizar tenemos los músculos laterales del antebrazo.

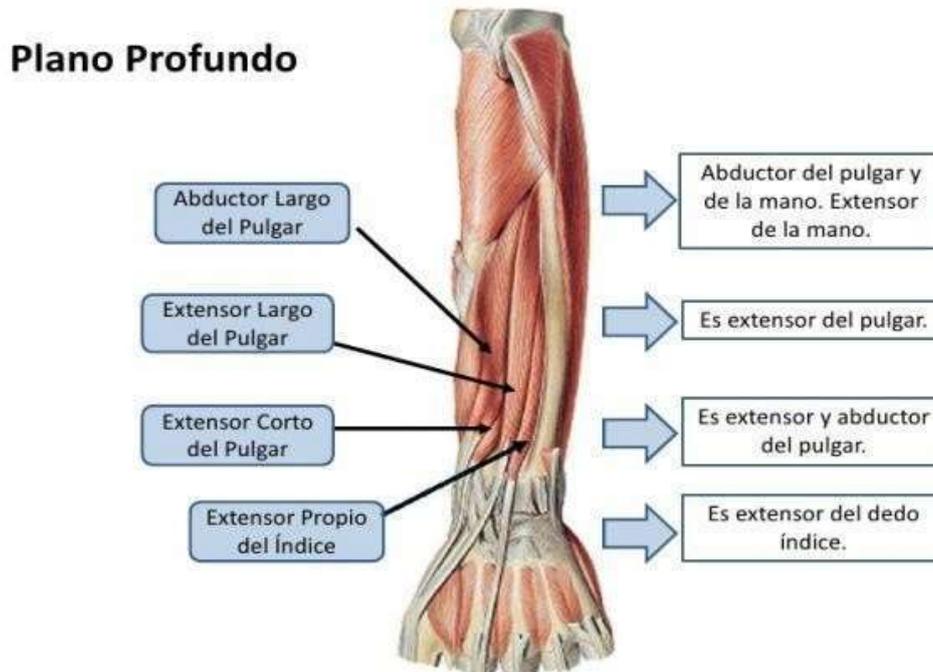
Los cuales se mostrarán a continuación: Músculo supinador corto, primer radial que es el largo, y segundo radial que es el corto, y un músculo supinador largo.

El músculo principal de esta zona es:

Músculo supinador largo: Es uno de los músculos que lo podemos encontrar en la parte superior externa del antebrazo muy cerca al codo y este ayuda la rotación del antebrazo de manera interna y también externamente. De acuerdo a la disposición el codo puede hacer diferentes movimientos por lo que presenta una gran cantidad de movimientos diversos al antebrazo.

Figura 10

Músculos del antebrazo.



Anatomía de la muñeca

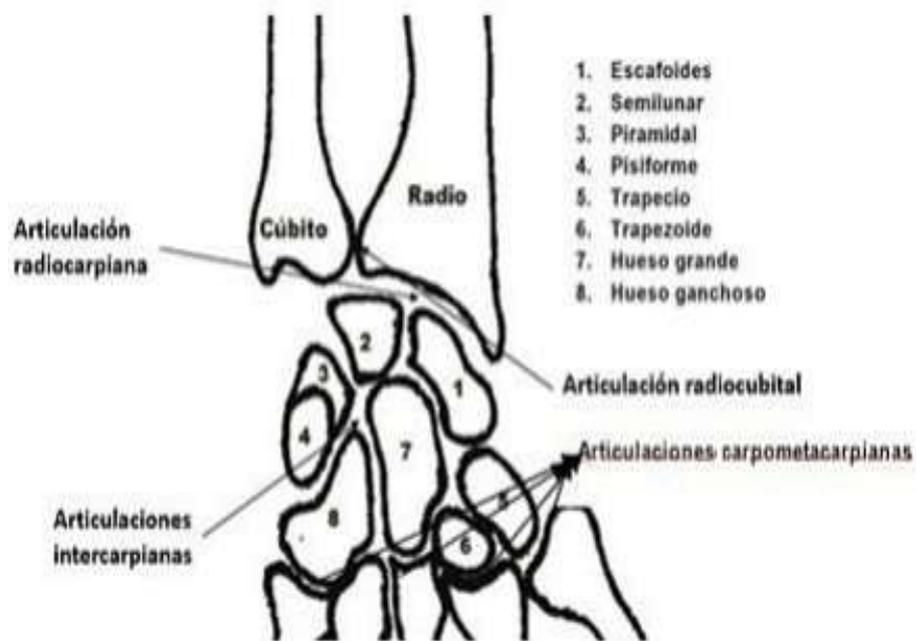
La muñeca es el área anatómica que se encarga de establecer la unión entre la mano y el antebrazo. Esta zona anatómica está conformada por las partes distales de los huesos del antebrazo, como son el cúbito y radio y por todo el conjunto de huesos los cuales conforman el carpo (EDUARDO, 2019).

Las características de su estructura ayudan al desarrollo de movimientos complicados en diversos planos del espacio y la red de los ligamentos está a favor de la fijación del sistema de los huesos y de la estabilidad de todo el complejo de articulaciones, ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

La muñeca se compone por los huesos y articulaciones que se mostrará a continuación, ver .

Figura 11

Muñeca con sus articulaciones y huesos.



Articulación radiocarpiana. Esta es la encargada de unir el radio y el ligamento triangular más conocido como disco, con la primera fila del carpo.

Articulación intercarpiana. Son las articulaciones de los huesos del carpo.

Articulación radio cubital. Esta es una articulación trocoide la cual está conformada por la unión de la cabeza cubital y la cavidad sigmoidea de la porción distal de radio.

Articulación carpo metacarpiana. Estas articulaciones son los puntos entre los huesos metacarpianos y carpianos.

Cúbito. Este es un hueso que se ubica en el antebrazo.

Radio. Está situado en la parte externa del brazo, es un hueso largo.

Escafoides. Hueso muy pequeño que se encuentra en la muñeca, y es el

más probable a romperse.

Semilunar. Tiene forma de media luna y es cóncavo mirando hacia abajo. es un hueso corto esponjoso, par y tiene forma irregular cubita.

Piramidal. Hueso con forma de pirámide, tres de sus seis caras son articulares.

Figura 12

Articulaciones de la muñeca.



Movimientos de la mano

La mano es un miembro encargado de la sujeción y manipulación, su funcionamiento tiene como fin obtener una presión sólida y precisa al mismo tiempo. Los movimientos de la mano se presentan a continuación, ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Flexión de la mano

Es un movimiento de la articulación radiocarpiana. Según las personas, este

movimiento alcanza una extensión que varía de 80° a 90°.

Extensión de la mano

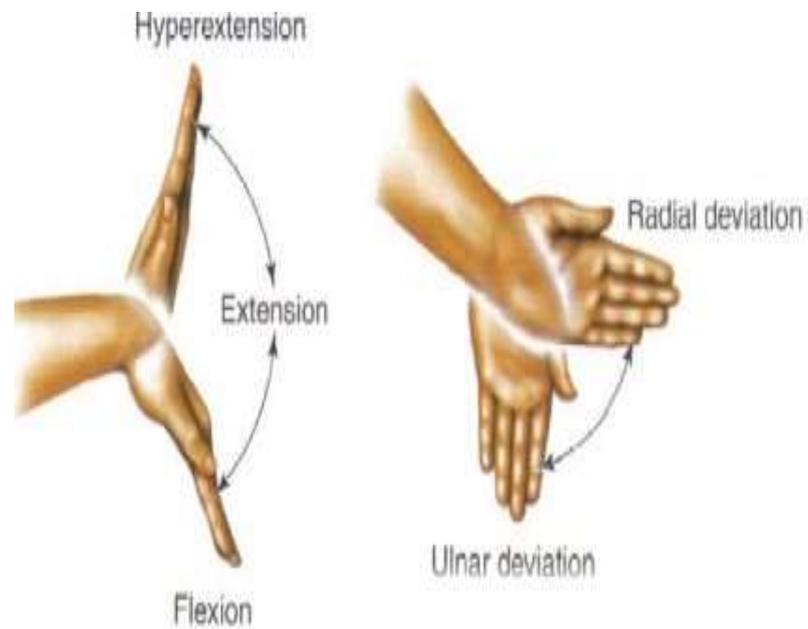
Son movimientos que están limitados por la tensión de los ligamentos dorsales y palmares del carpo, la extensión llega a 50° en la articulación medio carpiana y a 30° en la radiocarpiana.

Abducción radial y cubital de la mano

En la abducción cubital, las dos filas del carpo giran alrededor del eje anteroposterior que pasa por la cabeza del hueso grande. Su extensión de movimiento de la abducción cubital es de 40° aproximadamente. La abducción radial es un movimiento de menor amplitud. Aproximadamente 25° de amplitud de movimiento.

Figura 13

Movimientos de la mano



Movimientos de rotación o supinación

Movimiento de supinación

Si la mano se encuentra en un inicio en pronación, al hacer el movimiento de supinación descruza el radio y lo desliza de forma lateral. Este movimiento puede alcanzar hasta los 120°, ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Figura 14

Movimiento de supinación de la mano.



Movimiento de pronación

Si la mano se encuentra en un inicio en supinación, los dos huesos del antebrazo están paralelos, en este caso es lo contrario a la supinación ya que aquí se cruza el radio al cúbito en el curso del movimiento, y llega a alcanzar 120°, **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Figura 15

Movimiento de pronación de la mano



II. MATERIALES Y MÉTODO

2.1 Tipo y diseño de investigación

Tipo de investigación

Esta investigación será de tipo descriptiva y a la misma vez cuasi experimental.

Descriptiva: Al ser de tipo descriptiva esta incluye diferentes tipos de estudio, como, por ejemplo. Las encuestas, los casos exploratorios, de desarrollo, predictivos, casuales, de correlación y también de conjuntos.

Cuasi experimental: Al ser de tipo Cuasi-experimental esta consiste en la aplicación de una o más variables experimentales comprobadas, en circunstancias estrechamente controladas, con la finalidad de poder describir de qué modo o por qué causa se produce una situación o suceso particular

Diseño de investigación

Problema

¿Cuál será la geometría y densidad de las ortesis impresas en 3D reemplazando las férulas de yeso, teniendo en cuenta si cumplen las mismas funciones?

Solución

Diseño de una férula para extremidades superiores utilizando el método de deposición fundida.

Resultados

Las personas lesionadas recuperarán la movilidad de su mano teniendo mejor comodidad e higiene.

2.2 Variables y operacionalización

Variable Férula impresa en 3D

Variable Independientes

- Lesión de mano parcial
- Requerimiento de diseño
- Condiciones de impresión

Variable Dependiente

- Geometría de la férula
- Composición de la férula impresa en 3D

Operacionalización de variables

Tabla 1

Variable Independiente

Variable Independiente	Definición Conceptual	Definición Operacional	Indicadores	Escala de Medición
Lesión de manoparcial	Estiramiento de los músculos, tendones, esguinces en elhueso, etc., la cual genera	Dependiendo de la lesión se definirá un tiempo y uso de la férula.	Grado de doloro gravedad de la lesión	Porcentaje

	dolor.			
Requerimiento de diseño	Son los parámetros requeridos para una óptima funcionalidad y comodidad	Dependiendo de las características del usuario se redimensionará el tamaño de la férula	Dimensiones de largo y ancho	cm
Condiciones de impresión	Son las condiciones iniciales de temperatura y densidad para tener una resistencia de la férula	Según la temperatura y densidad el material trabaja en mejores condiciones	Ficha técnica del material al usar	C°

Tabla 2

Variable Dependiente.

Variable dependiente	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores	Escala de medición
----------------------	-----------------------	------------------------	-------------	--------------------

Geometría de la férula	Son las dimensiones que se adaptan a la forma del brazo	Dependiendo del tipo de usuario se establece las medidas óptimas para el uso	Según el ancho, largo y espesor	Cm
Composición de la férula impresa en 3D	Es la densidad del material hacer impresa en 3d	Dependiendo a las características del material se tomará en cuenta su densidad	Ficha técnica del material seleccionado	g/cm ³

2.3 Población de estudio, muestra, muestreo y criterios de selección.

Personas con lesión traumatológica con un tratamiento de inmovilidad del hueso.

2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

Técnicas de recolección de datos

- a) **Observación:** Se tendrá en cuenta el problema social, y económico

que afrontan las personas con lesiones parcial de la mano.

b) Entrevista: A doctores especializados (traumatólogos) en el tema de lesiones parcial de la mano, a hueseros personas que se dedican a este tipo de lesiones.

c) Recolección de datos: Se tendrá en cuenta las informaciones y consejos de especialistas en el tema, así como también de revistas, libros, artículos científicos, tesis locales, nacionales e internacionales.

d) Encuestas: A todo el público en general.

Instrumento

Motores de búsqueda: mediante el uso de herramientas digitales como Google, etc. Se extraerá información relevante para la definición de las dimensiones de la férula.

2.5 Criterios éticos

En este proyecto de investigación los principios que tendremos presente serán la base para nuestros valores como la dedicación, responsabilidad, honestidad. Está basado en dos documentos fundamentales: Código de Ética del Colegio de Ingenieros (CIP, 1999) y el código de ética de investigación de la universidad señor de Sipán (USS, 2017).

Código de Ética del Colegio de Ingenieros (CIP). Aprobado en la III sesión ordinaria del congreso nacional de consejos departamentales del periodo 1998–1999 en la ciudad de Tacna 22, 23, 24 abril 1999.

Art. 2.- Los ingenieros deben promover y defender la integridad, el honor y la dignidad de su profesión, contribuyendo con su conducta a que el consenso público se forme y mantenga un cabal sentido de respeto hacia ella y sus miembros,

basado en la honestidad e integridad con que la misma se desempeña. Por consiguiente, deben ser honestos e imparciales. Sirviendo con fidelidad al público, a sus empleadores y a sus clientes; deben esforzarse por incrementar el prestigio, la calidad y la idoneidad de la ingeniería y deben apoyar a sus instituciones profesionales y académicas.

Art. 5.- los ingenieros cuidarán que los recursos humanos, económicos, naturales y materiales, sean racional y adecuadamente utilizados, evitando su abusoso dispendio, respetaran y aran respetar las disposiciones legales que garanticen la preservación del medio ambiente.

Código de Ética de Investigación de la Universidad Señor de Sipán (USS),
Ratificado por acuerdo de consejo universitario con resolución rectoral N° 0851-2017/USS

ART. 2º: Finalidad

El Código de Ética de investigación de la Universidad Señor de Sipán (USS), tiene como finalidad proteger los derechos, la vida, la salud, la intimidad, la dignidad y el bienestar de la(s) persona(s) que participan en una actividad de investigación Científica, Tecnológica e innovación, ciñéndose a los principios éticos acogidos por la normativa nacional e internacional, y los acuerdos suscritos por nuestro país en la materia.

ART. 3º: Alcance

El presente código de ética de investigación es de cumplimiento obligatorio para todas las autoridades académicas, administrativas, docentes, estudiantes, egresados y administrativos de la Universidad Señor de Sipán.

Criterios de rigor científico

En el presente proyecto de investigación se tendrán en cuenta los principios de rigor científico como la generalización, validez, fiabilidad y replicabilidad.

Generalización:

Componente importante del proceso científico, se pretenderá que la información extraída de una encuesta o entrevista este precisamente organizada y realizada.

Validez:

Se considerará atención exacta de escoger variables sobresalientes y que guarden relación al problema de investigación.

Fiabilidad:

Al adquirir las mediciones corresponden a una metodología meticulosa y científica.

Replicabilidad:

Los reglamentos y técnicas estarán dirigidos a agilizar la repetición de la experiencia con el propósito de alentar la contratación de resultados en proyectos de investigaciones futuras.

III. RESULTADOS Y DISCUSION

3.1 Resultados

Parámetros morfológicos de la extremidad superior.

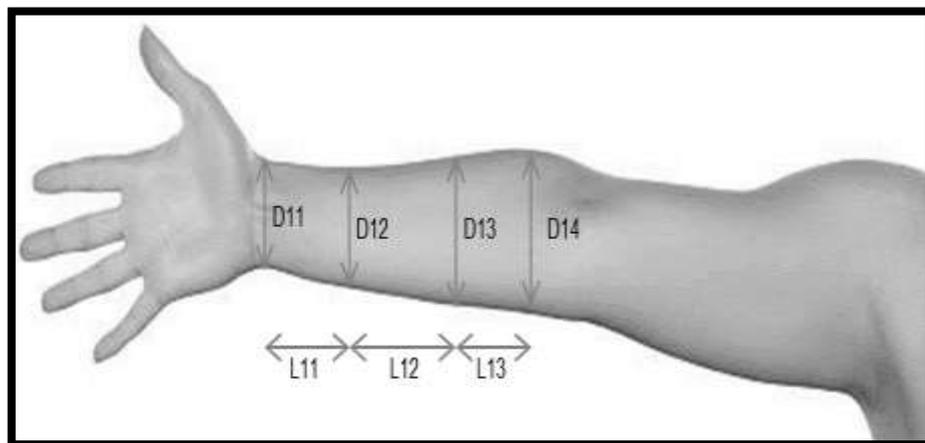
Empezaremos tomando algunas medidas antropométricas de la extremidad del paciente, para ello usamos la encuesta adjunta en el Anexo 4: Encuesta.

El procedimiento de medición fue el siguiente:

1.- El brazo extendido, con la palma de la mano mirando hacia arriba, se divide el antebrazo en 3 partes iguales, ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Figura 16

División del antebrazo.

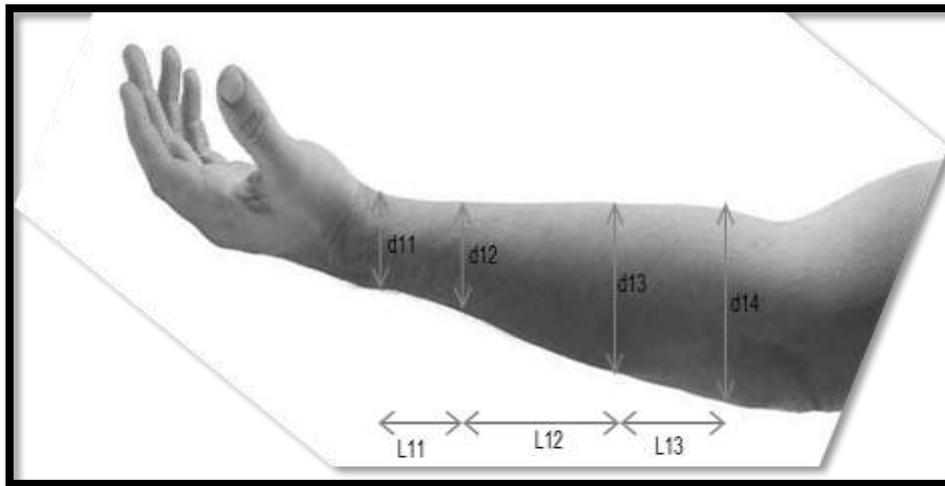


2.- Se mide la distancia entre cada marca (L11,L12,L13) y el grosor de la extremidad (D11,D12,D13,D14).

3.-Luego en la misma posición, se mide el grosor de la extremidad a 90° (d11, d12, d13, d14), ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Figura 17

División del antebrazo.



4.- También se registra, la edad, sexo, altura y peso del encuestado.

La encuesta se aplicó a una muestra de 46 participantes de hombres y mujeres de distintas edades, en la tabla 3 se muestran los resultados obtenidos.

Resultados de la encuesta:

Tabla 3

Resultados promedio de las encuestas.

Edad	Sexo	Talla	Peso	LT	D11	D14	d11	d14
------	------	-------	------	----	-----	-----	-----	-----

18-30	Hombre	1,73	86,57	24,86	5,96	9,23	4,17	8,05
18-30	Mujer	1,57	57,29	21,43	4,75	7,56	3,74	6,86
30-45	Hombre	1,69	88,86	25,43	6,12	9,62	4,51	8,56
30-45	Mujer	1,53	60,57	21,43	5,17	8,29	3,86	6,88
45-65	Hombre	1,68	77,60	25,20	5,66	9,06	4,03	7,55
45-65	Mujer	1,56	51,63	21,00	5,14	7,81	3,74	7,64

De esta manera, se puede dibujar la ovalización del antebrazo de la persona de forma individual. Para el propósito de esta investigación solo se diseñará una férula estándar para un hombre de 18 a 30 años, que tendrá las siguientes dimensiones.

Tabla 4

Dimensiones de la férula estándar.

Peso	LT	D11	D12	D13	D14	d11	d12	d13	d14
85,00	25,00	5,96	6,58	8,22	9,23	4,17	5,77	7,39	8,05

Diseño de una férula para una forma más resistente y económica.

LISTA DE EXIGENCIAS
FÉRULA PARA EXTREMIDADES SUPERIORES UTILIZANDO EL
MÉTODO DE DEPOSICIÓN FUNDIDA

Tabla 5

Lista de exigencias.

N°	Deseo o exigencia	Descripción
Función principal:		
1	E	Conseguir que la férula soporte golpes leves protegiendo el brazo del usuario, evitando hematomas o movimientos del hueso el cual está sanando.
Geometrías:		
2	E	Diseño cómodo, adaptable al cuerpo del usuario evitando lesiones en la piel y con conexiones simples para un mejor montaje.
Fuerzas:		
3	E	Uso de la fuerza humana para el montaje.
Material:		
4	E	Que sea resistente y liviano lo suficiente para no incomodar al usuario.
Cinemática:		
5	D	Al llevarlo puesto tiene que realizar movimientos ligeros y lentos.

Fabricación:

6 E Tiene que ser fabricado de forma lisa y con redondeos en las partes que entren en contacto con la piel.

Seguridad:

7 E El diseño no pone en riesgo su integridad ni la del usuario al manipular la férula.

Montaje:

8 E De rápida instalación y transporte.

Mantenimiento:

9 E Fácil y práctico, Las piezas de recambio deben ser fáciles de desmontar.

Costo:

10 E Al alcance de todos.

Se muestra en la tabla el diseño de exigencia y descripción de acuerdo a codificación.

Elaboración del proyecto optimo

Estructura de funciones

Las funciones del dispositivo de ayuda y protección son representadas por un diagrama de flujo, donde se tendrá en cuenta las magnitudes principales de entrada y salida, ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Figura 18

Diagrama de flujo.



- ❖ Ingreso:
 - Usuario: Persona adulta con lesión en el brazo o antebrazo
 - Forma: La forma del brazo y antebrazo son diferentes dependiendo el peso y talla del usuario
- ❖ Salida:
 - Usuario: Persona adulta con el brazo sanado
 - Forma: Forma del brazo y antebrazo sin alteraciones por el uso de la férula
- ❖ Descripción de las Funciones:
 - Equipar la férula en el brazo o antebrazo el cual está fracturado sin hacer más daño.
 - Ajustar y verificar las posiciones correctas.
 - El usuario realiza sus actividades con cuidado y naturalidad.
 - El dispositivo podrá prevenir golpes accidentales provocados por tropiezos, resbalones y descuidos los cuales pueden pasar en cualquier momento.
 - Al culminar el tratamiento o realizar la limpieza es fácil de realizar.

Al quitar el dispositivo tiene que ser en la misma forma como fue colocado.

Matriz morfológica

1	MATERIAL EXTERNO	YESO	PLA	ABS	PEGI
2	FORMA	Cilíndrica	Cónica		
3	TIPO DE VENTILACIÓN	Rectángulos Redondeados	Cuadrados	Hexagonales	
4	MATERIAL INTERNO	Goma	Hule	Trapos	Silicona
5	UNIONES O AJUSTES	Ganchos	A Presión	Ajustables con Cuerdas	
6	ACABADO	Redondos y Liso	Semi Redondos Lisos		

Tabla 6

Matriz morfológica.

CONCEPTO DE SOLUCIÓN	TIPO DE LÍNEA
1	
2	
3	
4	
5	

Concepto de solución

Se realizan esquemas para mostrar las posibles soluciones y así evaluar cada una de ellas otorgando valores numéricos, ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Donde:

- 0. No aceptable
- 1. Poco satisfactorio
- 2. Suficiente
- 3. Satisfactorio
- 4. Muy satisfactorio

Tabla 7*Crterios técnicos y económicos.*

N°	Criterios técnicos y económicos	Soluciones				
		1	2	3	4	5
1	Estable	4	4	4	4	4
2	Número de operarios	3	4	4	4	3
3	Facilidad de manejo	2	4	4	3	4
4	Rapidez de movimientos	3	3	4	3	4
5	Costo de fabricación	3	4	4	4	4
6	Comodidad	2	2	3	3	3
7	Seguridad	4	4	4	4	3
8	Facilidad de montaje	3	3	3	3	2
9	Facilidad de mantenimiento	2	3	4	3	3
Suma Total		26	31	34	31	30

Proyecto preliminar

Para seleccionar un solo diseño tomamos en cuenta los movimientos cotidianos que pueda realizar el usuario de la férula.

Movimientos al caminar:

1. Mueve el antebrazo hacia delante y atrás.
2. Mueve el antebrazo hacia su pecho, arriba y abajo.
3. Mueve cosas ligeras y las sostiene.

Actividades Comunes:

1. Usar computadora o laptop.

2. Sostener cucharas, tazas y cosas para comer
3. Sostener libros e instrumentos de estudios

A continuación de hacer las descripciones de cada proyecto preliminar.

Proyecto Preliminar 1

El material utilizado para las capas externas es de PLA, el cual es utilizado en impresiones 3D.

La forma general del diseño es cónica, por el motivo que tiene una parte circular más grande que la otra, asemejándose más a la forma del antebrazo.

Su ventilación es de tipo circular eliminando las esquinas y futuros puntos de concentración de esfuerzos.

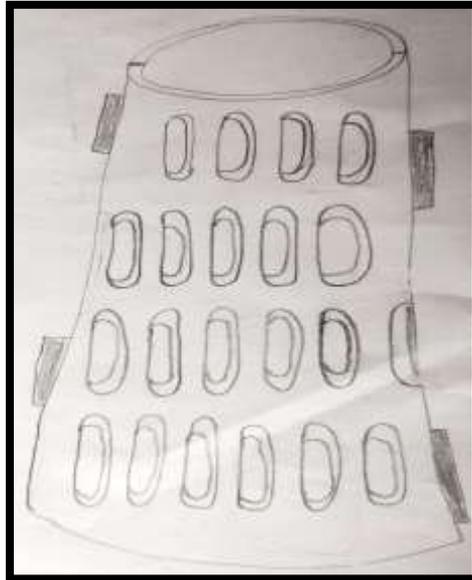
El material es de tramos el cual evita el contacto con la piel humana.

Las uniones son con ganchos los cuales son más fáciles de usar.

Los acabados son redondos y lisos evitando raspones en la piel del usuario por el uso de la férula.

Figura 19

Boceto del proyecto preliminar 1.



Proyecto Preliminar 2

El material externo es de PLA el cual es utilizado en las impresiones 3D

Su forma es cónica la cual se adapta mejor a la forma del antebrazo del cuerpo

Sus ventiladores son cuadrados proporcionando más espacios de ventilación

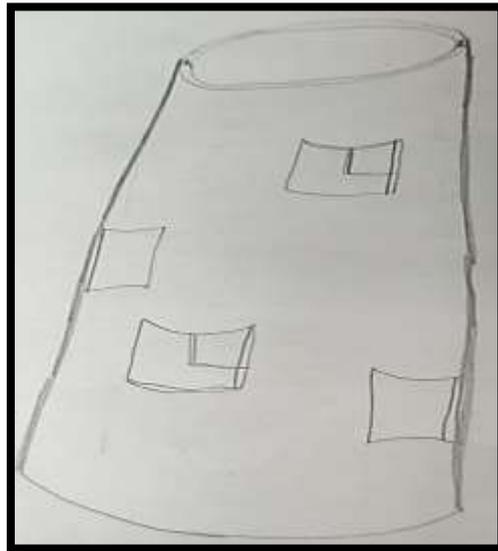
El material Interno es de hule garantizando que se adapta a la forma del antebrazo

Las uniones son a presión entre la férula

Los acabados son semi redondos y lisos evitando raspones al usuario, **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Figura 20

Boceto del proyecto preliminar 2.



Proyecto Preliminar 3

El material externo es de ABS el cual es de plástico resistente

La forma es cónica la que se adapta mejor al antebrazo del cuerpo

El tipo de ventilación es cuadrado dando más espacios de ventilación

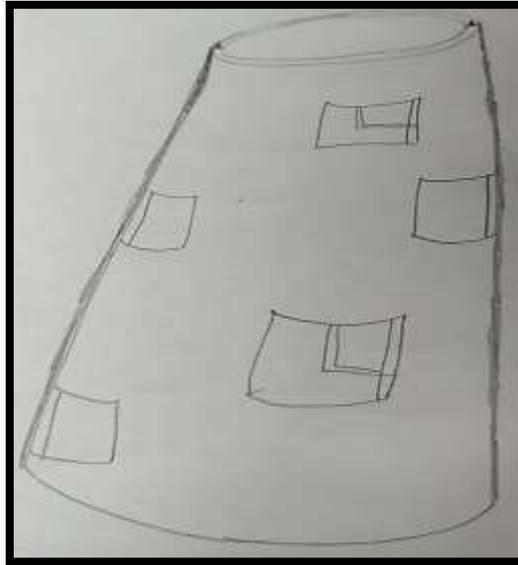
El material interno es de hule el cual adapta mejor al cuerpo

Las uniones son a presión

Los acabados son semi redondos y lisos evitando raspados, ver .

Figura 21

Boceto del proyecto preliminar 3.



Criterios Técnicos

A continuación, presentamos los proyectos preliminares cuya evaluación será técnica y económica, mediante las siguientes puntuaciones, ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

0. No aceptable
1. Poco satisfactorio
2. Suficiente
3. Satisfactorio
4. Muy satisfactorio

Tabla 8*Tabla de ponderación para criterios técnicos.*

Valor Técnico										
Criterios de evaluación para el diseño en fase de conceptos o proyectos										
Variantes de proyecto		Solución 1		Solución 2		Solución 3		Solución ideal		
N°	Criterios de Evaluación	g	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp
1	Funcionalidad	9	4	36	4	36	4	36	4	36
2	Forma	8	4	32	4	32	4	32	4	32
3	Diseño	8	4	32	3	24	3	24	4	32
4	Fabricación	7	4	28	4	28	4	28	4	28
5	Montaje	7	3	21	2	14	2	14	4	28
6	Uso	8	3	24	3	24	3	24	4	32
7	Mantenimiento	9	4	36	3	27	3	27	4	36
8	Seguridad	9	3	27	3	27	3	27	4	36
Puntaje máximo Σp ó Σgp				236		212		212		260
Valor Técnico x1				0,908		0,815		0,815		1,0
Orden				1		2		3		

Criterios Económicos**Tabla 9***Tabla de ponderación para criterios económicos.*

Valor Técnico										
Criterios de evaluación para el diseño en fase de conceptos o proyectos										

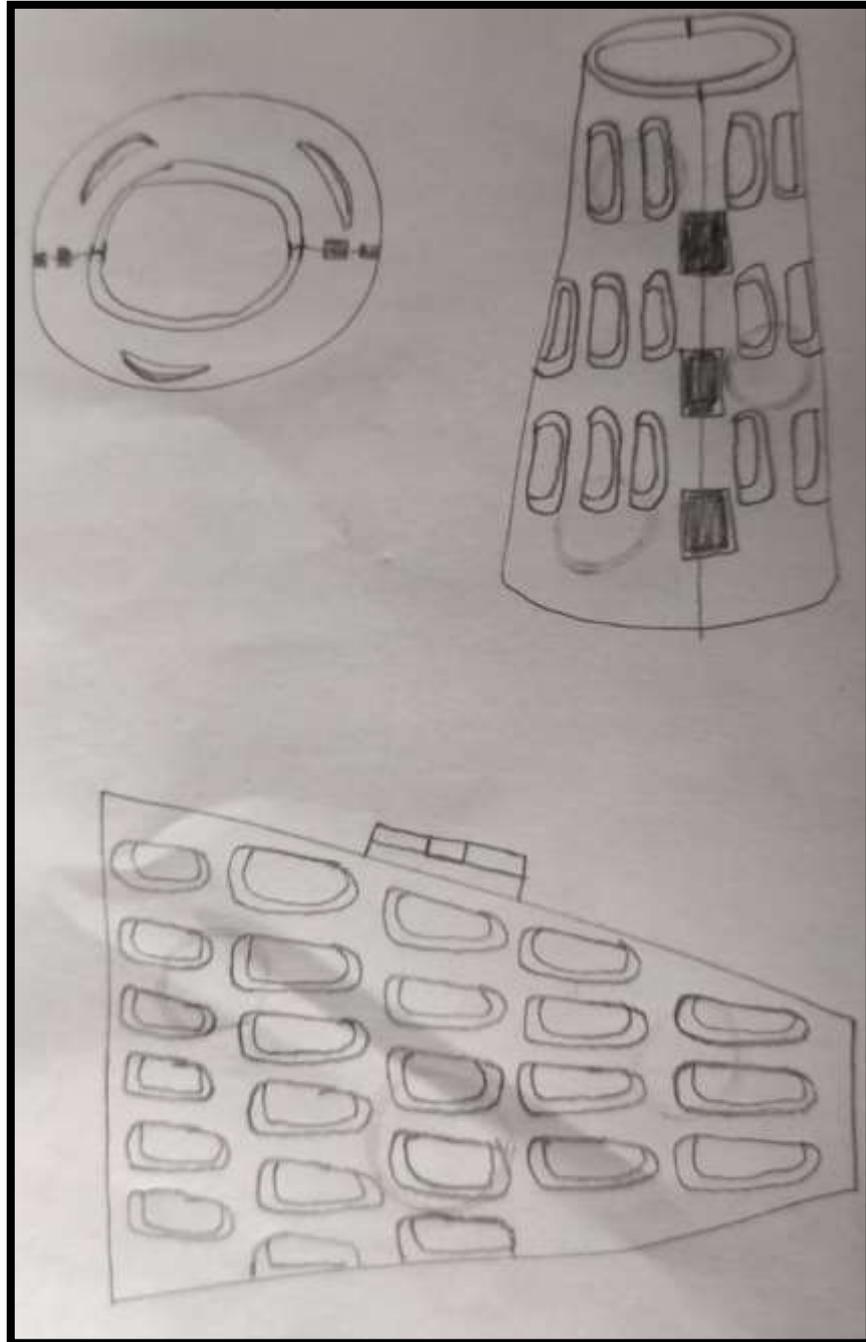
Variantes de proyecto		Solución 1		Solución 2		Solución 3		Solución ideal		
N°	Criterios de Evaluación	g	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp
1	Funcionalidad	7	4	28	4	28	4	28	4	28
2	Forma	8	3	24	3	24	3	24	4	32
3	Diseño	8	4	32	3	24	3	24	4	32
4	Fabricación	8	4	32	4	32	4	32	4	32
5	Montaje	6	4	24	3	18	2	12	4	24
6	Uso	7	4	28	4	28	4	28	4	28
7	Mantenimiento	9	4	36	3	27	3	27	4	36
8	Seguridad	9	4	36	4	36	4	36	4	36
Puntaje máximo Σp ó Σgp				240		217		211		260
Valor Técnico x1				0,967		0,875		0,85		1,0
Orden				1		2		3		

Prototipo a Diseñar

El proyecto preliminar seleccionado es el número 1, ya que cumple mejor con los criterios técnicos y económicos, ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..

Figura 22

Prototipo seleccionado.



Cálculos de fuerzas.

La finalidad de usar la férula es asegurar que el hueso esté en su lugar y protegerlo de golpes ocasionales y accidentes.

(SaludyalgoMas, 2012) nos menciona que el brazo completo tiene un 5% y el antebrazo junto con la mano es de 2.3% teniendo en cuenta y con los datos de peso calculamos la masa.

Tabla 10

Promedio de talla y pesos de las personas encuestadas.

EDAD	Sexo	Talla	Peso
(18 – 30)	Hombre	1,73	86,57
(18 – 30)	Mujer	1,57	57,29
(30 – 45)	Hombre	1,69	88,86
(30 – 45)	Mujer	1,53	60,57
(45 – 65)	Hombre	1,68	77,6
(45 - 65)	Mujer	1,56	51,63
PROMEDIO		1,63	70,42

Antebrazo y mano 2.3% 1.62

Teniendo en cuenta algunas situaciones cotidianas la posibilidad de sufrir una caída la férula tienes que resistir el golpe de la caída y golpes a paredes mesas intencionales por parte del usuario.

cuando una persona se cae todo el peso del cuerpo es el que genera la fuerza

$$F_c = m_c \times g$$

Donde:

F_c = fuerza de caída m_c = masa del cuerpo g = gravedad

$$F_c = 70.42 \times 9.81$$

$$F_c = 690.82 \text{ N}$$

Golpes puntuales en zonas de impacto contra esquinas por ejemplo mesas, paredes. Por ellos se analiza con la masa del antebrazo y con la velocidad con la que se mueve el antebrazo.

$$F_g = \sqrt{F_{gy}^2 + F_{gx}^2}$$

$$F_{gy}^2 = mg$$

$$F_{gy}^2 = ma$$

Donde:

F_g = Fuerza resultante del golpe

F_{gy} = Fuerzas de golpe en coordenada "Y"

F_{gx} = Fuerzas de golpe en coordenada "X"

m = masa del antebrazo con mano

g = aceleración de la gravedad

a = aceleración del movimiento del antebrazo

La Universidad Estatal de Wayne midió la velocidad de un golpe de box en 9.11 m/s por ello tomaremos una velocidad media de 4.5 m/s

Para hallar la aceleración de un golpe ocasional se tomará el tiempo en 1 segundo teniendo la fórmula

$$a = \frac{v_f - v_i}{t}$$

como un golpe parte del reposo tiene velocidad inicial 0, teniendo como aceleración 4.5 m/s²

$$F_{gy} = 1,62 * 9,81$$

$$F_{gy} = 15,89$$

$$F_{gx} = 1,62 * 4,5$$

$$F_{gx} = 7,29$$

$$F_g = \sqrt{15,89^2 + 7,9^2}$$

$$F_g = 17,745 \approx 18 \text{ N}$$

Criterio geométrico.

Las ortesis de yesos producidas y mediante una serie de aplicaciones de carga en el simulador de CAD 3D se obtendrá el espesor indicado del material de PLA y así tener igual de durabilidad que el yeso, en este diseño se seleccionará las características del material expuestas en la ficha técnica de la materia.

Figura 23

Propiedades mecánicas del PLA (Marca: Polymaker).

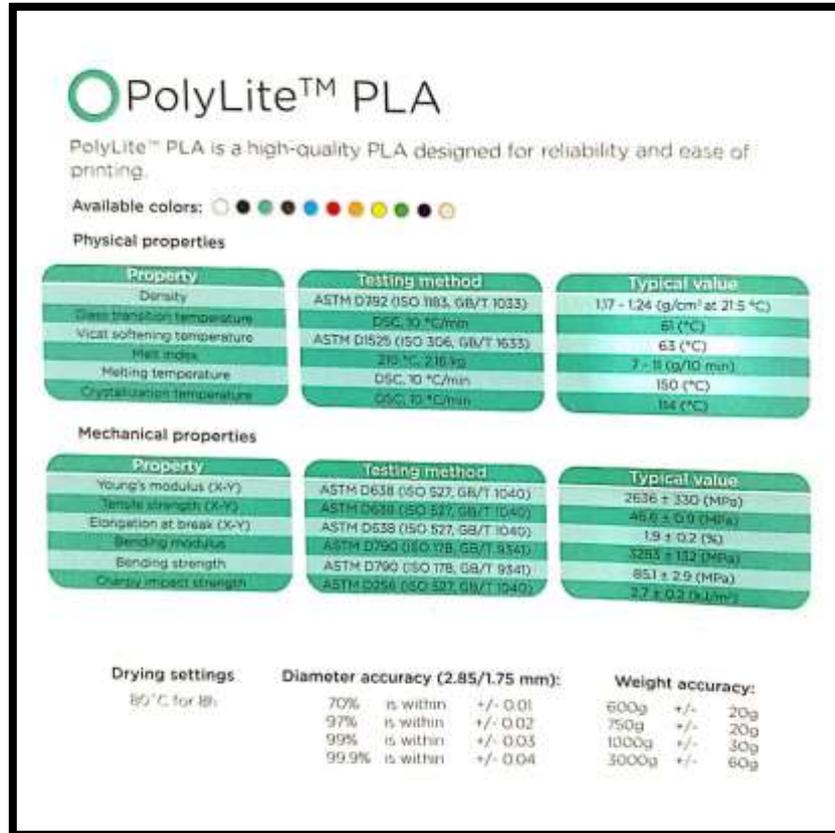


Figura 24

Férula en el antebrazo.

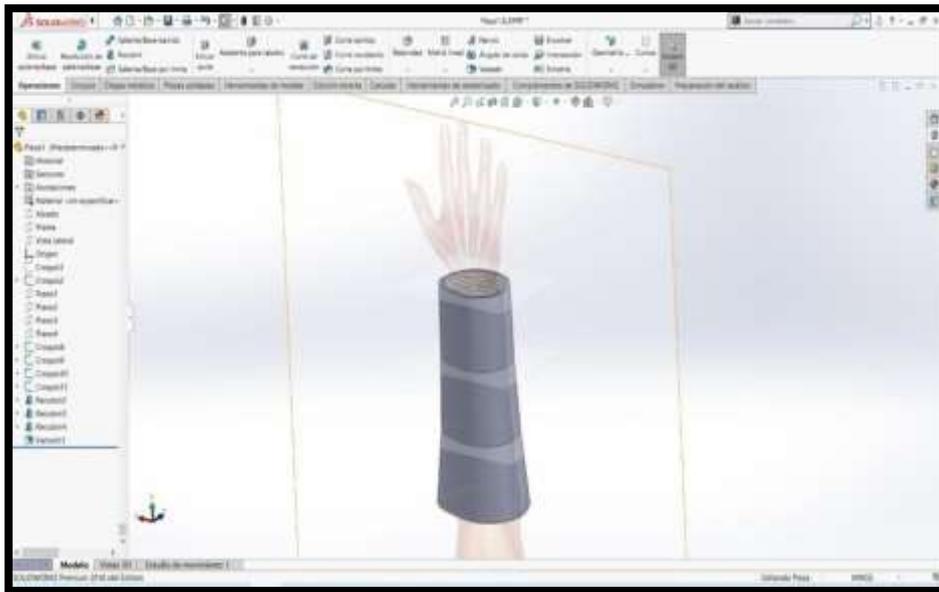
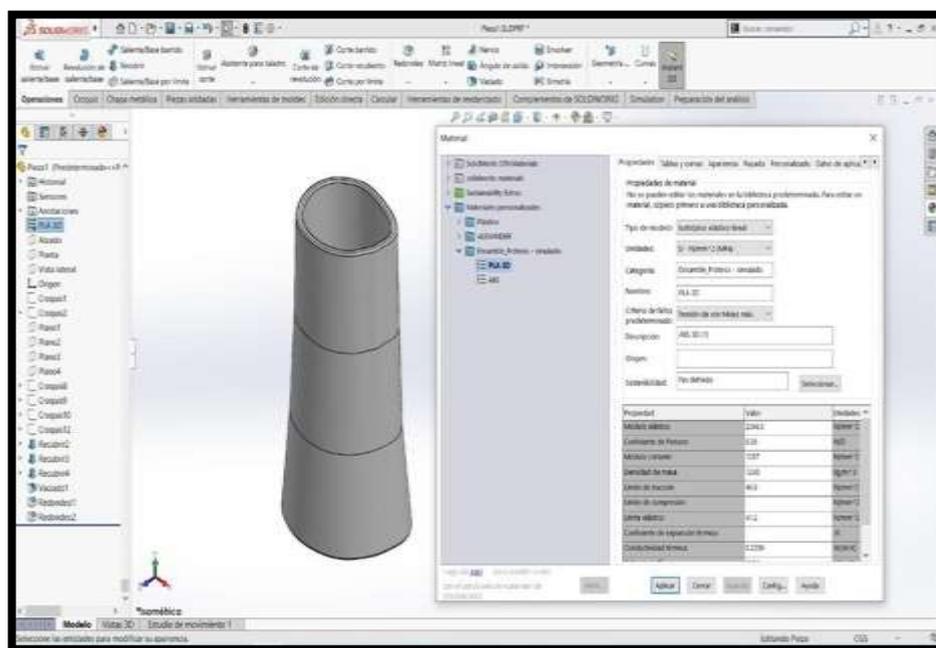


Figura 25

Material de la Férula.



Luego de tener el primer modelo, se tiene que tener en cuenta que uno de las dificultades de las férulas de yeso es que nos pueden mojar, no tiene ventilación

adecuada, tienden a dar mucho escozor, además si se desea recibir un control de revisión de la correcta reparación del hueso escayolado, es necesario romper la férula, hay que romper la escayola y nuevamente hacer otra férula de yeso. Pero mediante el uso del PLA como material se va a intentar mitigar en la medida de lo posible. En primera instancia si el yeso se moja pierde sus propiedades y dejará de ser rígido, lo hemos solucionado con la elección del material, ya que el plástico PLA y este se puede lavar sin problema alguno lo cual facilita en gran medida al usuario de la férula.

Inserción de agujeros

Teniendo en cuenta el gran inconveniente que da las férulas de yeso en cuanto a la picazón por el mismo hecho de no ser ventiladas y transpirables por lo que se propone insertar orificios a lo largo de la férula, estos pueden tener cualquier geometría.

Insertar estos agujeros permite la ventilación de la extremidad afectada, le da estética, reduce el material utilizado, por ende, el tiempo de fabricación y su costo, a cambio de una disminución en la resistencia de la férula por lo que en el siguiente ensayo con el programa de CAD 3D se va a agregar dichos orificios en el diseño y ver cómo afecta a las propiedades de la férula, también tenemos en cuenta que otras variables importantes resultaron el diámetro y número de perforaciones que realicemos.

Para todo se hará un análisis, variando el espesor de la férula y el número de orificios, así sabremos el efecto de dichas variaciones en la resistencia de la férula.

Simulación en software.

Se utilizó la simulación con el software de Elementos Finitos para determinar la tensión de impacto máximo, esfuerzo de fatiga máximo, factor de seguridad mínimo y desplazamientos máximos para las diferentes iteraciones de diámetro de impresión y densidad de impresión considerando que el límite elástico del PLA igual a 60 Mpa, ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Figura 26

Simulación de fuerzas (Von misses)

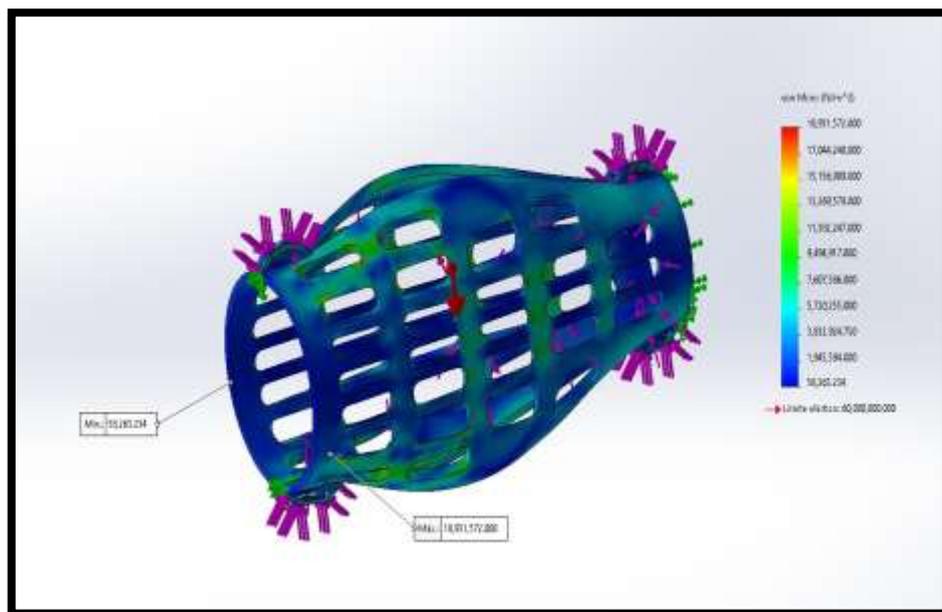
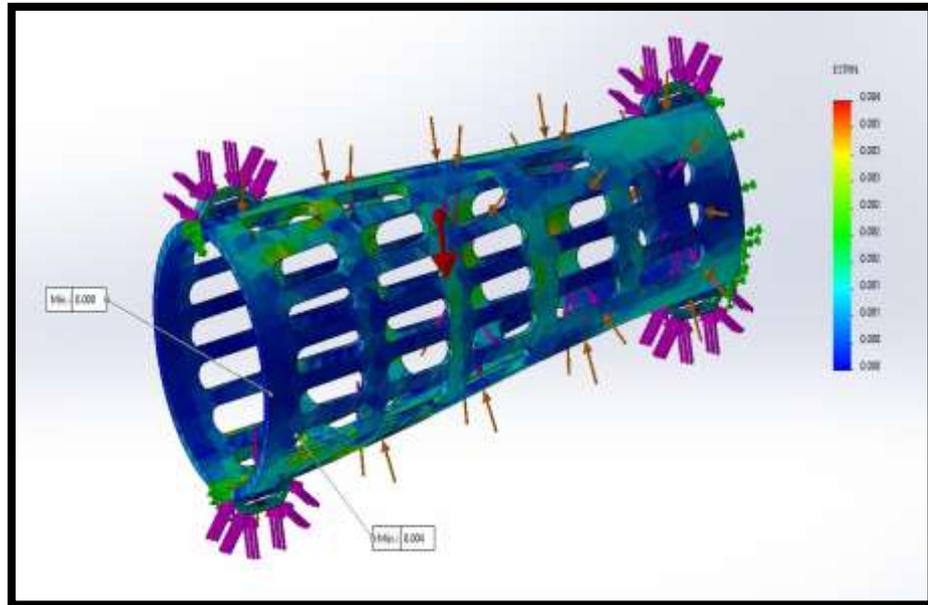


Figura 27

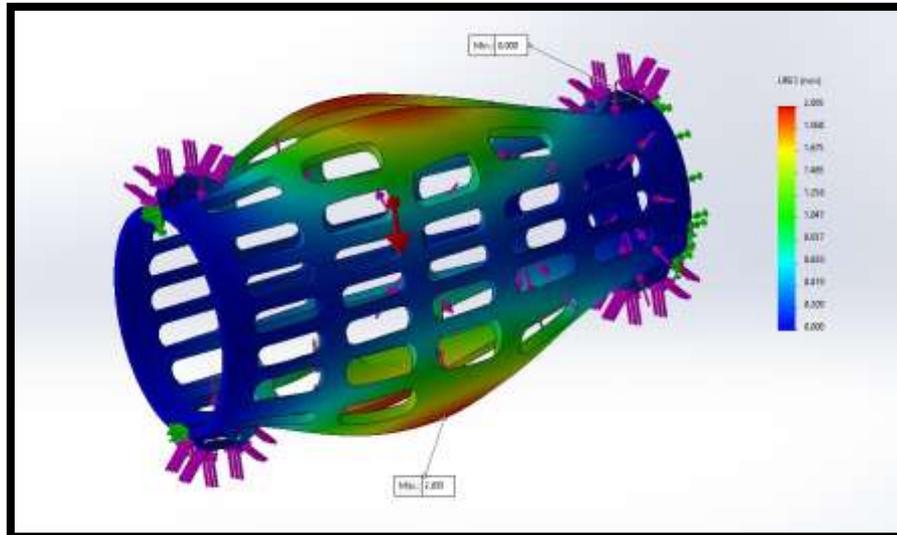
Simulación de fuerzas (Deformación unitaria)



Los resultados del Desplazamiento tenemos como máximo 2.093 mm y un mínimo de 0 mm

Figura 28

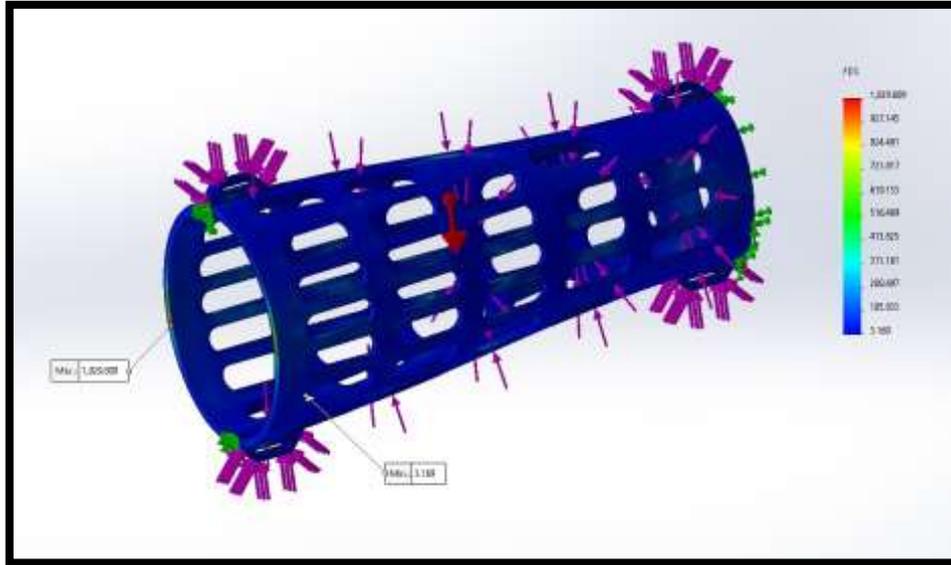
Simulación de fuerzas (Desplazamientos)



Los resultados del Factor de Seguridad tenemos como máximo 3.169 y un mínimo de 1029.809 teniendo como función la protección del cuerpo humano se tomará como mínimo de 3 de factor de seguridad

Figura 29

Simulación de fuerzas (Factor de seguridad)



Resultados paramétricos de resistencia de la férula:

Análisis de Impacto:

Para el análisis estático se consideró una velocidad de impacto media de 4,5m/s en un tiempo de caída de 1 segundo con una gravedad de 9,81 m/s² para impresiones con densidades de 25%,50%,75% y 100%; con diámetros de impresión de 1 a 10 mm, siendo los resultados los siguientes:

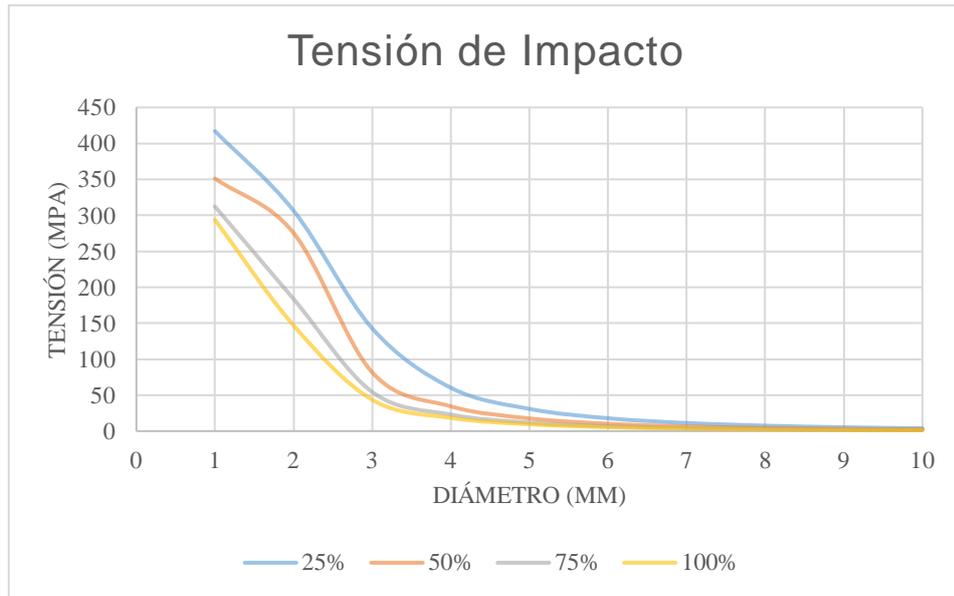
La tabla 11 y la gráfica 01 muestran el comportamiento de la tensión de impacto vinculado a la densidad de impresión y diámetro de impresión parametrizado al diseño de la férula. Según 3DPros [19], mencionan que: “la densidad de impresión entre 40 a 100 % para piezas de uso intensivo que deben soportar fuerzas significativas, o si la resistencia es el factor más importante por encima del costo, la mejor opción es un porcentaje de relleno más alto. Sin embargo, aumentar el porcentaje de relleno más allá del 60 % tiene un rendimiento

decreciente de la resistencia”. Considerando que el límite elástico del PLA es de 60 MPa se ha considerado la impresión con un diámetro de 4mm y 50% de densidad de impresión cuya tensión de impacto es de 34,43 MPa y se encuentra por debajo del límite elástico del material.

Tabla 11

Tensión de impacto (MPa) en función al diámetro de impresión y densidad de impresión.

Diámetro				
	25%	50%	75%	100%
Densidad				
1 mm	417,06MPa	351,21MPa	312,19MPa	293,82MPa
2 mm	306,45MPa	275,46MPa	183,64MPa	146,91MPa
3 mm	142,83MPa	81,62MPa	54,41MPa	43,53MPa
4 mm	60,26MPa	34,43MPa	22,95MPa	18,36MPa
5 mm	30,85MPa	17,63MPa	11,75MPa	9,40MPa
6 mm	17,85MPa	10,20MPa	6,80MPa	5,44MPa
7 mm	11,24MPa	6,42MPa	4,28MPa	3,43MPa
8 mm	7,53MPa	4,30MPa	2,87MPa	2,30MPa
9 mm	5,29MPa	3,02MPa	2,02MPa	1,61MPa
10 mm	3,86MPa	2,20MPa	1,47MPa	1,18MPa



Grafica 01: Comportamiento de la tensión de impacto

Para asegurar que nuestra férula soportará las cargas repetidas de impacto considerando un descuido de la persona que lo use, se realizó una simulación de fatiga teniendo como resultado de diversas iteraciones en la tabla 12 y gráfica 2 comprobando así que la impresión con un diámetro de 4mm y densidad del 50% tienen una tensión de fatiga de 43, 04 MPa; tensión que se encuentra 28% por debajo del límite elástico.

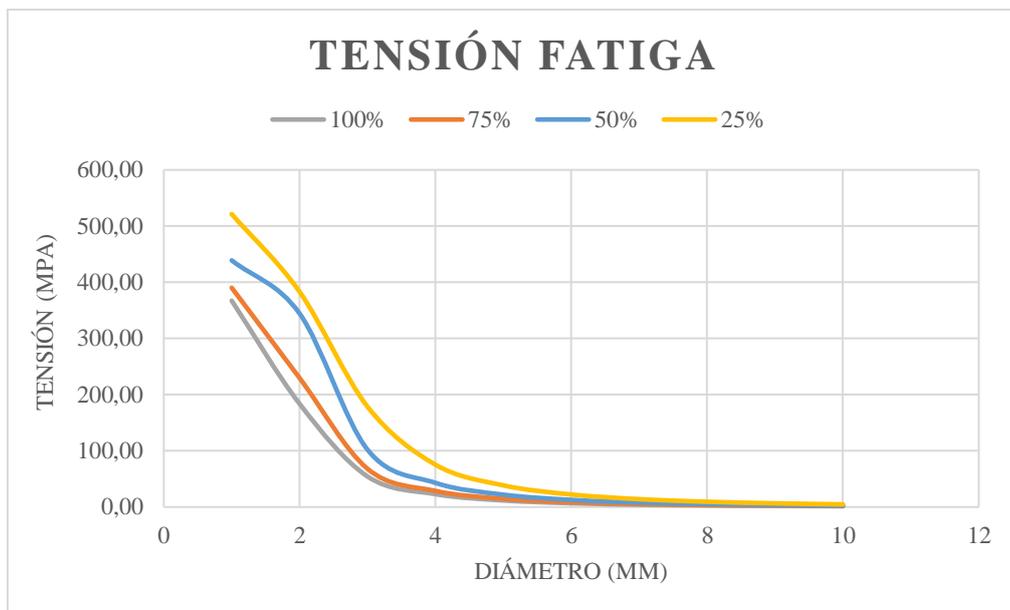
Tabla 12

Tensión de Fatiga (MPa) en función al diámetro de impresión y densidad de impresión.

Diámetro	25%	50%	75%	100%
-----------------	------------	------------	------------	-------------

Densidad

1 mm	521,33MPa	439,01MPa	390,23MPa	367,28MPa
2 mm	383,06MPa	344,32MPa	229,55MPa	183,64MPa
3 mm	178,54MPa	102,02MPa	68,01MPa	54,41MPa
4 mm	75,32MPa	43,04MPa	28,69MPa	22,95MPa
5 mm	38,56MPa	22,04MPa	14,69MPa	11,75MPa
6 mm	22,32MPa	12,75MPa	8,50MPa	6,80MPa
7 mm	14,05MPa	8,03MPa	5,35MPa	4,28MPa
8 mm	9,42MPa	5,38MPa	3,59MPa	2,87MPa
9 mm	6,61MPa	3,78MPa	2,52MPa	2,02MPa
10 mm	4,82MPa	2,75MPa	1,84MPa	1,47MPa



Grafica 02: Tensión de Fatiga

La tabla 13 muestra la iteración realizada para validar el factor de seguridad para la configuración de impresión de 4mm y 50% de densidad de impresión teniendo como resultado un factor de 1,39 que se encuentra por encima de 1,2 que es el factor recomendado según “Análisis y comparación de diseños de férulas de muñeca utilizando el método de elementos finitos: impresión tridimensional de múltiples materiales en comparación con la práctica típica existente con termoplásticos” [20].

Tabla 13

Factor de Seguridad para Fatiga en función al diámetro de impresión y densidad de impresión.

Diámetro				
	25%	50%	75%	100%
Densidad				
1 mm	0,12	0,14	0,15	0,16
2 mm	0,16	0,17	0,26	0,33
3 mm	0,34	0,59	0,88	1,10
4 mm	0,80	1,39	2,09	2,61
5 mm	1,56	2,72	4,08	5,11
6 mm	2,69	4,70	7,06	8,82
7 mm	4,27	7,47	11,21	14,01
8 mm	6,37	11,15	16,73	20,91
9 mm	9,07	15,88	23,82	29,77

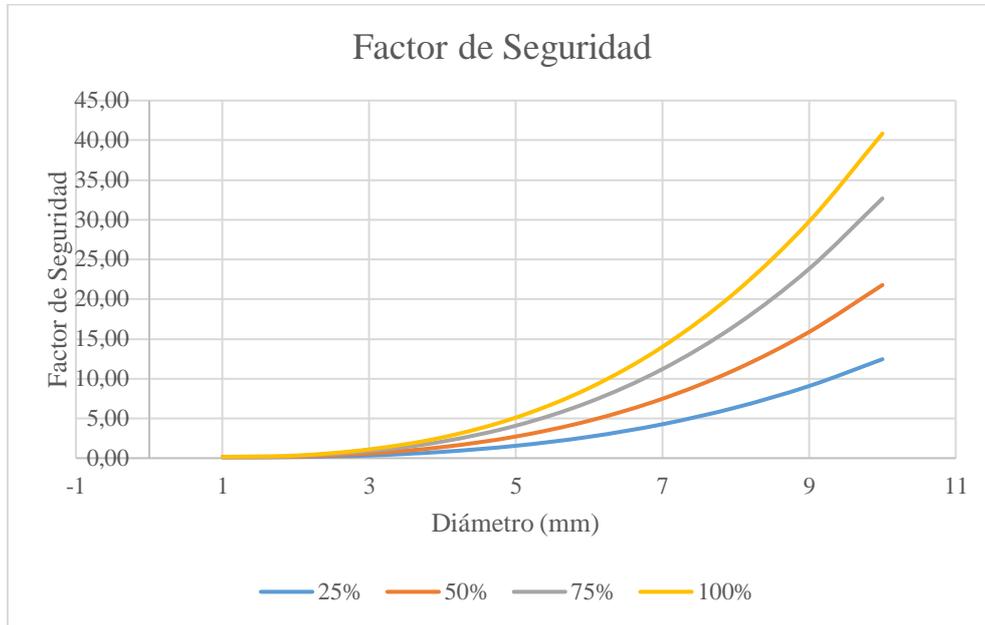
10 mm

12,45

21,78

32,67

40,84



Grafica 03: Factor de seguridad para fatiga

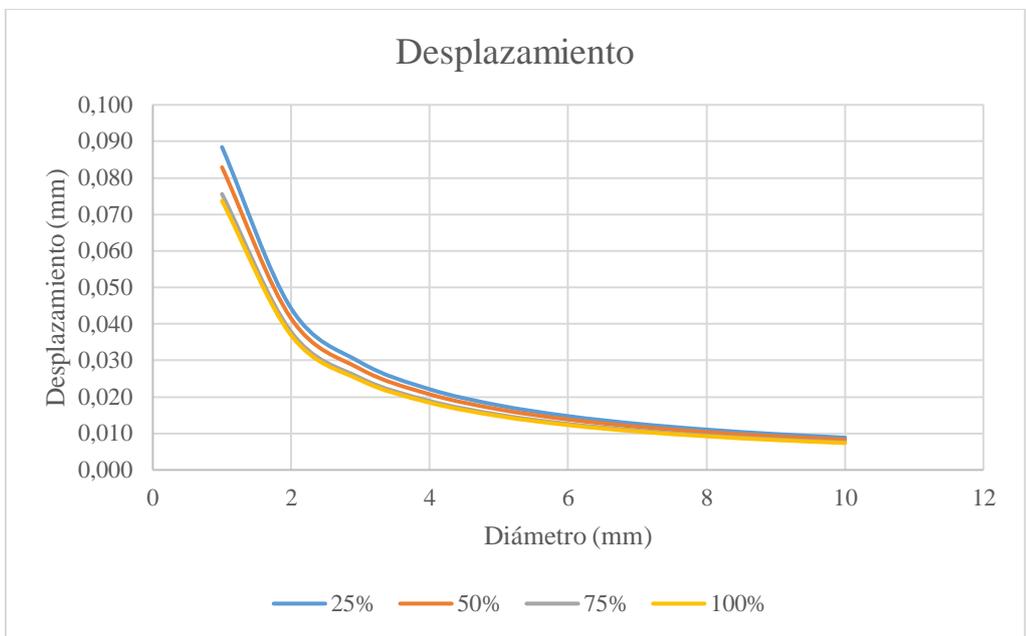
La tabla 14 y gráfica 4 muestra que el desplazamiento máximo que se presenta para la configuración de la férula con una impresión de 4mm y una densidad del 50% es de 0,021 mm; lo que se interpreta que la férula es lo suficientemente rígida.

Tabla 14

Desplazamiento (mm) en función al diámetro de impresión y densidad de impresión.

Diámetro	25%	50%	75%	100%
----------	-----	-----	-----	------

Densidad				
1 mm	0,088mm	0,083mm	0,076mm	0,074mm
2 mm	0,044mm	0,041mm	0,038mm	0,037mm
3 mm	0,029mm	0,028mm	0,025mm	0,025mm
4 mm	0,022mm	0,021mm	0,019mm	0,018mm
5 mm	0,018mm	0,017mm	0,015mm	0,015mm
6 mm	0,015mm	0,014mm	0,013mm	0,012mm
7 mm	0,013mm	0,012mm	0,011mm	0,011mm
8 mm	0,011mm	0,010mm	0,009mm	0,009mm
9 mm	0,010mm	0,009mm	0,008mm	0,008mm
10 mm	0,009mm	0,008mm	0,008mm	0,007mm



Grafica 04: Factor de seguridad para fatiga

El diseño de la férula cuenta con un espesor de 4 mm, donde la boquilla de la impresora es de 1 mm puesto que el diseño propone dos paredes en cada lado. La densidad de relleno propuesta y validada es del 50% con una configuración triangular obteniendo un peso de 100 g.

Cuadro comparativo de funcionalidad y costo entre el PLA y el yeso

En la actualidad para la creación de escayolas en impresión 3D, Se comienza del producto base que es el yeso natural, generalmente las férulas de yeso son de calidad muy agradable y de grano, con calidad superior del 87%. A inicios del siglo XIX se pensaba que férula era una mezcla de yeso con yeso espático, mezclado con agua de cola. Partiendo desde el punto vista acostumbrado la discrepancia entre yeso y la férula es su calidad en aljez y distinto granulometría (la escayola es más fina). Cuando el yeso tenga una calidad mayor del 70%, las férulas tendrían una calidad de pureza mayor del 90%. Las férulas se usan para tener modelos y moldes, tanto para afianzamiento de extremidades rotas o lesionadas como para la elaboración de cerámicas o esculturas.

En el cuadro de comparación de las características de yeso como se observa en la tabla se puede comenzar deducir que material se puede utilizar con el cual se hará el diseño de las férulas.

Tomaremos en cuenta para el diseño datos obtenidos por (Anchundia, 2021) de esta manera se verá el material a utilizar en el diseño.

Tabla 15

Propiedades mecánicas del Yeso ortopédico. (Bordallo, Diseño y Ensayo de Férulas Personalizadas Mediante, 2017).

Material: Yeso ortopédico

Fórmula química: CaSO ₄ ·2(H ₂ O) Sulfato de Calcio deshidratado beta				
Densidad	Dureza	Resistencia Tracción	Resistencia Compresión	Módulo de Young
2,63 gr/cm ³	2 Mohs	7,7 MPa	15 MPa	0,986 MPa

Tabla 16

Comparación entre una Férula de PLA y de yeso ortopédico.

Características	Modelos		Comparación
	Yeso	PLA Vertical	
Módulo de Young	0,986 MPa	2636 ± 330 MPa	PLA es 99,71% más resistente
Espesor	8-10 mm	4 mm	PLA es 64% con menor espesor
Densidad	2,96 g/cm ³	1,24 g/cm ³	PLA es 58,1% menos denso
Peso	950 g	100 g	PLA es 77,77% menos pesado

Costo	100 a 450 soles	40 a 90 soles	PLA es 80% menos costoso
Tiempo De Fabricación	20 min (necesidad de operario y paciente)	5 horas (impresión 3D) al 50%	El tiempo de producción por unidad del PLA es del 48,66%
Comodidad Usuario	No reutilizable - No se puede mojar	Reutilizable - Se puede mojar	El PLA es un material reutilizable
Adaptabilidad	Molde se ajusta a posición hueso	Modelo 3D se ajusta a la morfología del antebrazo.	Se requiere de un escáner para la precisión de producción.

3.2 Discusión:

El diseño propuesto validado para una densidad de impresión al 50% para este tipo de aplicaciones se encuentra dentro del rango sugerido por 3DPros [19], mencionan que: “la densidad de impresión entre 40 a 100 % para piezas de uso intensivo que deben soportar fuerzas significativas, o si la resistencia es el factor más importante por encima del costo, la mejor opción es un porcentaje de relleno más alto. Sin embargo, aumentar el porcentaje de relleno más allá del 60 % tiene un rendimiento decreciente de la resistencia”.

La configuración geométrica de la propuesta de la férula la cual siguió el procedimiento de diseño de Jianyou Li [21] en su investigación: “Sistema de personalización rápida para férulas impresas en 3D utilizando una técnica de modelado programable: un enfoque práctico”, dio como resultado respiraderos mínimos aceptables para estas aplicaciones.

Los valores de los esfuerzos, desplazamientos y factor de seguridad paramétricos para la configuración de densidad seleccionada al 50% se encuentran dentro de lo establecido según la investigación experimental de [20] y [22]

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

El diseño de la férula usando el material PLA el cual se imprime en 3D reduce el tiempo general desde su creación hasta el montaje en el antebrazo así mismo es más fácil el mantenimiento con su sistema de montaje mediante ganchos los cuales permiten al usuario poder sacarse y ponerse la férula con mayor facilidad.

Teniendo como material el PLA que es un plástico la férula es más liviana en comparación que el yeso y así mismo es más estética por sus acabados más refinados y uniformes, teniendo en cuenta el PET reciclado este tiene una mayor temperatura para la impresión elevando un poco el costo por consumo eléctrico e impresoras más especializadas.

Siendo el PLA un material más uniforme en su superficie es más estable que el mismo yeso, al enfrentar golpes en toda la superficie de la férula.

Al usar PLA se pudo poner un sistema de ventilación mediante agujeros los cuales permiten una mejor respiración de la piel reduciendo la transpiración del antebrazo, sin afectar la resistencia de la férula o su montaje.

Actualmente la tecnología de la impresión 3D es más económica y accesible para todos reduce el costo de fabricación y reciclaje de las férulas puesto que la misma férula se utilizaría para otro paciente con las mismas o similares características.

4.2. Recomendaciones

Aunque el diseño de la férula facilita el mantenimiento este se tiene que hacer con cuidado para no hacer más daño por fallas humanas a la hora de retirarlo o ponerlo en el antebrazo

El PLA es más liviano por lo tanto es más fácil que el usuario se olvide que lo lleva puesto por lo tanto tienes que estar más consciente que lleva una férula y tener cuidado con sus actividades diarias

La férula con PLA es más uniforme en su superficie por eso protege más al cuerpo, pero eso no quiere decir que elimine las ondas o vibraciones que produce un golpe.

El sistema de ventilación no afecta nada en la resistencia de la férula, pero no evita que el antebrazo sea lastimado por objetos punzo cortantes ni líquidos calientes.

REFERENCIAS.

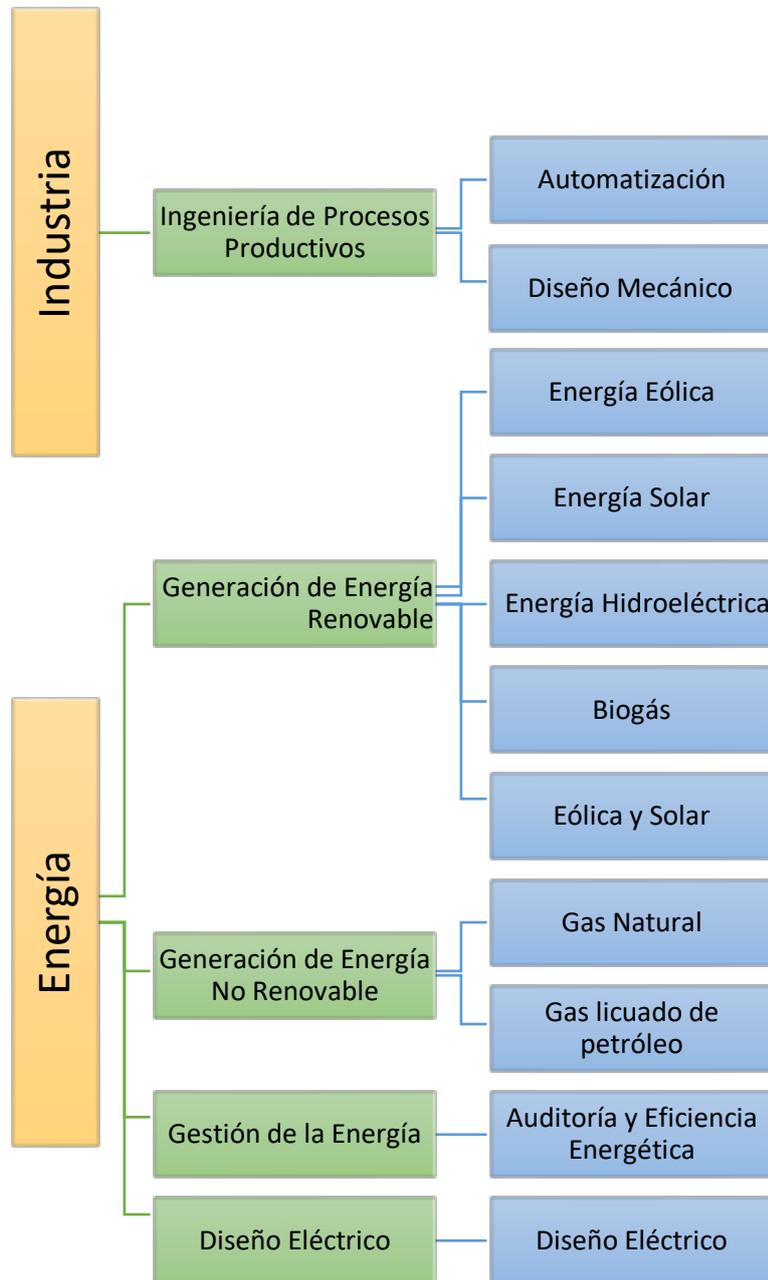
- [1] M. F. Bordallo, «Diseño y Ensayo de Férulas Personalizadas Mediante Impresión 3D,» Dep. Ingeniería Mecánica y Fabricación Escuela Técnica Superior de Ingeniería Universidad de Sevilla, sevilla- españa, 2017.
- [2] A. Ortega Lázaro, «Desarrollo de férulas para impresión 3D:,» UNIVERSIDAD DE VALLADOLID, españa , 2019.
- [3] L. Larriba, «Las férulas en 3D permiten recuperarse de una fractura sin renunciar al verano,» <https://www.europapress.es/comunicados/sociedad-00909/noticia-comunicado-ferulas-3d-permiten-recuperarse-fractura-renunciar-verano-20160523095416.html>, 2016.
- [4] J. Valentín-Gamazo García, «Desarrollo de férulas mediante impresión 3D: comportamiento mecánico del material y prototipado,» UNIVERSIDAD DE VALLADOLID , españa, 07/2019.
- [5] S. Nature, «Feasibility study applying a parametric model as the design generator for 3D– printed orthosis for fracture immobilization,» 2017.
- [6] E. M. M. J. Requejo Arranz, «DISEÑO Y DESARROLLO DE UNA FÉRULA DE MIEMBRO SUPERIOR ESCANEADA E IMPRESA EN 3D,» UNIVERSIDAD DE VALLADOLID , ESPAÑA, 2019.
- [7] D. ESPLUGUES CALABUIG, «MANUFACTURA DE FERULAS PARA EL TRATAMIENTO ARTRITIS DE MUÑECA APLICANDO TECNOLOGIA DE IMPRESION 3D,» UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA, ECUADOR, 2019.
- [8] J. L. Y. H. TANAKA, Estudio de viabilidad aplicando un modelo paramétrico como generador de diseño para órtesis impresas en 3D para la inmovilización de fracturas, p. 15, 2017.
- [9] M. M. P. C. I. G. Angus Fitzpatrick, «Escuela de Ingeniería, 75 Pigdons Rd, Waurn Ponds, Geelong, Vic 3216, Australia,» Optimización del diseño de una férula termoplástica, p. 11, 2017.
- [10] VARIOS, «DISEÑO DE DISPOSITIVO DE FREHABILITACION Y ORTESIS.,» UNIVERSIDAD DE LOS ANDES CONSEJO DE PUBLICACIONES PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR - SEDE IBARRA UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA CENTRO DE PUBLICACIONES PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR, ECUADOR, 2017.
- [11] H. G. LEYRE, DISEÑO Y DESARROLLO DE UNA FÉRULA DE MIEMBRO SUPERIOR ESCANEADA E IMPRESA EN 3D, Valladolid: UNIVERSIDAD DE VALLADOLID, 2019.

- [12] A. A. R. Tantas, «DISEÑO, FABRICACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN DISPOSITIVO ROBÓTICO BASADO EN ACTUADORES BLANDOS PARA REHABILITACIÓN DE LA MANO,» UNIVERSIDAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA UTEC, Lima -Perú, 2016.
- [13] M. M. B. CARVALLO, «MALKY: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN,» PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ, Lima., 2018.
- [14] B. Y. BACKERIS, «RAPID PROTOTYPING IN CARDIAC DISEASE,» Kanwal Majeed Farooqi, MD, EE.UU, 2017.
- [15] M. D. R. F. R. E. y. M. R. M. (. Mary Vergara Paredes, «Diseño de dispositivos de rehabilitación y órtesi,» PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR, ECUADOR, 2017.
- [16] M. BUCCO, «LA IMPRESION 3D Y SU APLICACION EN LOS SERVICIOS MEDICOS(PROTESIS, FARMACOS, ORGANOS),» UNIVERSIDAD DE SAN ANDRES, ARGENTINA
(file:///C:/Users/EQUIPO/Downloads/[P][W]%20T.M.%20Ges.%20Bucco,%20Mariano.pdf), 2016.
- [17] J. M. B. Y. ANTHON, «Drug and Medical Device Product Liability Deskbook,» NEW YORK, 2006.
- [18] A. G. L. EDUARDO, «MANUFACTURA DE FERULAS PARA EL TRATAMIENTO DE LA ARTRITIS DE MUÑECA APLICANDO TECNOLOGIA DE IMPRESIONES 3D.,» UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS , ECUADOR, 2019.
- [19] Alabama, Kyle y Daniel, «3DPros,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.3d-pros.com/choosing-infill-for-3d-printed-parts>.
- [20] S. K. A. M. P. R. J. B. a. R. I. c. Aitor Cazon, «Analysis and comparison of wrist splint designs using the Finite Element,» PubliMed, 2017.
- [21] J. L. & H. Tanaka, «Rapid customization system for 3D-printed splint using programmable modeling technique – a practical approach,» 2018.
- [22] M. V. J. P. M. I. B. G. C. E. M. M. J. C. C. R. Paulo Reis, «Resting hand splint model from topology optimization to be produced by additive manufacturing,» Emerald insigth.

ANEXOS

Anexo 1: Mapa de Investigación

Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Universidad Señor de Sipán (USS)



Anexo 2: Código de Ética del Colegio de Ingenieros del Perú (CIP)



CÓDIGO DE ETICA DEL CIP

**APROBADO EN LA III SESIÓN ORDINARIA DEL CONGRESO NACIONAL DE CONSEJOS
DEPARTAMENTALES DEL PERÍODO 1998 - 1999
EN LA CIUDAD DE TACNA 22, 23 Y 24 ABRIL 1999**

Anexo 3: Código de Ética de Investigación de la USS



www.uss.edu.pe

CÓDIGO DE ÉTICA DE INVESTIGACIÓN DE LA USS

VERSIÓN 03

RATIFICADO POR ACUERDO DE CONSEJO UNIVERSITARIO CON RESOLUCIÓN
RECTORAL N° 0851-2017/USS

CHICLAYO - PERÚ

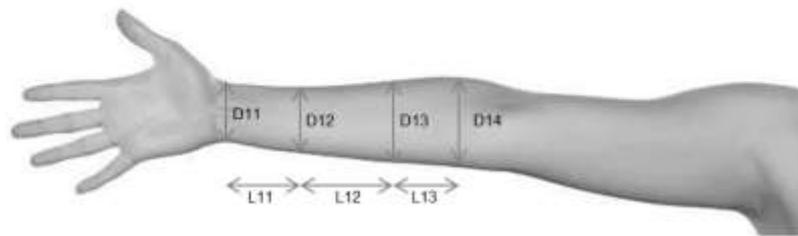
Versión: 03	Código: VRI-CE	F. Implementación:	Página 1 de 29
Elaborado por: Dirección de Investigación	Revisado por: Planificación y Desarrollo Institucional – Asesoría Legal		Ratificado con Resolución Rectoral N° 0851- 2017/USS

Anexo 4: Encuesta

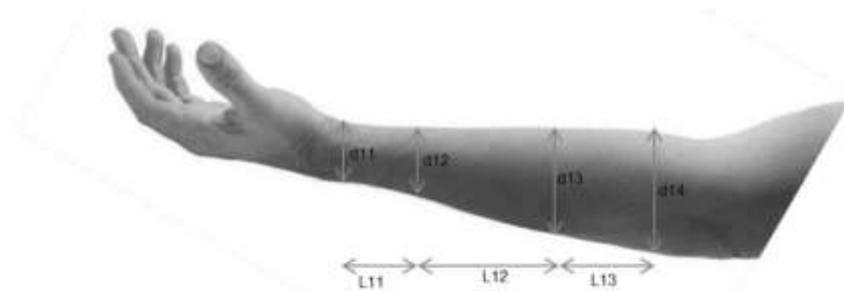


FICHA DE OBSERVACION ANTROPOMÉTRICA

Sexo: Masculino Femenino
Edad: 18 – 30 años 30 – 45 años 45 – 65 años
Talla:
Peso:



L11: L12: L13: LT:
D11: D12: D13: D14:



d11: d12: d13: d14:

Peso de la extremidad:

Anexo 5: Proforma de Férula impresa en 3D por ARQUIT3D

	ARQUIT3D 71872418 Sargento Lores #268 Urb. Quilones 948916325 cfernandez.arquit3d@gmail.com	<h1 style="color: red;">FACTURA PROFORMA</h1>
		Fecha 21.03.2022
		N° de factura 100001

<Condiciones de pago (vencidas en el recibo, vencidas en 60 días)>

Cliente	Envíe a
Gonzales Pérez José Albert	-
-	-
-	-

Descripción	Unidades	Precio Unitario	Precio
Férula – Material: PLA Polytterra – Dimensiones: 114.3x88.5x250 mm*3	1	40.00	33.90
Férula – Material: ABS Polylite – Dimensiones: 114.3x88.5x250 mm*3	1	45.00	38.14
			0.00
			0.00
			0.00
			0.00
			0.00

Observaciones / Instrucciones de pago:

Total parcial	72.04
Descuento	0.00
Subtotal menos descuento	72.04
IVA (Opcional en las proformas)	18.00%
Total impuestos	12.96
Envío	0.00
TOTAL FACTURA	S/.85.00