



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**VIABILIDAD TÉCNICA DE AUTOMATIZACIÓN Y USO DE IMPRESIÓN 3D EN LA
FABRICACIÓN DE ÓRTESIS EN TELETÓN SAN PEDRO SULA.**

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO:

INGENIERO EN BIOMÉDICA

PRESENTADO POR:

21811315 HÉCTOR ANDRÉ VELÁSQUEZ TABORA

21911191 FÉLIX GUILLERMO GUILLÉN GUEVARA

ASESOR METODOLÓGICO: KARLA REYES

CAMPUS: SAN PEDRO SULA

OCTUBRE, 2023

AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro sincero agradecimiento a todas las personas que contribuyeron significativamente en la realización de esta tesis de ingeniería biomédica. Sus valiosas aportaciones, apoyo y orientación fueron fundamentales para completar este trabajo con éxito.

En primer lugar, agradecemos a nuestras familias por su amor incondicional, apoyo emocional y motivación constante. Su fe en nosotros nos ha impulsado a alcanzar nuestras metas.

Agradecemos a nuestros asesores de tesis, Ing. Karla Reyes e Ing. Kevin Muñoz, por su apoyo constante, paciencia y sabiduría en la dirección de este proyecto. Sus valiosos consejos y conocimientos técnicos fueron importantes para el desarrollo exitoso de este proyecto de investigación.

Mostramos nuestro agradecimiento a la Ing. Reyna Valle por siempre apoyarnos y no solo brindarnos el conocimiento técnico, sino que también fomentar un ambiente de aprendizaje de respeto mutuo entre sus estudiantes. Su apoyo y su disposición para escuchar nuestras inquietudes y aspiraciones han sido de mucha ayuda.

Extendemos nuestro agradecimiento a la institución Teletón por permitirnos realizar los estudios en su laboratorio de ortesis y prótesis. Su apoyo facilitó significativamente nuestra investigación.

También queremos reconocer y agradecer a Héctor Muñoz por su ayuda en la realización de los prototipos de ortesis impresos en 3D. Su experiencia y colaboración fueron fundamentales para el éxito de esta parte del proyecto.

- Héctor Velásquez y Félix Guillén

RESUMEN EJECUTIVO

En este proyecto de investigación, se ha llevado a cabo un estudio en el laboratorio de prótesis y órtesis del Centro de Rehabilitación Integral de la Teletón San Pedro Sula para analizar el proceso de elaboración de órtesis y evaluar la viabilidad de la automatización y el uso de la impresión 3D (I3D) en la fabricación de órtesis con el fin de mejorar los tiempos de producción y agilizar el proceso de entrega de los dispositivos ortopédicos debido a que generan un impacto significativo en la rehabilitación y calidad de vida de los pacientes. Se realizó un estudio de flujo de trabajo y tiempo de elaboración de las órtesis de tobillo pie (AFO) en el método actual. Se evaluó el factor económico de la fabricación actual en comparación con la fabricación utilizando I3D. También se llevó a cabo una prueba de impresión de piezas como parte de la evaluación de la viabilidad técnica de la I3D en la fabricación de órtesis teniendo resultados positivos en cuanto a la calidad de las impresiones. Concluyendo que la viabilidad técnica es factible debido al ahorro económico y reducción de tiempos de fabricación que se lograrán con el método de impresión 3D.

Palabras clave: *AFO, calidad de vida, dispositivos ortopédicos, simulación.*

ABSTRACT

In this research project, a study has been conducted at the Prosthetics and Orthotics Laboratory of the Centro de Rehabilitación Integral of Teletón San Pedro Sula to analyze the process of orthosis fabrication and evaluate the feasibility of automation and the use of 3D printing in orthosis manufacturing, in order to improve production times and streamline the delivery process of orthopedic devices, as they have a significant impact on the rehabilitation and quality of life of patients. A workflow and fabrication time study will be conducted for ankle-foot orthoses (AFO) and splints using the current method. The economic factors of the current manufacturing process will be evaluated in comparison to manufacturing using 3D printing. A printing test of parts will also be conducted as part of the evaluation of the feasibility of 3D printing in orthosis manufacturing. Concluding that technical feasibility is feasible due to the economic savings and reduction of manufacturing times that will be achieved with the 3D printing method.

Keywords: *AFO, orthopedic devices, quality of life, simulation.*

ÍNDICE DE CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
2.1. Precedentes del Problema	2
2.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	3
2.3. JUSTIFICACIÓN.....	3
2.4. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.....	3
2.4.1. Pregunta General	4
2.4.2. PREGUNTAS ESPECÍFICAS	4
2.5. OBJETIVOS	4
2.5.1. OBJETIVO GENERAL	4
2.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
III. MARCO TEÓRICO	5
3.1. ANÁLISIS DEL MACROENTORNO.....	5
3.1.1. AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS EN EL ÁMBITO DE LA SALUD Y LA REHABILITACIÓN.....	5
3.1.1.1. Automatización	5
3.1.1.2. Ventajas de la automatización en la fabricación de prótesis y órtesis.....	6
3.1.1.2.1 Eficiencia	7
3.1.1.2.2 Mayor precisión	7
3.1.1.2.3 Mejora la productividad.....	7
3.1.1.2.4 Reducción de costos	7

3.1.1.2.5	Reducción de participación humana.....	7
3.1.2.	IMPRESIÓN 3D EN EL ÁMBITO DE LA SALUD Y LA REHABILITACIÓN.....	8
3.1.2.1.	Impresión 3D (I3D).....	8
3.1.3.	VENTAJAS DE LA IMPRESIÓN 3D EN LA FABRICACIÓN DE PRÓTESIS Y ÓRTESIS.....	9
3.1.3.1.	Producción eficiente.....	9
3.1.3.2.	Personalización.....	9
3.1.4.	EVALUACIÓN DE LA VIABILIDAD DE LA AUTOMATIZACIÓN Y EL USO DE IMPRESIÓN 3D EN LA FABRICACIÓN DE ÓRTESIS.....	9
3.1.5.	REDUCCIÓN DE TIEMPOS Y MEJORA EN LA EFICIENCIA MEDIANTE LA AUTOMATIZACIÓN.....	9
3.1.5.1.	Reducción de tiempos de fabricación	10
3.1.5.2.	Eliminación de procesos manuales.....	10
3.1.5.3.	Optimización del uso de materiales.....	10
3.1.5.4.	Incremento de la capacidad de producción.....	10
3.1.6.	ESCÁNER 3D	10
3.1.6.1.	Tecnologías de escáner 3D.....	11
3.1.6.1.1	En contacto con el objeto	11
3.1.6.1.2	Escáner laser 3D	11
3.1.6.1.3	Escáner de luz estructurada.....	12
3.1.6.1.4	Holografía conoscópica	13
3.1.6.1.5	Escáner basado en el tiempo de vuelo	13
3.1.6.1.6	Escáner de medida de fase.....	14
3.1.7.	TIPOS DE IMPRESORAS 3D	14

3.1.7.1.1	Estereolitografía (SLA)	15
3.1.7.1.2	Sinterizado Selectivo por Láser (SLS)	15
3.1.7.1.3	Fabricación mediante balística de partículas (BPM).....	16
3.1.7.2.	Impresoras 3D por inyección	17
3.1.7.2.1	Impresora polyjet	17
3.1.7.2.2	Multi Jet Modelling (MJM).....	18
3.1.7.3.	Tecnologías de Deposición Material	18
3.1.7.3.1	Fused deposition modeling (fmd).....	18
3.1.8.	MATERIALES UTILIZADOS EN LA IMPRESIÓN 3D DE PRÓTESIS Y ÓRTESIS.....	19
3.1.8.1.	Termoplástico	19
3.1.8.1.1	ABS.....	19
3.1.8.1.2	PLA	20
3.1.8.1.3	PETG (tereftalato de polietileno glicol modificado)	20
3.1.8.1.4	Nylon.....	20
3.1.9.	PARÁMETROS DE IMPRESIÓN.....	20
3.1.9.1.	Altura de Capa	20
3.1.9.2.	Diámetro del extrusor	21
3.1.9.3.	Patrón de relleno	21
3.1.9.4.	Espesor de Pared	22
3.1.9.5.	Densidad de relleno	22
3.1.9.6.	Temperatura de impresión	23
3.1.9.7.	Temperatura de la base	23

3.1.10. CONSIDERACIONES ÉTICAS Y REGULATORIAS EN LA IMPLEMENTACIÓN DE LA AUTOMATIZACIÓN Y LA IMPRESIÓN 3D EN LA FABRICACIÓN DE ÓRTESIS.....	24
3.1.10.1. Normativa de aplicación general	24
3.1.10.2. Normativa Aplicada en Prótesis y Órtesis.....	25
3.1.10.3. Normativa aplicada a los Productos Sanitarios	25
3.2. ANÁLISIS DE MICROENTORNO.....	26
3.2.1. TIPOS DE ÓRTESIS	26
3.2.1.1. Órtesis de miembro inferior	27
3.2.1.1.1 Órtesis de tobillo y pie	27
3.2.1.1.2 Órtesis de rodilla.....	27
3.2.1.2. Órtesis de columna.....	27
3.2.1.3. Órtesis de miembro superior	28
3.2.2. IDENTIFICACIÓN DE LOS DESAFÍOS Y LIMITACIONES DEL PROCESO ACTUAL.....	28
3.2.2.1. Limitaciones en términos de precisión y ajustes de las órtesis.....	28
3.2.2.1.1 Diseño Digital.....	28
3.2.2.1.2 Limitaciones Geométricas	28
3.2.2.1.3 Suavizado	29
3.2.2.1.4 Tamaño de la impresora.....	29
3.2.2.1.5 Materiales.....	29
3.2.2.2. Costos elevados asociados a la mano de obra y materiales en impresión 3D.....	29
3.2.2.3. Importancia de reducir el tiempo de espera para la entrega de las órtesis.....	30

3.2.3.	EMPRESAS DE FABRICACIÓN DE ÓRTESIS EN HONDURAS	31
3.2.3.1.	Iniciativas gubernamentales o sin fines de lucro centradas en tecnologías médicas y dispositivos ortopédicos	31
3.2.3.1.1	Teletón.....	31
3.2.3.1.2	CAMO.....	32
3.2.3.1.3	Fundación vida nueva.....	32
3.2.3.2.	Clínicas y laboratorios de órtesis y prótesis lucrativas en Honduras.....	33
3.2.3.2.1	Ortoprotésica HN	33
3.2.3.2.2	NEOTEC	33
3.2.3.3.	Empresas de tecnologías y fabricación con enfoque en impresión 3D y personalización	34
3.2.3.3.1	GUALA manos en acción	34
3.2.3.3.2	Secretaria Nacional de ciencia, tecnología e innovación (SENACIT).34	
3.2.3.3.3	Calzadora Ortopédica Liliam.....	35

IV. METODOLOGÍA36

4.1. ENFOQUE36

4.2. VARIABLES DE INVESTIGACIÓN36

4.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS39

4.3.1. IMPRESIÓN 3D.....39

4.3.2. SOFTWARE MEDIACE3D40

4.3.3. SOFTWARE ULTIMAKER CURA40

4.4. MATERIALES.....40

4.5. METODOLOGÍA DE ESTUDIO41

4.6. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	41
V. RESULTADOS Y ANÁLISIS	42
5.1. PERCEPCIONES Y EXPERIENCIAS DE LOS ORTOPROTESISTAS.....	42
5.2. ANÁLISIS DE LOS MÉTODOS TRADICIONALES DE TELETÓN SAN PEDRO SULA.....	42
5.2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO TRADICIONAL.....	43
5.2.1.1. Pasos de fabricación.....	43
5.2.1.1.1 Vaciado.....	43
5.2.1.1.2 Modificado.....	44
5.2.1.1.3 Plastificado.....	44
5.2.1.1.4 Corte de molde plastificado.....	45
5.2.1.1.5 Pulido de pieza.....	46
5.3. ANÁLISIS DE IMPRESIÓN 3D	46
5.4. ANÁLISIS DE COSTOS Y EFICIENCIA	48
5.5. CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN Y TIEMPOS DE ENTREGA	50
5.6. CALIDAD Y DURABILIDAD DE LAS ÓRTESIS IMPRESAS EN 3D.....	53
5.6.1. ANÁLISIS DE MÉTRICAS.....	53
5.7. PROPUESTA DE PROYECTO.....	54
5.7.1. SOFTWARE (MEDIACE3D)	55
5.7.2. ESCÁNER (HEALTH CARE PARTNER 3D SCANNER).....	56
5.7.3. IMPRESORA 3D (ENDER-5 PLUS).....	57
5.7.4. FILAMENTO.....	58
5.8. PLAN DE INVERSIÓN Y ADQUISICIONES.....	59

5.8.1. COMPARACIÓN DE PRODUCCIÓN E INVERSIÓN DE MÉTODO TRADICIONAL E IMPRESIÓN 3D.....	62
VI. DISCUSIÓN	64
6.1. COMPARACIÓN DE RESULTADOS CON INVESTIGACIONES PREVIAS.....	65
6.2. LIMITACIONES	67
VII. CONCLUSIONES	68
VIII. RECOMENDACIONES	69
IX. BIBLIOGRAFÍA	70
X. ANEXOS	75

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 - La automatización: una convergencia de tecnologías.....	6
Ilustración 2 - Impresión 3D en la industria médica.....	8
Ilustración 3 - Esquema de la tecnología de triangulación láser.....	12
Ilustración 4 - Esquema de la tecnología de luz estructurada.	12
Ilustración 5 - Principio de funcionamiento de la holografía conoscópica	13
Ilustración 6 – Funcionamiento esquemático de un escáner basado en tiempo de vuelo.....	14
Ilustración 7 - Proceso de impresión 3D mediante estereolitografía (SLA).....	15
Ilustración 8 - Esquema descriptivo de una máquina SLS	16
Ilustración 9 - Esquema descriptivo de una máquina BPM.....	17
Ilustración 10 - Esquema descriptivo de una máquina Polyjet	17
Ilustración 11 - Esquema descriptivo de una máquina Multi Jet Modelling (MJM).....	18
Ilustración 12 - Esquema descriptivo de una máquina FMD	19
Ilustración 13 - Tipos de patrones de relleno.....	22
Ilustración 14 - Tamaños de espesor de paredes.....	22
Ilustración 15 - Representación del porcentaje de relleno de una pieza impresa.....	23
Ilustración 16 - Logo Teletón.....	31
Ilustración 17 - Logo CAMO.....	32
Ilustración 18 - Logo Fundación Vida Nueva.....	32
Ilustración 19 - Logo OrtoprotésiCA.....	33
Ilustración 20 - Logo NEOTEC	33
Ilustración 21- Logo GUALA manos en acción.....	34

Ilustración 22 - Logo SINACIT	35
Ilustración 23 - Logo Calzadora Ortopédica Liliam	35
Ilustración 24 - Toma de Medidas del método convencional	43
Ilustración 25 - Proceso de vaciado del método convencional	43
Ilustración 26 - Proceso de modificado del método tradicional	44
Ilustración 27 - Proceso de plastificado del método tradicional.....	45
Ilustración 28 - Corte de molde plastificado del método tradicional.....	45
Ilustración 29 - Pulido de la pieza del método tradicional	46
Ilustración 30 - Segmentación del modelo digital.....	46
Ilustración 31 - Fabricación de la Órtesis mediante MediACED3D.....	47
Ilustración 32 - Órtesis impresa en material PLA.....	47
Ilustración 33 - Órtesis impresa en material PETG.....	47

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 - Diámetro de salida - altura máxima de capa	21
Tabla 2 - Tipo de extrusor según el material y el diámetro del extrusor	21
Tabla 3 - Temperatura y superficie de impresión para cada filamento	23
Tabla 4 - Normativa de aplicación general.....	24
Tabla 5 - Normativa aplicada en prótesis y órtesis.....	25
Tabla 6 - Normativa aplicada a los productos sanitarios	26
Tabla 7 - Variables Cualitativas de Investigación	37
Tabla 8 - Variables Cualitativas de Investigación	38
Tabla 9 - Cronograma de Actividades	41
Tabla 10 - Costos de materiales de fabricación en Método Tradicional.....	48
Tabla 11 - Costos de materiales de fabricación en Impresión 3D	49
Tabla 12 - Costos de materiales de fabricación del Método Tradicional VS Impresión 3D	50
Tabla 13 - Tiempos de fabricación del método tradicional.....	51
Tabla 14 - Tiempos de fabricación en impresión 3D	52
Tabla 15 - Tiempo de fabricación del Método Tradicional vs Impresión 3D.....	52
Tabla 16 - Comparación de métricas entre métodos de Fabricación.....	53
Tabla 17 - Propuesta de Software MediACED3D	55
Tabla 18 - Propuesta de Escáner 3D Health Care Partner.....	56
Tabla 19 - Propuesta de la Impresora 3D Ender-5 Plus	57
Tabla 20 - Lista de Filamentos y sus propiedades mecánicas	58

Tabla 21 - Plan de Inversión Inicial para la automatización de laboratorio de Órtesis y Prótesis de Teletón.....60

Tabla 22 - Gastos Operativos Anuales para la automatización de laboratorio de Órtesis y Prótesis de Teletón..... 61

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 – Preguntas de exploración para entendimiento del proceso de elaboración por parte de los ortoprotesistas.....	75
Anexo 2 - Pieza finalizada del método tradicional	76
Anexo 3 - Pierna escaneada en software MediACED3D	76
Anexo 4 - Toma de medidas en software MediACED3D.....	77
Anexo 5 - Corrección de postura del pie en software MediACED3D	77
Anexo 6 - Selección de tipo de órtesis en software MediACED3D.....	77
Anexo 7 - Órtesis finalizada en software MediACED3D.....	78
Anexo 8 - Lista de materiales FDM y sus propiedades mecánicas	78
Anexo 9 - Guía comparativa de filamentos para impresión 3D.....	79

LISTA DE SIGLAS

AFO	Órtesis de Pie y Tobillo
ASTM	Sociedad Americana para Pruebas y Materiales
BPM	Balística de Partículas
CAD	Diseño asistido por Computadora
CAMO	Asistencia Médica Centroamericana
CICR	Comité Internacional de la Cruz Roja
FMD	Modelado por Deposición Fundida
I3D	Impresión 3D
ISO	Organización Internacional de Normalización
MJM	Modelado por Inyección de Tinta
PETG	Tereftalato de Polietileno Glicol
PLA	Ácido Poliláctico
SENACIT	Secretaría nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación
SLA	Estereolitografía
SLS	Sinterizado Selectivo por Láser
UNE	Unión Española de Normalización
UNE-EN	Unión Española de Normalización - Norma Europea

GLOSARIO

- 1. Amputación:** Es un procedimiento quirúrgico que se realiza por causas que pueden ser congénitas, traumáticas o debido a enfermedades, donde la única solución es retirar el miembro que ocasiona dolor (July, 2015).
- 2. Automatización:** Sistema que permite que una máquina desarrolle ciertos procesos o realice tareas sin intervención del ser humano. Es empleada con frecuencia por su capacidad de ahorrar tiempo y dinero (Agudelo y otros, 2018).
- 3. Biocompatibilidad:** Es la cualidad que tiene un biomaterial de generar una respuesta biológica aceptable durante el tiempo y modo de contacto de una aplicación específica (Salvatierra y otros, 2018).
- 4. Escaneo 3D:** El escaneo 3D es un proceso de creación de un modelo 3D de un objeto o entorno. El modelo 3D se crea capturando una serie de datos de imagen o escaneo del objeto o entorno. Los datos de imagen/escaneo se formatean en un sistema de referencia estándar, donde se fusionan para formar un modelo completo llamado alineamiento (Haleem & Javaid, 2019).
- 5. Fabricación aditiva:** Consiste en manipular material a escala micrométrica y depositarlo de forma muy precisa para construir un sólido (Zahera, 2012).
- 6. Filamento:** El filamento es un hilo fino y flexible, generalmente hecho de materiales como plástico, metal o fibra (Real Academia Española, 2022).
- 7. Órtesis:** Las órtesis son dispositivos de uso externo que realizan funciones de corrección y soporte de los sistemas esquelético y neuromuscular. Aparatos como estos pueden ser de gran utilidad para el tratamiento de lesiones de diversa índole y gravedad (Pérez Hernández y otros, 2022).
- 8. Viabilidad:** La viabilidad es la probabilidad de que un proyecto o empresa comercial pueda tener éxito financiero y técnico (Rodríguez Martín & Sánchez-Palencia, 2022).

I. INTRODUCCIÓN

La órtesis es fundamental en la rehabilitación y mejora de la calidad de vida de las personas con discapacidades físicas. El proceso de elaboración de órtesis tradicional puede ser laborioso y costoso, lo que dificulta su accesibilidad para ciertas poblaciones. En este contexto, la automatización y el uso de la I3D han surgido como posible solución para agilizar y abaratar el proceso de fabricación de órtesis en distintos centros de fabricación, es por eso que el enfoque de este estudio fue verificar su viabilidad en el laboratorio de prótesis y órtesis del Centro de Rehabilitación Integral de la Teletón San Pedro Sula.

En este estudio se analizó el flujo de trabajo actual con los métodos tradicionales y se analizó la viabilidad de estas tecnologías para optimizar la eficiencia y reducir los costos de fabricación de órtesis, mejorando así, la accesibilidad y disponibilidad para las personas con discapacidades físicas. Además, se evaluó la precisión y personalización que pueda ofrecer la I3D en la creación de órtesis a medida, adaptadas específicamente a las necesidades de cada individuo. A través de este análisis, se determinó si la automatización y la I3D son soluciones viables y beneficiosas para el laboratorio de prótesis y órtesis, brindando una atención más eficiente, rápida y asequible a los pacientes que requieren estos dispositivos de apoyo.

En este documento se presentan un total de 7 capítulos. En el capítulo II se muestra el planteamiento del problema que engloba los antecedentes del problema, preguntas de investigación, justificación y objetivos. El marco teórico está situado en el capítulo III donde se muestra a detalle todos los conceptos, teorías y principios que sirvieron como punto de partida para la investigación. Dando seguimiento con el capítulo IV donde se propone el enfoque, técnicas e instrumentos en la metodología de estudio aplicadas. Posteriormente en el capítulo V se muestran los resultados y discusiones de los datos obtenidos en el desarrollo de la investigación, culminando con el capítulo VI y VII donde se presentan las conclusiones y recomendaciones de la investigación.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En este capítulo se describen los antecedentes y el problema central de este proyecto, junto a la justificación que sustentó su realización y las interrogantes de investigación planteadas. Además, se exponen el objetivo general y los objetivos específicos que se persiguieron.

2.1. PRECEDENTES DEL PROBLEMA

En Honduras existe una creciente población que ha sufrido deformaciones en sus pies debido a accidentes traumáticos. Según datos de los diferentes laboratorios ortopédicos del país, la demanda de órtesis (aparatos para reforzar o corregir una parte del cuerpo) son 4 veces más frecuentes que las prótesis que corresponden a casos de amputación. Se puede estimar que cerca de 28,655 personas precisan de un aditamento ortopédico (Instituto Nacional de Estadística , 2002).

El pie equinvaro es la segunda causa de mayor demanda de órtesis en el país, conforme a los datos de la secretaria de Salud, en Honduras el 1% de la población padece de pie equinvaro. En 2019 se atendieron alrededor de 175 casos. (Secretaria de Salud de Honduras, 2022).

Estas deformaciones tienen un impacto significativo en la calidad de vida de las personas afectadas, ya que limitan su movilidad y capacidad para llevar a cabo actividades diarias básicas. Para mejorar su calidad de vida y reintegrarlos a la sociedad, es fundamental proporcionar órtesis adecuadas y accesibles a estas personas. Sin embargo, la fabricación de órtesis en Honduras enfrenta numerosos desafíos. Actualmente, la producción de órtesis se realiza de forma artesanal, lo que implica largos tiempos de espera y altos costos para los pacientes. Además, la falta de técnicas de fabricación avanzadas y de personal especializado en la elaboración de órtesis dificulta la producción en masa y la adaptación personalizada a las necesidades de cada individuo.

2.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El problema central se basa en la falta de automatización en los procesos de fabricación de órtesis para personas que han sufrido amputaciones en Honduras, ya sea debido a la diabetes o accidentes. La fabricación actual de órtesis es realizada bajo un método tradicional, lo que resulta en varios desafíos y limitaciones tales como los largos tiempos de espera para que los pacientes obtengan sus órtesis y los costos asociados con la fabricación manual de órtesis ya que los materiales utilizados y la mano de obra requerida pueden ser costosos. Estas limitaciones pueden influir directamente en la capacidad de producción del centro de rehabilitación por consiguiente en la calidad de vida y su capacidad para reintegrarse plenamente a sus actividades diarias. Debido a las limitantes y desafíos que produce el método actual de fabricación de prótesis y órtesis, surge la propuesta de automatizar los procesos de fabricación de estos dispositivos.

2.3. JUSTIFICACIÓN

La implementación de la automatización no solo mejora la calidad de vida de los pacientes al reducir los tiempos de espera y garantizar el ajuste y adaptación precisa de las órtesis, sino que también promueve la equidad al reducir los costos y brindar mayores oportunidades para aquellos con pocos recursos. Además, la automatización en la impresión 3D ofrece la ventaja de una producción más eficiente, consistente y de una manera más rápida aumentando la productividad. Esta automatización también reduce el margen de error humano en el proceso de fabricación, garantizando órtesis de alta calidad y precisión para cada paciente. Al abordar este problema, se logra un impacto positivo en las esferas social y económica creando oportunidades laborales y promoviendo la integración de las personas con amputaciones en la sociedad.

2.4. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

En esta sección, se formularán las preguntas que orientarán el desarrollo del estudio, las cuales guiarán todo el proceso de investigación.

2.4.1. PREGUNTA GENERAL

¿Es técnicamente viable la automatización y el uso de impresión 3D en el proceso de fabricación de órtesis en el laboratorio de prótesis y órtesis del Centro de Rehabilitación Integral de la Teletón San Pedro Sula?

2.4.2. PREGUNTAS ESPECÍFICAS

- 1) ¿Cuánto tiempo se requiere actualmente para elaborar una órtesis de tobillo pie (AFO) utilizando el método actual?
- 2) ¿Cuál es la diferencia económica entre la fabricación actual de órtesis y la fabricación utilizando impresión 3D?
- 3) ¿Qué material presenta las propiedades mecánicas y biocompatibles más adecuadas para la fabricación de órtesis mediante impresión 3D?
- 4) ¿Qué resultados muestra la prueba de impresión de piezas como demostración de la viabilidad de la impresión 3D en la fabricación de órtesis?

2.5. OBJETIVOS

A continuación, se enumeran el objetivo general y específicos que orientarán la investigación y su desarrollo.

2.5.1. OBJETIVO GENERAL

Analizar el flujo de trabajo en el laboratorio de prótesis y órtesis, para identificar las etapas y procesos involucrados en la elaboración de órtesis para proponer un plan de automatización y aplicación de I3D en los procesos de elaboración en órtesis.

2.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1) Examinar el proceso de elaboración de las órtesis que realizan los ortoprotesistas.
- 2) Evaluar el tiempo de elaboración de las órtesis de tobillo pie bajo el método actual.
- 3) Comparar el factor económico de la fabricación actual versus la fabricación con impresión 3D.
- 4) Identificar y seleccionar el material que exhiba las propiedades mecánicas y biocompatibles más apropiadas para la impresión 3D de órtesis.
- 5) Realizar una prueba de impresión de piezas como demostración de la viabilidad técnica de la impresión 3D en la fabricación de órtesis.

III. MARCO TEÓRICO

El presente capítulo se enfoca en la automatización y el uso de la I3D en la fabricación de órtesis, considerando la situación en Honduras, país con una alta incidencia de amputados en Centroamérica. Se realiza un análisis del macro y microentorno explorando avances tecnológicos de la I3D y su aplicación en la fabricación de dispositivos médicos. También se consultarán y validarán investigaciones previas relacionadas para fundamentar la importancia de esta investigación en la mejora de la calidad, tiempo, costos y accesibilidad de las órtesis.

3.1. ANÁLISIS DEL MACROENTORNO

En el macroentorno se exploró aspectos amplios y contextuales que influyen en la viabilidad de la automatización y el uso de I3D en la fabricación de órtesis. Se abordó la automatización de procesos en el ámbito de la salud y la rehabilitación, así como la aplicación de la I3D en este campo. Además, se evaluó la viabilidad de esta tecnología en términos de costos, tiempos de fabricación, materiales y consideraciones éticas y regulatorias. El análisis de estos factores proporcionará un contexto sólido para la investigación y la toma de decisiones en la implementación de la automatización y la I3D en la fabricación de órtesis.

3.1.1. AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS EN EL ÁMBITO DE LA SALUD Y LA REHABILITACIÓN.

3.1.1.1. AUTOMATIZACIÓN

El concepto de automatización lleva implícita la supresión total o parcial de la intervención humana en la ejecución de diversas tareas, industriales, agrícolas, domésticas, administrativas o científicas. Se aplica la automatización tanto a las tareas más sencillas, tales como la regulación de la temperatura de un horno o el mando secuencial de una máquina herramienta, como a las más complejas, tales como la dirección mediante ordenador de una unidad química o la gestión automatizada de un establecimiento bancario (Moreno, 1999). La automatización es, esencialmente, la convergencia de tres tecnologías: mecánica, electrónica e informática, que paulatinamente han venido tejiendo una convergencia reticular como es el universo específico de la mecatrónica como se esquematiza en la ilustración 1 (Nieto, 2006).

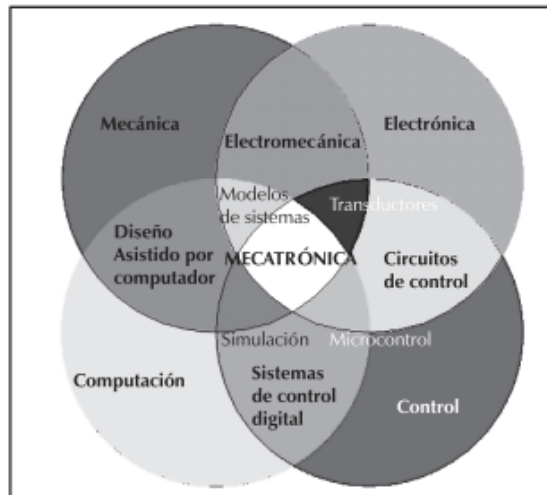


Ilustración 1 - La automatización: una convergencia de tecnologías

Fuente: (Nieto, 2006)

Al conocer estos conceptos de convergencia entre tecnologías, se puede aplicar al ámbito médico y hospitalario, ya que en un hospital existen procesos de esterilización, manejo y flujo de pacientes, procedimientos quirúrgicos, gestión de tecnologías médicas, entre otros. La naturaleza de cada proceso varía según el tipo de hospital, la especialidad y la región donde se encuentre, pero siempre se busca mejorar los tiempos en que se elabora cada proceso intentando optimizar el flujo de trabajo, automatizar tareas y agilizar los procesos de admisión, poniendo ejemplos tratando de establecerlo bajo un sistema de mejora continua donde se revisen regularmente los procesos y se realicen las modificaciones necesarias.

3.1.1.2. *VENTAJAS DE LA AUTOMATIZACIÓN EN LA FABRICACIÓN DE PRÓTESIS Y ÓRTESIS*

La automatización en la fabricación de prótesis y órtesis ha revolucionado la industria, brindando numerosas ventajas y mejoras significativas en comparación con los métodos tradicionales. Los avances en los procesos buscan acelerar la producción, mejorar la precisión y calidad de los productos que den soluciones específicas y personalizadas para cada paciente considerando que los tratamientos varían según el caso. Seguidamente se definirán conceptos y ventajas claves a la hora de automatizar estos procesos que ayudan directamente a mejorar la calidad de vida de las personas.

3.1.1.2.1 EFICIENCIA

La automatización permite realizar las tareas de fabricación de prótesis y órtesis de manera más rápida y eficiente que los métodos tradicionales. Los equipos automatizados realizan múltiples pasos y operaciones a la vez, lo que acelera el proceso de fabricación.

3.1.1.2.2 MAYOR PRECISIÓN

La tecnología avanzada de los sistemas automatizados, como el modelado en 3D, garantiza una mayor precisión en el proceso. Estas herramientas permiten una reproducción exacta de las especificaciones de diseño, lo que resulta en productos finales altamente precisos y consistentes. Por ejemplo, mediante el uso de escáneres 3D, se puede obtener una representación digital precisa de la anatomía del paciente, lo que facilita la personalización y adaptación de la órtesis a sus necesidades específicas.

3.1.1.2.3 MEJORA LA PRODUCTIVIDAD

Se busca mejorar la productividad para poder obtener los resultados deseados en el menor tiempo posible y así ayudar a más personas en menos tiempo. Al reemplazar los métodos actuales y automatizar los procesos, el flujo de trabajo será más fluido y mejorará la productividad debido a la velocidad en la cuales se realizarán las órtesis. Al reducir los errores de los métodos manuales se logra una mayor productividad del producto final, esto es beneficioso para los pacientes.

3.1.1.2.4 REDUCCIÓN DE COSTOS

La implementación inicial de sistemas de automatización puede implicar una inversión significativa, a largo plazo, puede ayudar a la reducción de costos operativos. La eficiencia y optimización de los recursos resultan en mayor productividad y menor necesidad de mano de obra, lo que a su vez reduce costos laborales. Además, permite minimizar los desperdicios de materiales y errores, lo que disminuye los costos asociados con productos defectuosos. A medida que se amortiza la inversión inicial, los beneficios económicos se hacen más evidentes, lo que refleja una mejora en la rentabilidad.

3.1.1.2.5 REDUCCIÓN DE PARTICIPACIÓN HUMANA

La automatización implicará una disminución de la participación humana en las tareas de producción. Si bien esto puede generar pérdidas de empleos, también presenta ventajas

significativas como la reducción de errores, la dependencia de habilidades individuales, lo que garantiza una mayor uniformidad en la calidad del producto final.

3.1.2. IMPRESIÓN 3D EN EL ÁMBITO DE LA SALUD Y LA REHABILITACIÓN.

En las últimas décadas, se han experimentado progresos tecnológicos significativos en el campo de la Medicina, especialmente en relación con el uso de las impresoras 3D. Dentro del ámbito de la traumatología, se ha empezado a utilizar dicha tecnología para la manufactura de prótesis y órtesis que tienen un impacto positivo en la calidad de vida de los pacientes.

3.1.2.1. *IMPRESIÓN 3D (I3D)*

La I3D es un tipo de manufactura aditiva que permite transformar un modelo digital en el objeto tridimensional real y tangible. Los modelos tridimensionales se obtienen mediante procesamiento de los estudios radiológicos digitales de los pacientes, técnicas de escaneo tridimensional externo, diseño asistido por computadora o técnicas de ingeniería inversa. Una vez obtenido el modelo virtual, este se puede imprimir. Los objetos se construyen capa a capa, empleando diferentes tecnologías y materiales según la aplicación final a la que vaya destinada (P, Andrés Cano; J.A, Calvo Haro; F, Fillat Gomá; I, Andrés Cano; R, Perez Mañanes, 2020).



Ilustración 2 - Impresión 3D en la industria médica

Fuente: (Segnini y otros, 2018)

3.1.3. VENTAJAS DE LA IMPRESIÓN 3D EN LA FABRICACIÓN DE PRÓTESIS Y ÓRTESIS.

3.1.3.1. *PRODUCCIÓN EFICIENTE*

La I3D puede agilizar la fabricación de prótesis y órtesis y reducir costos, ya que, a diferencia de los métodos tradicionales, el modelo de una órtesis se puede generar directamente a partir de archivos digitales, lo que ahorra mucho tiempo y recursos al evitarse usar maquinaria pesada y tradicional.

3.1.3.2. *PERSONALIZACIÓN*

Este método de I3D permite crear prótesis y órtesis personalizadas que son capaces de adaptarse a cualquier característica y necesidad individual del paciente ya que trabaja con escáneres digitales que permiten diseñar un dispositivo a la medida de la persona asegurándose que el usuario goce de una comodidad y un ajuste preciso.

3.1.4. EVALUACIÓN DE LA VIABILIDAD DE LA AUTOMATIZACIÓN Y EL USO DE IMPRESIÓN 3D EN LA FABRICACIÓN DE ÓRTESIS.

Esta evaluación busca determinar si la automatización y la I3D son adecuadas para mejorar los procesos de fabricación de órtesis y sobre todo si son efectivas para alcanzar los objetivos deseados. Uno de los elementos claves esenciales para considerar la viabilidad sería el aspecto económico, ya que se debe analizar los costos y beneficios financieros de la automatización y la I3D frente a los métodos tradicionales de fabricación y manufactura. Es importante evaluar los costos de adquisición de equipos de I3D, los costos de los materiales, costos de mantenimiento, ahorros de mano de obra y materiales y el impacto de los costos unitarios de producción considerando la relación del retorno de la inversión en cuanto al tiempo requerido para alcanzarlo.

3.1.5. REDUCCIÓN DE TIEMPOS Y MEJORA EN LA EFICIENCIA MEDIANTE LA AUTOMATIZACIÓN.

La automatización de la fabricación de órtesis a través de la I3D revolucionó la industria médica y ortopédica, ya que permite mejorar significativamente la eficiencia en la producción y reducir los tiempos de entrega a los pacientes. La combinación de la automatización y la I3D permite que la fabricación de órtesis sea más rápida y precisa, eliminando procesos manuales tediosos y optimizando el uso de materiales. Estos avances tecnológicos ofrecen una serie de beneficios clave que no solo aceleran el proceso de

fabricación, sino que también mejoran la experiencia del paciente y aumentan la capacidad de producción para satisfacer la creciente demanda.

3.1.5.1. REDUCCIÓN DE TIEMPOS DE FABRICACIÓN

La I3D permite que la fabricación de órtesis se elabore de forma más rápida que los métodos tradicionales, se pueden establecer flujos de trabajo eficientes y continuos, eliminando las limitaciones asociadas con la fabricación manual. Los diseños de las órtesis se pueden preparar digitalmente y enviar directamente a la impresora 3D, lo que reduce el tiempo necesario para la fabricación y entrega de los dispositivos a los pacientes.

3.1.5.2. ELIMINACIÓN DE PROCESOS MANUALES

La automatización reemplaza la necesidad de realizar tareas manuales repetitivas durante el proceso de fabricación de las órtesis. Esto ayuda a reducir el tiempo empleado en tareas como la talla manual de materiales, ajustes y ensamblaje de componentes. Con la I3D, los diseños se pueden producir de manera más precisa y consistente, evitando errores humanos y reduciendo la necesidad de retrabajos y esto ayuda también a reducir costos.

3.1.5.3. OPTIMIZACIÓN DEL USO DE MATERIALES

La automatización en la I3D permite un uso más eficiente de los materiales utilizados en la fabricación de órtesis. Los diseños digitales se pueden optimizar para minimizar los residuos y maximizar la utilización del material, lo que conduce a una reducción de costos y ahorros significativos.

3.1.5.4. INCREMENTO DE LA CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN

La automatización de estos procesos también permite una mayor capacidad de producción. Los sistemas de I3D pueden funcionar las 24 horas del día, los 7 días de la semana, sin interrupciones, lo que aumenta la cantidad de órtesis que se pueden fabricar en un período de tiempo determinado. Esto es beneficioso para afrontar la creciente demanda de órtesis y reducir las listas de espera.

3.1.6. ESCÁNER 3D

El escáner tridimensional es un dispositivo que analiza una escena u objeto para aunar datos de su forma y, dependiendo de la tecnología, de sus características superficiales. La

información obtenida se puede usar para construir modelos digitales tridimensionales (Barrio, 2016).

Las características que recoge el escáner pueden ser muy exactas, así como el color del objeto, similares a los reales, pero para que esto suceda, tendrá que hacer diferentes muestras de escaneo en diferentes puntos. El escaneo debe realizarse de manera que estén en un mismo sistema de referencia, llamado proceso de alineación, este procedimiento se hace para obtener el objeto completo (Quito Anrango, 2016).

3.1.6.1. *TECNOLOGÍAS DE ESCÁNER 3D*

3.1.6.1.1 EN CONTACTO CON EL OBJETO

Este tipo de escáneres examinan el modelo mediante toques físicos sobre el objeto, es decir, cada toque en el objeto corresponde con un punto del modelo. Con este tipo de escáneres se obtienen modelos muy precisos, por lo que se suelen utilizar para fabricar piezas. Alguno de los inconvenientes de este tipo de escáneres son que puede dañar el objeto escaneado al tocarlo y que su velocidad de escaneado es lenta en comparación con otro tipo de escáneres (Contreras Echebarria, 2014).

3.1.6.1.2 ESCÁNER LASER 3D

Se trata de un escáner basado en la triangulación trigonométrica para capturar con precisión un objeto 3D y convertirlo en millones de puntos de información. Se le conoce también como escáner de triangulación láser, ya que el punto láser, el sensor y el emisor láser que lo componen forman un triángulo. Esta tecnología funciona mediante la proyección de un punto o línea láser sobre un objeto y luego capturar su reflejo a través de sensores. Ya que los sensores están situados a una distancia conocida de la fuente del láser, se pueden hacer mediciones precisas de puntos calculando el ángulo de reflexión de la luz láser. Eso permitiría que a partir del escaneo del objeto se pueda desarrollar un modelo digital tridimensional (Zara Aragón, 2021).

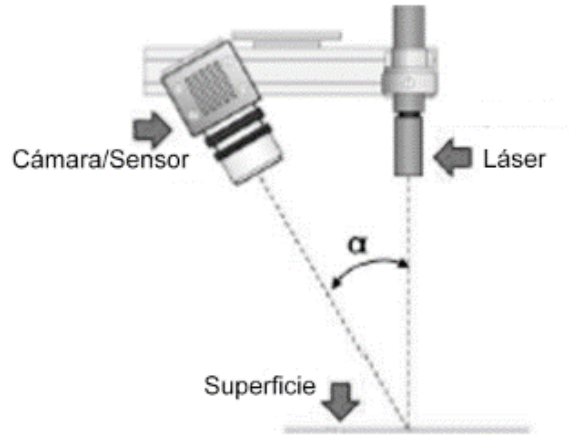


Ilustración 3 - Esquema de la tecnología de triangulación láser.

Fuente: (Zara Aragón, 2021)

3.1.6.1.3 ESCÁNER DE LUZ ESTRUCTURADA.

Al igual que el anterior, es un escáner que se basa en la tecnología de triangulación trigonométrica, pero a diferencia del escáner láser 3D, funciona proyectando un patrón de luz sobre el objeto a escanear y no un punto o línea de láser.

Dicho patrón se proyecta sobre el objeto empleando un proyector LCD o alguna fuente de luz estable. Uno o más sensores ligeramente distanciados del proyector, observan la forma del patrón de luz y calculan la distancia de cada punto en el campo de visión (Zara Aragón, 2021).

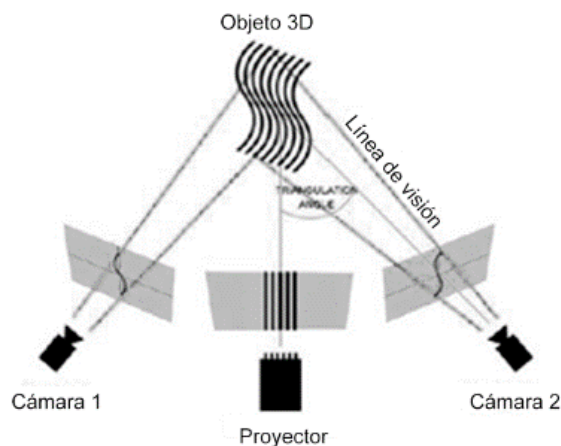


Ilustración 4 - Esquema de la tecnología de luz estructurada.

Fuente: (Quito Anrango, 2016)

3.1.6.1.4 HOLOGRAFÍA CONOSCÓPICA

La holografía es una técnica de interferometría basada en la propagación de la luz de cristales birrefringentes. El sistema ilumina un área de interés con una fuente de luz monocromática, normalmente luz laser, aunque no es necesario que sea luz coherente. El cono de luz reflejado se filtra e incide en un cristal birrefringente. Dicho cristal posee dos índices de refracción, uno ordinario, fijo y el otro extraordinario que es función del ángulo de la incidencia del rayo de la superficie del cristal. Los dos rayos paralelos que se obtienen al atravesar el cristal se hacen interferir con una lente cilíndrica, produciéndose una interferencia constructiva y otra destructiva que dan lugar a un patrón Fresnel.

Para obtener la superficie del objeto es necesario incluir la posición y orientación del dispositivo de hológrafa conoscópica. Esta información se obtiene con sistemas de posicionamiento (Bergoña Sesé, 2015).

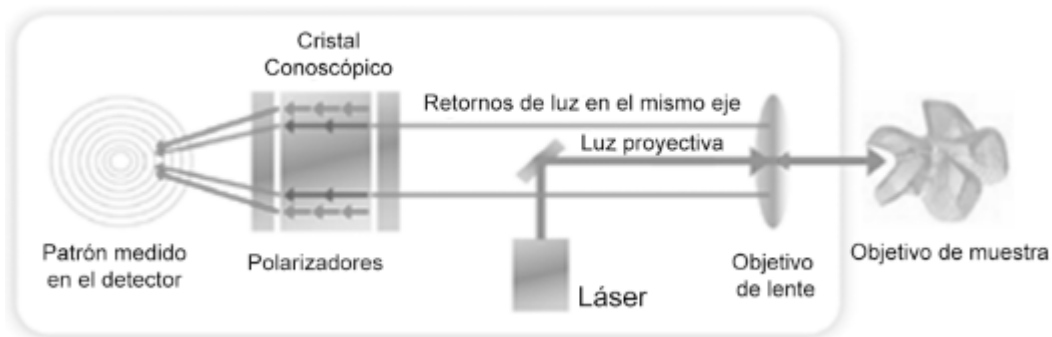


Ilustración 5 - Principio de funcionamiento de la holografía conoscópica

Fuente: (Bergoña Sesé, 2015)

3.1.6.1.5 ESCÁNER BASADO EN EL TIEMPO DE VUELO

Estos escáneres utilizan un pulso de láser emitido y lanzado a través de un espejo rotatorio. Este pulso es reflejado en la superficie escaneada y su reflejo retorna al escáner. Dependiendo del grado de inclinación y giro del espejo se conocen los ángulos de incidencia de dicho pulso láser, necesarios para poder calcular una posición en el sistema cartesiano o cilíndrico (Barrio, 2016).

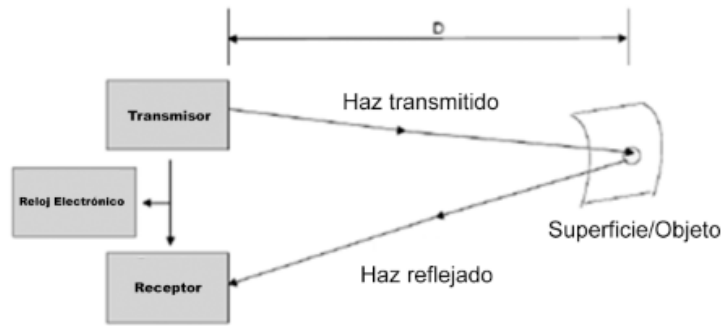


Ilustración 6 – Funcionamiento esquemático de un escáner basado en tiempo de vuelo

Fuente: (Barrio, 2016)

3.1.6.1.6 ESCÁNER DE MEDIDA DE FASE

Este tipo de medición está basada en un método parecido al utilizando en el tiempo de vuelo. Surge para evitar la utilización de los relojes de alta precisión de los relojes de alta precisión, modulando solo la potencia del haz láser. La luz emitida (incoherente) se modula en amplitud y se envía a la superficie a examinar. La reflexión dispersa se captura y un circuito mide la diferencia de fase entre las ondas enviadas y recibidas, y por tanto el tiempo que se tarda la luz en ir y volver. (Zara Aragón, 2021).

3.1.7. TIPOS DE IMPRESORAS 3D

La impresión en tres dimensiones (3D), también conocida como manufactura aditiva, es una tecnología que permite construir modelos físicos diseñados por computadora (Telich Trriba y otros, 2019). La I3D consiste en la conversión de diseños digitales a modelos físicos mediante la adición de capas sucesivas de material hasta obtener el objeto deseado (AlAli y otros, 2015) (Gerstle y otros, 2014) por lo que uno de sus principales atractivos es la capacidad de producir objetos personalizados en periodos cortos de tiempo y que se adaptan a las necesidades de cada persona. En el campo de la fabricación aditiva, las impresoras 3D han revolucionado la forma en la que se materializan objetos tridimensionales. Las I3D usan diferentes tipos de tecnología para hacer esa impresión, por eso se explorarán los tipos de I3D disponibles en el mercado, analizando sus características y aplicaciones específicas. El conocimiento de los tipos de I3D existentes permitirán

comprender mejor las capacidades y limitaciones de cada tecnología sentando las bases para futuras investigaciones.

3.1.7.1.1 ESTEREOLITOGRAFÍA (SLA)

Técnica primera en utilizarse en la I3D, se fundamenta en someter un líquido sensible a la luz como la resina líquida, la misma que está en un cubo. La resina líquida al ser sometida a la luz ultravioleta se cristaliza fase a fase, repitiendo este proceso varias veces hasta que el diseño concluya y alcance el objeto deseado. Este método es muy bueno debido a que se obtiene piezas de alta calidad en dureza, pero a su vez desperdicia cierta cantidad de material durante la impresión del objeto (Quito Arango, 2016).

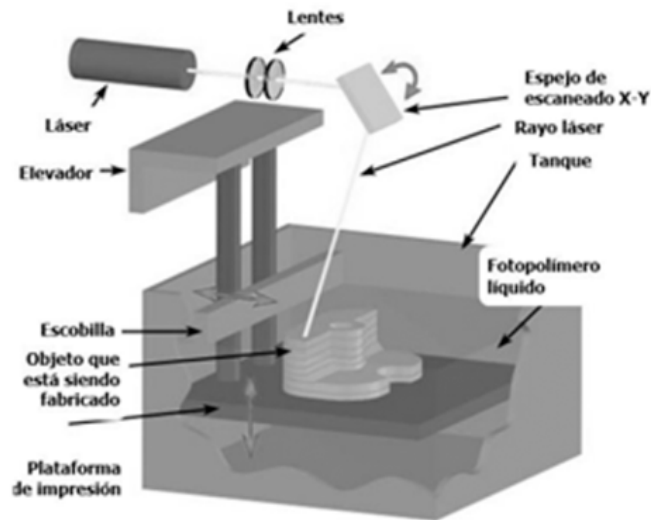


Ilustración 7 - Proceso de impresión 3D mediante estereolitografía (SLA)

Fuente: (LÓPEZ, 2018)

3.1.7.1.2 SINTERIZADO SELECTIVO POR LÁSER (SLS)

El sinterizado selectivo por láser consiste en un proceso de construcción capa a capa a partir de la fusión de un polvo fino (generalmente cerámico o metálico) al incidir un láser que aporta energía en forma de calor. Para realizar este método de I3D se utiliza un depósito con polvo con una plataforma que se mueve de forma descendente. La plataforma inicialmente se encuentra en la parte de arriba del depósito cubierta por una capa de polvo de espesor igual al espesor de capa de la pieza programada. Un emisor laser incide sobre este polvo y fusiona las partículas. El haz de luz recorre toda la capa transversal a solidificar

y cuando finaliza el recorrido la plataforma baja una distancia equivalente al espesor de capa. La máquina deposita más polvo sobre la superficie impresa y se repite el proceso capa a capa (Antonucci, 2020).

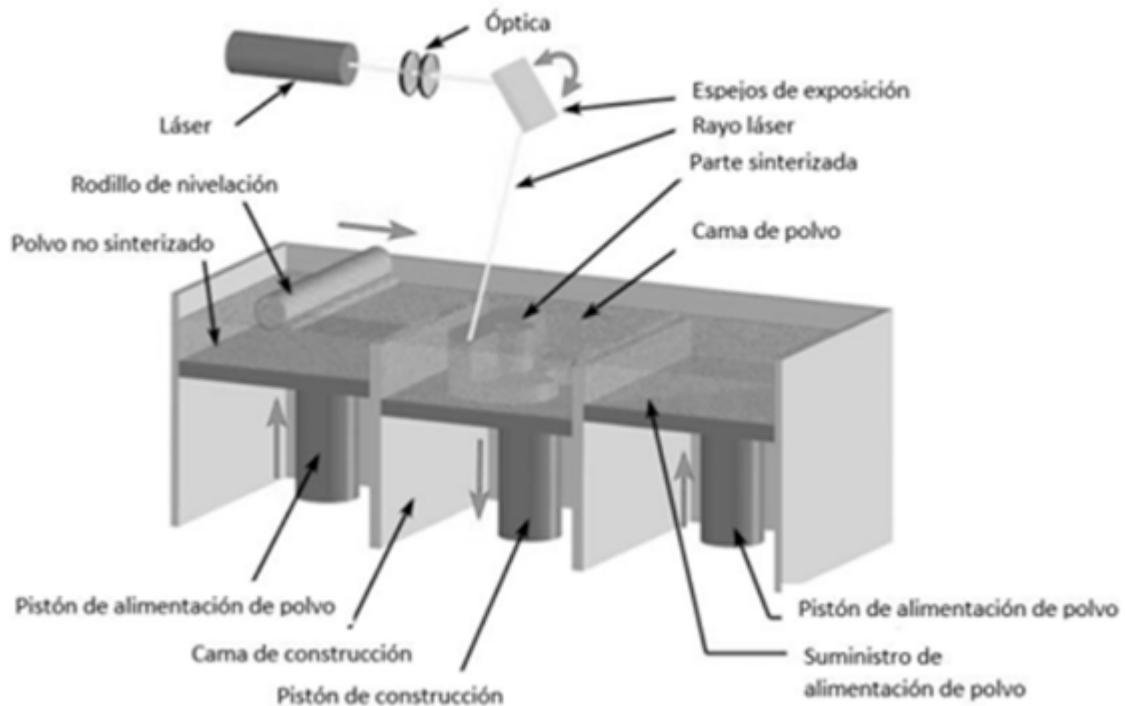


Ilustración 8 - Esquema descriptivo de una máquina SLS

Fuente: (Orían Gipuzkoa)

3.1.7.1.3 FABRICACIÓN MEDIANTE BALÍSTICA DE PARTÍCULAS (BPM)

La fabricación mediante balística de partícula es un método que se realiza pulverizando el material (de baja temperatura de fusión, como termoplástico, aluminio, etc.) fundido capa a capa siguiendo el patrón de la sección deseada. Cuando las pequeñas gotas impactan sobre la superficie éstas se solidifican. Este proceso se realiza en vacío o en una atmósfera de nitrógeno para evitar que el material reaccione químicamente (Antonucci, 2020).

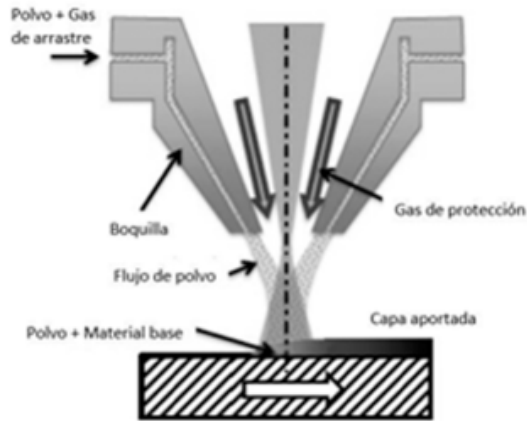


Ilustración 9 - Esquema descriptivo de una máquina BPM

Fuente: (Instituto Biomecánico de Valencia, 2019)

3.1.7.2. IMPRESORAS 3D POR INYECCIÓN

3.1.7.2.1 IMPRESORA POLYJET

La impresión polyjet es un proceso de manufactura aditiva de inyección de material, en el que las gotas de fotopolímero líquido se depositan directamente en un elevador a través de una serie de cabezales de impresión de tinta. El cabezal de inyección de tinta se mueve sobre el eje X y el eje Y, depositando un fotopolímero curado por lámparas ultravioletas acabada cada capa. El espesor de capa que se consigue en este proceso es de $16\mu\text{m}$, por lo que las piezas producidas por este proceso son más débiles que otras como la estereolitografía y la sinterización selectiva por láser. Se utiliza un polímero tipo gel para soportar las características del voladizo y, una vez finalizado el proceso, este material se inyecta con agua (Saqui, 2016).

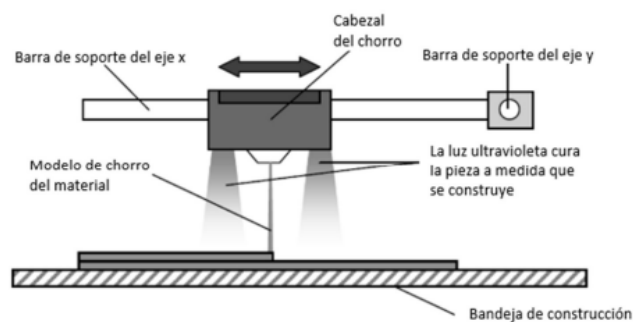


Ilustración 10 - Esquema descriptivo de una máquina Polyjet

Fuente: (Guzman Sanchez & Gonzalez Mena, 2022)

3.1.7.2.2 MULTI JET MODELLING (MJM)

El procedimiento de ejecución es fotopolimerización por luz UV al igual que Polyjet, la diferencia clave es que en este caso está presente la tercera dimensión, que se obtiene al mover a lo largo del eje Z la plataforma de trabajo. El corazón del sistema es el cartucho multi-inyector (boquilla) de la impresora que inyecta, cuando sea necesario, un líquido termoplástico que se solidifica y se adhiere a la capa anterior.

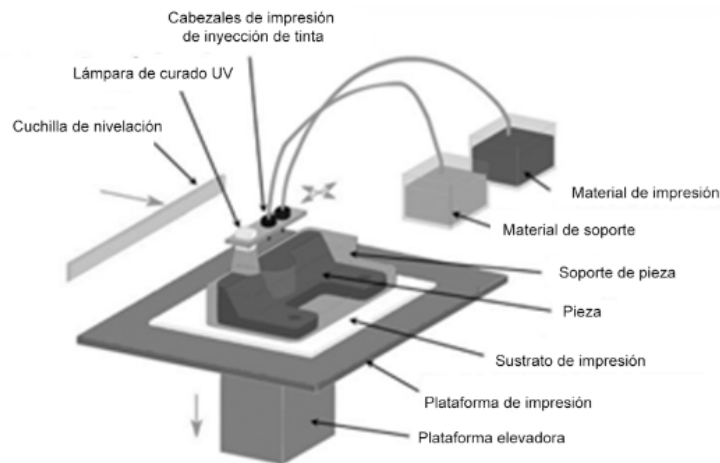


Ilustración 11 - Esquema descriptivo de una máquina Multi Jet Modelling (MJM)

Fuente: (Folch, 2016)

3.1.7.3. TECNOLOGÍAS DE DEPOSICIÓN MATERIAL

3.1.7.3.1 FUSED DEPOSITION MODELING (FMD)

Esta técnica consiste en depositar un polímero plástico fundido sobre una base plana, capa a capa. El material, que puede ser de diversa naturaleza, originalmente sólido enrollado con filamento se funde y expele a través de una boquilla extrusora en delgados hilos que solidifican a medida que van tomando la forma de cada capa. Según la pieza a fabricar es posible que se necesiten varios soportes que pueden eliminarse luego. Es la técnica más común, aunque los resultados pueden ser muy buenos, no son comparables en calidad y velocidad a las anteriores (Marson y otros, 2016).

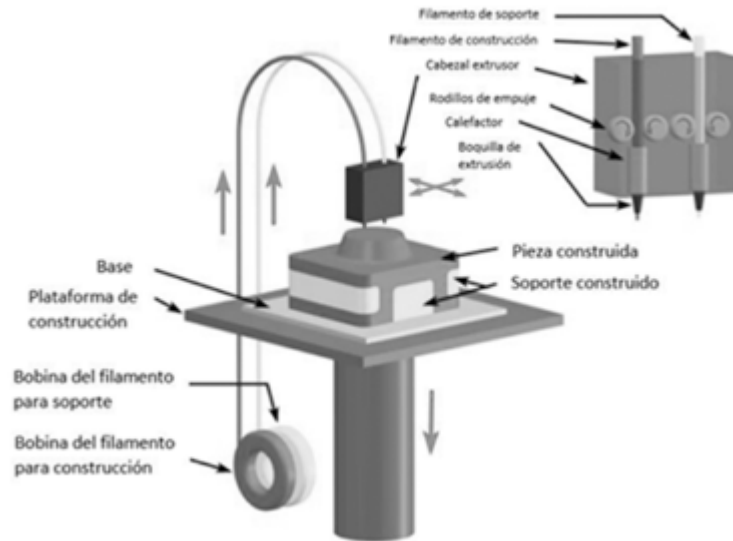


Ilustración 12 - Esquema descriptivo de una máquina FMD

Fuente: (Folch, 2016)

3.1.8. MATERIALES UTILIZADOS EN LA IMPRESIÓN 3D DE PRÓTESIS Y ÓRTESIS.

3.1.8.1. TERMOPLÁSTICO

Los termoplásticos son polímeros lineales ramificados o no, por tal razón son polímeros solubles en algunos disolventes orgánicos y reciclables. Los termoplásticos pueden presentar una temperatura de transición vítrea en caso de ser amorfo o una temperatura de fusión para materiales cristalinos superior a la temperatura ambiente (Osejos, 2016).

Este tipo de características son las que hacen que estos termoplásticos puedan solidificarse y fundirse varias veces y por eso se emplean en los métodos de I3D por deposición de material fundido.

3.1.8.1.1 ABS

El ABS es un polímero termoplástico compuesto por tres tipos de monómeros. Acrilonitrilo, butadieno y estireno se combinan para dar como resultado una de las sinergias más usadas en el mundo de los polímeros comerciales. Gracias a esta combinación de propiedades el ABS está cada vez más extendido en sectores cada vez más diversos e introducido en nuestro día a día como un producto más. De hecho, el consumo de ABS hoy día sigue creciendo y estas propiedades son de las razones por las que se ha escogido como uno de los materiales principales para la I3D de bajo coste (Pastor, 2013).

3.1.8.1.2 PLA

El ácido poliláctico, comúnmente conocido como PLA, es uno de los materiales más populares utilizados en la I3D de escritorio. Es el filamento por defecto elegido para la mayoría de las impresoras 3D basadas en extrusión porque puede imprimirse a baja temperatura y no requiere una cama calentada (3DMarket, 2018).

El PLA es uno de los filamentos más ecológicos del mercado hoy en día, ya que es renovable y biodegradable y si a eso le sumamos que es económico y fácil de imprimir, tendremos un excelente material para realizar impresiones en 3D.

3.1.8.1.3 PETG (TEREFTALATO DE POLIETILENO GLICOL MODIFICADO)

Es un material resistente, duradero y flexible. Tiene buenas propiedades mecánicas y una alta resistencia al impacto, lo que lo hace adecuado para prótesis y órtesis. La industria médica depende en gran medida del PETG y esto se debe a su amplia gama de propiedades. La durabilidad del PETG lo hace perfecto para herramientas, equipos médicos y prótesis. Por supuesto, también por la necesidad de permanecer limpio, sus propiedades de esterilización lo convierten en la elección perfecta (Bitfab, 2019).

3.1.8.1.4 NYLON

Es un polímero artificial que pertenece al grupo de las poliamidas. Es un polímero termoestable que presenta propiedades específicas que lo aventajan como filamento de I3D sobre los hasta ahora ya conocidos. Su alta resistencia junto con su elevada flexibilidad y durabilidad extrema en términos de posible rotura unido a un elevado rendimiento en los resultados, han llevado a que este material sea el futuro en la I3D (MONTAGUD, 2015).

3.1.9. PARÁMETROS DE IMPRESIÓN

3.1.9.1. ALTURA DE CAPA

Este parámetro es el grosor de la capa de filamento que la extrusora irá depositando sobre la pieza para ir creando altura y está directamente relacionado con el acabado final de la pieza, influyendo en la velocidad de impresión. Cuanto menor sea la capa, más resolución tendrá y dichas capas serán más finas, se notarán menos los saltos entre una capa y otra. Pero por el mismo motivo, se necesitarán más capas para alcanzar la misma altura y, por ende, el extrusor deberá realizar más pasadas, con lo cual aumentará el tiempo de impresión (Nebot Montagud, 2015).

Tabla 1 - Diámetro de salida - altura máxima de capa

Diámetro de salida del extrusor (mm)	Altura de capa máxima recomendada (mm)
0.25 mm	0.2 mm
0.4 mm	0.32 mm
0.6 mm	0.48 mm
0.8 mm	0.64 mm
1 cm	0.8 mm
1.2 cm	0.96 mm

Fuente: (Antonucci, 2020)

3.1.9.2. *DIÁMETRO DEL EXTRUSOR*

Este valor indica a Cura el tamaño de la boquilla del extrusor, el diámetro con el que sale el filamento ya fundido hacia la pieza. Este valor es único e importante que sea el correcto (Nebot Montagud, 2015).

Tabla 2 - Tipo de extrusor según el material y el diámetro del extrusor

Material del filamento	Convencional	Abrasivo	FDA
Tipo de extrusor	Latón	Acero endurecido	Acero inoxidable
Diámetro de salida del extrusor	0.25 mm – 0.8 mm	0.5 mm – 0.8 mm	0.25 mm – 0.8 mm

Fuente: (Antonucci, 2020)

3.1.9.3. *PATRÓN DE RELLENO*

El patrón de mallado en la I3D es un parámetro fundamental en la creación de piezas ya que por medio de éste lo utilizamos para llenar espacios vacíos en todas sus capas a excepción la inferior y superior, gracias a esto se determina la estructura interna, la resistencia y peso de la pieza impresa. Se puede elegir entre varias alternativas como pueden ser tipo rectilíneos, panel de abeja, concéntrico, triangular, etc. (Pacheco Carpio, 2019) En la ilustración 13 se pueden observar varios patrones de rellenos.

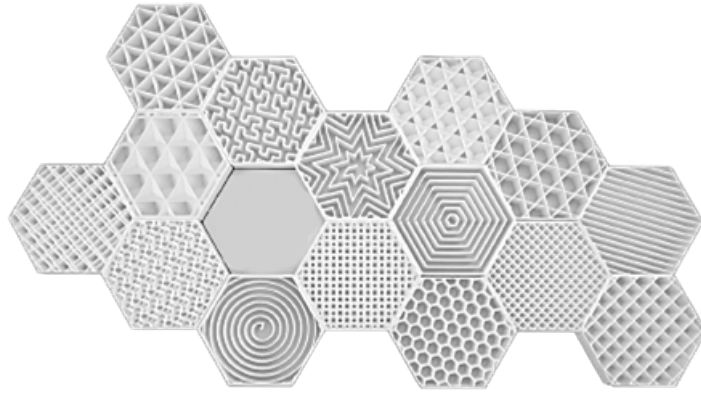


Ilustración 13 - Tipos de patrones de relleno

Fuente: (Gasca, 2022)

3.1.9.4. *ESPEJOR DE PARED*

Este es el grosor de las paredes verticales que quedan expuestas al aire. Influye en la calidad visual en menor medida. Su influencia es en la rigidez de la pieza y la resistencia de sus paredes verticales. Si este valor es muy elevado reducirá la flexibilidad de las paredes creándolas macizas. Si por el contrario son muy delgadas, éstas podrían romperse y comprometer la integridad de la pieza. Esta propiedad debe ser múltiplo del tamaño del extrusor para crear el grosor deseado (Nebot Montagud, 2015).

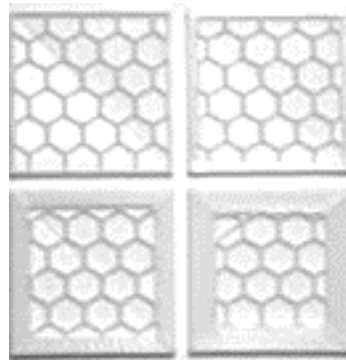


Ilustración 14 - Tamaños de espesor de paredes

Fuente: (Arias Ávalos & López Ayala, 2021)

3.1.9.5. *DENSIDAD DE RELLENO*

La densidad de relleno define la porosidad de la pieza, es decir, la cantidad de material que ocupa la parte interna de ésta. Cuanto mayor sea la densidad del relleno más pesada y resistente será la pieza, pero requerirá un mayor tiempo de impresión. Los programas de

laminación permiten modificar el porcentaje de material en el interior de la pieza desde un 0% (pieza hueca) hasta un 100% (pieza maciza) (Antonucci, 2020).

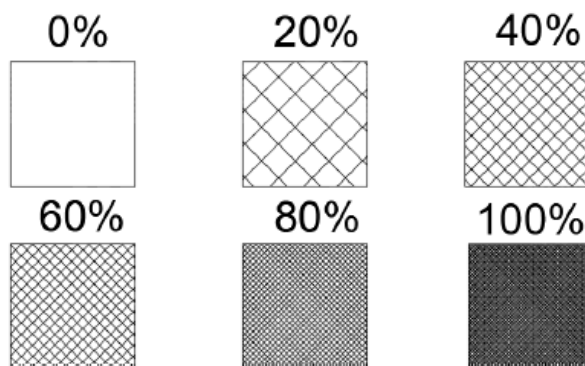


Ilustración 15 - Representación del porcentaje de relleno de una pieza impresa

Fuente: (Pacheco Carpio, 2019)

3.1.9.6. *TEMPERATURA DE IMPRESIÓN*

La temperatura de impresión es la temperatura a la que debe estar el extrusor en función del tipo de material que se utilice. El valor que se debe utilizar debe ser el adecuado para cada material, siempre viene indicado por el fabricante del filamento (Gasca, 2022).

3.1.9.7. *TEMPERATURA DE LA BASE*

Con esta opción, se puede regular la temperatura de la base caliente en aquellos materiales cuyo fabricante recomienda para una mejor adhesión de la primera capa de impresión (MONTAGUD, 2015).

Tabla 3 - Temperatura y superficie de impresión para cada filamento

Filamento	Temperatura de impresión (°C)	Temperatura de la base (°C)
ABS	185-235	60-110
PLA	195-220	20-60
PETG	210-220	20-65
Nylon	225-240	Ambiente

Fuente: Autoría propia

3.1.10. CONSIDERACIONES ÉTICAS Y REGULATORIAS EN LA IMPLEMENTACIÓN DE LA AUTOMATIZACIÓN Y LA IMPRESIÓN 3D EN LA FABRICACIÓN DE ÓRTESES.

En este apartado se abordan los aspectos éticos y regulatorios relevantes al utilizar tecnologías como automatización y la I3D en la fabricación de órtesis. Este análisis crítico examina exploran las regulaciones y normativas existentes que se aplican a la fabricación de órtesis utilizando automatización y la I3D. Se analizan los requisitos de fabricación, los estándares de seguridad y calidad de los dispositivos, los aspectos de etiquetado y documentación, así como los procesos de evaluación de conformidad y certificación.

3.1.10.1. *NORMATIVA DE APLICACIÓN GENERAL*

Las normativas de los organismos reconocidos como institutos de estandarización nacionales e internacionales son pautas y requisitos técnicos para diversos productos y servicios que engloban en prótesis y órtesis y se reflejan en la tabla 4.

Tabla 4 - Normativa de aplicación general

Organismo	Norma	Descripción
UNE	157001:2014	Criterios generales para la elaboración formal de los documentos que constituyen un proyecto técnico.
UNE-EN	ISO/ASTM 52902:2000	Fabricación aditiva. Artefactos de ensayo. Evaluación de la capacidad geométrica de los sistemas de fabricación aditiva.
UNE	116005:2012	Fabricación por adición de capas en materiales plásticos.
UNE- EN	ISO 17926-2:2017	Fabricación aditiva. Principios generales. Parte 2: Visión general de categorías de procesos y de materias primas (ISO 17296-2:2015)
UNE-EN	ISO/ASTM 52950:2021	Fabricación aditiva. Principios generales. Visión general del intercambio de datos (ISO/ASTM 52950:2021).
UNE-EN	12182:2012	Productos de apoyo para personas con discapacidad. Requisitos generales y métodos de ensayo.
UNE-EN	ISO 22675	Prótesis. Ensayo de las articulaciones de tobillo-pie y de las unidades de pie.

Fuente: Autoría Propia

3.1.10.2. *NORMATIVA APLICADA EN PRÓTESIS Y ÓRTESIS*

Se dio énfasis a la normativa específica que se aplica en el contexto de prótesis y órtesis. Esta normativa tiene como objetivo garantizar la calidad, seguridad y eficacia de las prótesis y órtesis utilizadas para mejorar la funcionalidad y calidad de vida de las personas con discapacidades o condiciones médicas específicas.

Tabla 5 - Normativa aplicada en prótesis y órtesis

Organismo	Norma	Descripción
ISO	13485:2016	Dispositivos médicos. Sistemas de gestión de la calidad. Requisitos para la regulación.
ISO	9001:2015	Gestión de la calidad. Requerimientos.
ISO	14971:2012	Dispositivos médicos. Aplicación de la gestión de riesgos a los dispositivos médicos
ISO	10993-11:2018	Evaluación biológica de dispositivos médicos. Pruebas de toxicidad sistémica.
UNE	11909-1:1990	Prótesis y órtesis. Vocabulario. Pate 1: términos generales.
UNE	11909-2:1990	Prótesis y órtesis. Vocabulario. Pate 2: términos relativos a las prótesis y a los portadores de prótesis.
UNE	11909-3:1990	Prótesis y órtesis. Vocabulario. Pate 3: términos relativos a las órtesis.
UNE	111912:1990	Prótesis y órtesis. Vocabulario. Aspectos médicos. Descripción de las malformaciones congénitas de miembros.

Fuente: Autoría Propia

3.1.10.3. *NORMATIVA APLICADA A LOS PRODUCTOS SANITARIOS*

La normativa aplicada a los productos sanitarios es un conjunto de regulaciones y estándares para garantizar la calidad, la seguridad y el desempeño adecuado de los productos utilizados en el ámbito de la sanidad. Estas normas son establecidas por organismos nacionales e internacionales y pueden variar según el país o la región.

Tabla 6 - Normativa aplicada a los productos sanitarios

Organismo	Norma	Descripción
UNE-EN	ISO 17664:2018	Procesado de productos sanitarios. Información a suministrar por el fabricante del producto sanitario para el procesado de productos sanitarios.
UNE-EN	ISO 14971:2012	Productos sanitarios. Aplicación de la gestión de riesgos a los productos sanitarios.
ISO	14971:2012	Productos sanitarios. Símbolos a utilizar en las etiquetas, el etiquetado y la información a suministrar. Parte 1: Requisitos generales.
ISO	13485:2016	Dispositivos médicos. Sistemas de gestión de la calidad. Requisitos para la regulación.

Fuente: Autoría propia

3.2. ANÁLISIS DE MICROENTORNO

El análisis del microentorno es esencial para comprender la diversidad y relevancia de las prótesis y órtesis en la mejora de la calidad de vida y la funcionalidad de las personas en Honduras. Las órtesis, dispositivos externos que brindan soporte, estabilidad o corrección a las estructuras del cuerpo, juegan un papel fundamental en la rehabilitación y tratamiento de lesiones musculoesqueléticas. Por otro lado, las prótesis, dispositivos artificiales que reemplazan partes faltantes del cuerpo, son cruciales para aquellos que han experimentado amputaciones. En este análisis, se explorará la importancia de estos dispositivos en la medicina y rehabilitación, destacando sus ventajas y limitaciones. Además, se abordarán los costos asociados a estos estudios y la aplicación de la I3D, una tecnología revolucionaria que ha mejorado la accesibilidad y personalización de prótesis y órtesis, brindando esperanza y una mayor calidad de vida a quienes los necesitan.

3.2.1. TIPOS DE ÓRTESES

Existen diversos tipos de órtesis, y cada una está diseñada para brindar soporte, estabilidad y corrección a diferentes partes del cuerpo. Existen diferentes órtesis, entre las más comunes están las órtesis de miembro inferior, que incluyen dispositivos para la columna, rodilla, tobillo y pie, apoyando en esguinces, fracturas, artritis y condiciones

neuromusculares. Las órtesis de miembro superior, como las de mano, muñeca y codo, son utilizadas para tratar lesiones ligamentarias, fracturas y síndromes de sobreuso. También existen órtesis para la columna, como corsés torácicos o lumbares, que ayudan a estabilizar y alinear la columna vertebral en casos de escoliosis, hernias discales y lesiones vertebrales. Cada tipo de órtesis está diseñado para abordar necesidades específicas, permitiendo una mejor funcionalidad y calidad de vida para aquellos que las necesitan.

3.2.1.1. *ÓRTESIS DE MIEMBRO INFERIOR*

3.2.1.1.1 *ÓRTESIS DE TOBILLO Y PIE*

Es un tipo de órtesis que permite estabilizar y mantener las articulaciones de tobillo y pi en una posición articular determinada, restringiendo el eventual movimiento provocado por cualquier fuerza muscular, el efecto de la gravedad, entre otras sobre la articulación. La órtesis tobillo pie consiste una valva posterior, fabricada en termoplástico rígido o similar bajo molde, que mantiene el pie en una posición funcional determinada, abarcando desde la punta de los dedos hasta el tercio proximal de la tibia. Como sistema de sujeción presenta cintas de velcro o similar (Ministerio de sanidad, Consumo y Bienestar Social, 2001).

3.2.1.1.2 *ÓRTESIS DE RODILLA*

Las órtesis de rodilla están diseñadas sobre la base de que la traslación o el movimiento anormal se puede restringir mediante la aplicación de un brazo de palanca a la articulación de la rodilla, esto se logra con mayor eficacia cuando el brazo de la palanca se aplica a la distancia de la articulación. (Fitzgerald et al., 2002)

3.2.1.2. *ÓRTESIS DE COLUMNA*

Este tipo de órtesis se emplea para controlar la posición de la columna mediante fuerzas externas, aplicar fuerzas correctivas a curvas anormales, mejorar la estabilidad espinal cuando los tejidos blandos y óseos no cumplen con su función y para restringir los movimientos de los segmentos espinales en el tratamiento conservador o posoperatorio de un trauma, pues protegen los elementos neurales, evitan la deformidad y disminuyen el dolor. Estas órtesis son más efectivas en limitar los movimientos de flexo extensión que los de flexión lateral y de rotación. La efectividad de las órtesis de columna la determina su capacidad para restringir los movimientos gruesos y segmentarios, pero esta se limita por la gran flexibilidad de la columna cervical (Salinas Durán y Restrepo Arbeláez, 2008).

3.2.1.3. *ÓRTESIS DE MIEMBRO SUPERIOR*

Son dispositivos biomecánicos aplicados externamente para restaurar o mejorar la funcionalidad del sistema musculoesquelético. En general los problemas musculoesqueléticos incluyen aquellos relacionados al trauma, deporte e injurias relacionadas al trabajo (accidentes laborales). Algunas de las funciones de estas órtesis y prótesis de miembro superior incluyen:

- Incrementar el rango de movimiento.
- Inmovilizar una extremidad para ayudar a promover la cicatrización tisular.
- Aplicar tracción para corregir o prevenir contracturas.
- Ayudar a prevenir o corregir deformidades manteniendo el alineamiento.
- Asistir en mejorar una función deteriorada.
- Aliviar el dolor.
- Servir como un conector o vínculo para dispositivos de asistencia.
- Bloquear movimientos inadecuados de una articulación.

Las órtesis de miembros superiores también se utilizan frecuentemente en pacientes con problemas neurológicos, tales como parálisis cerebral, lesiones medulares y de nervios periféricos (Arce, 2005).

3.2.2. IDENTIFICACIÓN DE LOS DESAFÍOS Y LIMITACIONES DEL PROCESO ACTUAL

3.2.2.1. *LIMITACIONES EN TÉRMINOS DE PRECISIÓN Y AJUSTES DE LAS ÓRTESIS*

3.2.2.1.1 DISEÑO DIGITAL

El escaso conocimiento en programas informáticos de dibujo 3d debido a que el objeto debe ser creado primero de formato digital, con todos sus detalles para luego ser enviado a la impresora (Bucco, 2016).

3.2.2.1.2 LIMITACIONES GEOMÉTRICAS

La I3D se ha concebido como un método simple de obtención de piezas de prototipado rápido. Sin embargo, en el día a día se presentan diferentes obstáculos que sortear. Uno de los más comunes son las limitaciones del propio proceso de la deposición de material fundido que afectan a las posibilidades geométricas como ser la acción de la gravedad en

el enfriamiento del filamento expulsado provoca una deformación en ciertas artes de la geometría de la pieza (Bucco, 2016).

3.2.2.1.3 SUAVIZADO

El modelo 3D obtenido, luego de la acción de recortado, puede contener imperfecciones propias de las limitaciones del escáner 3D. Estas imperfecciones son porosidades, valles o crestas, que no pertenecen al modelo original y que, además, añaden información errónea que podría ser tratada en las etapas siguientes si no se eliminan. Por esto se hace un suavizado general al modelo 3D (Correa Correa, 2017).

3.2.2.1.4 TAMAÑO DE LA IMPRESORA

Todas las impresoras 3D poseen un software, donde se pueden modificar algunas características de impresión, antes de imprimir. Una modificación importante es la ubicación del modelo 3D dentro del espacio de imprimir, se debe posicionar el modelo 3D de la pieza de tal forma que no varíe su tamaño, con tal de que coincida con las dimensiones de la impresora 3D, ya que las impresoras no son de gran tamaño se deben de tomar las medidas necesarias y las piezas es muy grande deben hacer las impresiones por partes (Antonucci, 2020).

3.2.2.1.5 MATERIALES

Aunque la variedad de materiales usados en la I3D está en constante expansión, aún puede haber limitaciones en cuanto a opciones disponibles para fabricar órtesis. Algunos materiales pueden no tener la resistencia o las propiedades mecánicas adecuadas para ciertos tipos de órtesis. Es importante seleccionar cuidadosamente los materiales y evaluar su idoneidad para el uso previsto (Correa Correa, 2017).

3.2.2.2. *COSTOS ELEVADOS ASOCIADOS A LA MANO DE OBRA Y MATERIALES EN IMPRESIÓN 3D*

La I3D es una tecnología prometedora en la fabricación de prótesis y órtesis personalizadas ya que es un enfoque innovador que ofrece numerosas ventajas tales como la capacidad de crear dispositivos a medida, la reducción de tiempos de producción y la posibilidad de experimentar con diseños y materiales. Sin embargo, es importante tener en cuenta los costos asociados a esta tecnología. Desde la adquisición de equipos y materiales

hasta el tiempo y la mano de obra requeridos, diversos factores deben considerarse al evaluar los costos de la I3D de prótesis y órtesis.

El equipo de I3D puede ser un poco elevado, pero este dependerá en su totalidad de la calidad y la capacidad de la máquina. El precio de estas máquinas puede andar entre los \$2,000 a \$10,000. Otro de los aspectos importantes a destacar respecto a los costos serían los precios de los materiales que pueden rondar los \$40 a \$100 por kilo los filamentos plásticos y unos \$100 a \$200 el litro de resina para impresoras 3D de alta calidad. El software también es un costo que se debe tomar en cuenta ya que existen aplicaciones gratuitas, sin embargo, los softwares más avanzados pueden tener un costo asociado de unos \$500 aproximadamente. Precios estimados según (3DMarket, 2018).

Es importante considerar que, aunque la I3D puede reducir los costos en comparación con los métodos de fabricación tradicionales, aún puede haber gastos considerables, especialmente en la inversión inicial, materiales y mano de obra especializada. Los costos específicos varían según el tipo de impresora que se necesite, el tipo de material y costos de envío de estos aspectos.

3.2.2.3. *IMPORTANCIA DE REDUCIR EL TIEMPO DE ESPERA PARA LA ENTREGA DE LAS ÓRTESIS.*

El sistema de fabricación de órtesis usado presenta muchas deficiencias en pacientes, por la larga espera requerida, la metodología de producción artesanal y el malestar del producto final. Los técnicos responsables de la confección de las órtesis no estarán obligados a llevar a cabo los incómodos procesos de toma de medidas para obtener la forma de dicho dispositivo, los cuales suelen tomar alrededor de una hora y no son precisos. Los pacientes solo deberán permanecer inmóviles por menos de 30 segundos para obtener un modelo de su pierna mucho más preciso en comparación con el logrado mediante el método tradicional.

Los profesionales de la salud relacionados con el cuidado de la marcha de los pacientes se les brinda la oportunidad de observar la evolución de la marcha de los pacientes al utilizar órtesis sin prolongados intervalos de espera, lo que les permite llevar a cabo formulaciones de órtesis, terapias o procedimientos de manera oportuna, fomentando así el adecuado cuidado de la marcha del paciente (Muñoz Camelo y otros, 2016).

3.2.3. EMPRESAS DE FABRICACIÓN DE ÓRTESIS EN HONDURAS

En Honduras la necesidad de una prótesis se debe principalmente a accidentes trágicos que involucran arma blanca (machetes), violencia doméstica, deformidades congénitas, accidentes de trabajo por el poco cumplimiento de reglamentos de seguridad laboral y/o lesiones de personas que emigran buscando el "Sueño Americano", es por ello que se han fundado empresas para la necesidad del pueblo y mejorar la vida del ciudadano hondureño con discapacidades físicas.

3.2.3.1. *INICIATIVAS GUBERNAMENTALES O SIN FINES DE LUCRO CENTRADAS EN TECNOLOGÍAS MÉDICAS Y DISPOSITIVOS ORTOPÉDICOS*

3.2.3.1.1 TELETÓN

En septiembre de 1987 se constituye La Fundación Teletón, adjudicándosele la personería jurídica en Tegucigalpa, Municipio del Distrito Central, con el número 342 del 28 de diciembre de 1987. Siendo una institución dinámica que promueve cambios en la calidad de vida de las personas con discapacidad e impacta en la conciencia de los grupos y personas que mueven la sociedad hondureña. Al ser una institución sin fines de lucro, obtiene sus fondos de los Eventos Teletón anuales, donaciones y cooperación de instituciones humanitarias internacionales, las que contribuyen a un servicio de apoyo médico, terapéutico, psicológico, social y educativo a las personas con discapacidad.

El laboratorio de órtesis y prótesis de la Teletón cuenta con un área de fabricación la cual da mantenimiento y repara órtesis y prótesis de miembro inferior y superior, dirigido a personas que han sufrido la pérdida de una extremidad o que necesitan un soporte especial para miembro inferior o superior. El laboratorio de Órtesis y Prótesis funciona en el Centro de Rehabilitación Integral de San Pedro Sula. (Teletón, 2023)



Ilustración 16 - Logo Teletón

Fuente: (Teletón, 2023)

3.2.3.1.2 CAMO

Fundado en 1993 por la ex enfermera del Cuerpo de Paz, Kathryn M. Tschiegg, RN, BBA, CAMO es una organización sin denominación alguna, pero con fundamentos cristianos, y muy humanitaria que lleva servicios médicos que salvan vidas, educación y desarrollo comunitario a Centroamérica. CAMO ofrece más de 140, 000 servicios que salvan vidas cada. CAMO se centra en dos áreas principales para personas con discapacidades: Laboratorio de Órtesis y Prótesis y Programa de Silla de Ruedas año a las personas pobres que de otra manera no tendrían acceso a la ayuda (CAMO, 2016).



Ilustración 17 - Logo CAMO

Fuente: (CAMO, 2016)

3.2.3.1.3 FUNDACIÓN VIDA NUEVA

La fundación protésico Vida Nueva brinda servicios de calidad de asistencia de rehabilitación integral de las personas con discapacidad de toda Honduras desde el 2008 por el ortoprotésista, Walter Aguilar. El cual creo la fundación debido a la falta de técnicos en el país y por la gran demanda de hondureños amputados debido a la migración y al tres "la bestia" en donde muchos hondureños intentan subirse a él y mueren o pierden extremidades en el intento (CONNECTAS, 2012).



Ilustración 18 - Logo Fundación Vida Nueva

Fuente: (Fundación Vida Nueva, 2018)

3.2.3.2. CLÍNICAS Y LABORATORIOS DE ÓRTESIS Y PRÓTESIS LUCRATIVAS EN HONDURAS

3.2.3.2.1 ORTOPROTÉSICA HN

Ortoprotésica HN es una clínica y laboratorio experimentado en elaboración y venta de productos ortopédicos la cual cuenta con su sede principal en Santa Rosa de Copán y una pequeña sucursal en San Pedro Sula. La clínica se especializa en la fabricación de prótesis de fibra de carbono de alta calidad en extremidades inferiores y superiores (Ortoproteticahn, 2022).



Ilustración 19 - Logo Ortoprotésica

Fuente: (Ortoproteticahn, 2022)

3.2.3.2.2 NEOTEC

NEOTEC es un laboratorio de órtesis y prótesis situada en Tegucigalpa, Honduras la cual se especializa en la fabricación de prótesis de miembro superior e inferior de última generación, su mayor demanda de dispositivos son las prótesis infantiles no convencionales las cuales han logrado que este establecimiento sea reconocido (NEOTEC, 2017).



Ilustración 20 - Logo NEOTEC

Fuente: (NEOTEC, 2017)

3.2.3.3. *EMPRESAS DE TECNOLOGÍAS Y FABRICACIÓN CON ENFOQUE EN IMPRESIÓN 3D Y PERSONALIZACIÓN*

3.2.3.3.1 GUALA MANOS EN ACCIÓN

Es un grupo constituido por estudiantes y profesionales interuniversitario, visionario y comprometido que busca contribuir al desarrollo de la población hondureña. A través de la implementación de tecnologías innovadoras, para la fabricación de herramientas y dispositivos que potencien soluciones accesibles para la población en desventaja social de Honduras. Su misión es contribuir a la rehabilitación y mejorando oportunidades de inclusión social a personas con discapacidad física. Mejorar la calidad de vida de la sociedad con discapacidad física. En GUALA se fabrican prótesis impresas en 3D totalmente mecánicas y materiales biodegradables. La tecnología 3D les permite hacerlas 100% personalizables al gusto de los usuarios (GUALA, 2022).



Ilustración 21- Logo GUALA manos en acción

Fuente: (GUALA, 2022)

3.2.3.3.2 SECRETARIA NACIONAL DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN (SENACIT)

SENACIT apoya al país a través de actividades que promueven la armonización de la relación gobierno-academia-sector privado, la mejora de políticas y programas, el desarrollo de las capacidades y competencias del capital humano, el establecimiento de la infraestructura necesaria para el avance de la ciencia y la tecnología, la mejora de la competitividad del sector productivo y el acceso a mercados regionales y globales.

El centro nacional de ciencia, tecnología e innovación tiene un laboratorio de producción y diseño digital de prótesis con I3D la cual fue fundada en compañía de GUALA para un servicio más amplio de fabricación de dispositivos ortopédicos para el país (SENACIT, 2023).



Ilustración 22 - Logo SINACIT

Fuente: (SENACIT, 2023)

3.2.3.3.3 CALZADORA ORTOPÉDICA LILIAM

Es una empresa que se dedica a la fabricación y restauración de zapatos, plantillas y aparatos ortopédicos especialmente prótesis y ortesis de miembros superiores e inferiores. Tiene su sede en la ciudad de San Pedro Sula, Honduras (Calzadora Ortopédica Liliam, 2020).



Calzadora Ortopédica
Liliam

Ilustración 23 - Logo Calzadora Ortopédica Liliam

Fuente: (Calzadora Ortopédica Liliam, 2020)

IV. METODOLOGÍA

En este capítulo se proporciona una explicación detallada de la metodología utilizada en la investigación. Se describen el enfoque adoptado, las variables de investigación, las técnicas e instrumentos empleados, los materiales utilizados, el tipo de estudio realizado, y finalmente se presenta un cronograma que resume las actividades llevadas a cabo durante la ejecución del estudio.

4.1. ENFOQUE

El enfoque metodológico en esta investigación es mixto, combinando elementos de investigación empírica y sistemática. Se llevo a cabo un estudio de caso que incluyo la recopilación de datos directamente en el Laboratorio de órtesis y prótesis de Teletón donde se observó el proceso de fabricación tradicional y se tomaron medidas cuantitativas. Posteriormente, se realizó una investigación sistemática para evaluar la viabilidad de la automatización y el uso de la I3D en la fabricación de órtesis. En esta fase de investigación se permitió recopilar información teórica y conocimientos relevantes sobre los beneficios y limitaciones de la I3D, al combinar ambos enfoques se obtuvo una visión integral y respaldada por datos, lo que permitió realizar un análisis riguroso y fundamentado en el desarrollo del proyecto de investigación.

4.2. VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

Después de definir el enfoque de la investigación, se procedió a seleccionar las variables investigación cualitativas y cuantitativas que guardan una relación entre sí (tablas 7,8).

La investigación realizada es un estudio observacional y descriptivo, llevada a cabo en el laboratorio de órtesis y prótesis de la fundación Teletón en el periodo de 3 meses entre julio y septiembre.

Nuestra variable dependiente es producción de órtesis, es el eje central de nuestro estudio. Nuestras variables independientes incluyen las etapas de proceso, costos y los tiempos de fabricación. A través del análisis de estas variables independientes identificamos los procesos y recursos involucrados, para realizar la automatización y tener una mejora en la producción de órtesis.

Tabla 7 - Variables Cualitativas de Investigación

Variable Dependiente: Producción de dispositivos						
Variables Cualitativas						
Variab	Dimensio	Definición	Tipo de	Escala de	Instrume	Indicador de
les	nes	operacional	variable	medición	nto	calificación
Dispositivo médico	Clasificaci	Clasificación de los dispositivos médicos como prótesis u órtesis	Cualitativa	Nominal	Ficha de recolección de datos	Prótesis / Órtesis
Etap	Etap	Etap	Cualitativa	Nominal	Ficha de recolección de datos	1. Rectificación del molde positivo en yeso 2. Termoformado del revestimiento blando 3. Termoformado del encaje de polipropileno 4. Alineación de la tuerca en T de alta resistencia con el molde 5. Ensamblado y mecanizado 6. Soldadura y acabado cosmético 7. Producto final
Material utilizado	Tipo de material	Tipo de material empleado en la fabricación de prótesis y órtesis	Cualitativa	Nominal	Ficha de recolección de datos	<ul style="list-style-type: none"> • Polipropileno • Moldes • Etileno Vinil Acetato (EVA) • Tuerca T • Cinta de Velcro • Pie para muñón largo completo • Calcetín tubular • Vendas de yeso • Calcetín de nailon • Homopolímero • Pegamento • Fijador de roscas
Herramientas utilizadas	Herramientas utilizadas	Herramientas utilizadas	Cualitativa	Nominal	Ficha de recolección de datos	<ul style="list-style-type: none"> • Sierra • Cinceles • Lijas • Pinazas • Alicates • Taladro • Herramientas de medición • Martillo

Fuente: Autoría Propia

Variable Dependiente: Producción de dispositivos						
Variables Cualitativas						
Variables	Dimensiones	Definición operacional	Tipo de variable	Escala de medición	Instrumento	Indicador de calificación
Equipo utilizado	Equipos y maquinaria utilizada	Equipos y maquinaria utilizada	Cualitativa	Nominal	Ficha de recolección de datos	<ul style="list-style-type: none"> • Fresadora • Horno • Sierra • Lijadora • Plantilla de alineación • Mesa de alineación

Fuente: Autoría Propia

Tabla 8 - Variables Cualitativas de Investigación

Variables Cuantitativas						
Variables	Dimensiones	Definición operacional	Tipo de variable	Escala de medición	Instrumento	Indicador de calificación
Costos de fabricación	Monto total	Costo asociado a la fabricación de una prótesis u órtesis, incluyendo materiales, mano de obra y recursos	Cuantitativa	Ratio	Ficha de recolección de datos	Sumatoria
	Toma de medidas	Costo de los materiales para tomar las dimensiones del paciente para diseñar y fabricar la órtesis a medida.	Cuantitativa	Ratio	Ficha de recolección de datos	Costo Variable
	Modificación	Gastos asociados con la ejecución de las modificaciones en la órtesis, con el fin de personalizarla según las necesidades particulares del paciente.	Cuantitativa	Ratio	Ficha de recolección de datos	Costo Variable
	Plastificado	Costos relacionados con la aplicación del polipropileno sobre la órtesis.	Cuantitativa	Ratio	Ficha de recolección de datos	Costo Variable
	Finalización y entrega	Implementación de los velcros para la completa fabricación y entrega de la órtesis al paciente.	Cuantitativa	Ratio	Ficha de recolección de datos	Costo Variable

Fuente: Autoría Propia

Variables Cuantitativas						
Variables	Dimensiones	Definición operacional	Tipo de variable	Escala de medición	Instrumento	Indicador de calificación
Tiempo de fabricación	Horas o días	Tiempo requerido para fabricar una prótesis u órtesis	Cuantitativa	Ratio	Ficha de recolección de datos	-
	Toma de medidas	Duración del registro de dimensiones anatómicas del paciente.	Cuantitativa	Ratio	Ficha de recolección de datos	Tiempo de actividad
	Modificación	Tiempo empleado para realizar ajustes y cambios en materiales de la órtesis.	Cuantitativa	Ratio	Ficha de recolección de datos	Tiempo de actividad
	Plastificado	Período en el cual se aplica la capa de polipropileno sobre la órtesis.	Cuantitativa	Ratio	Ficha de recolección de datos	Tiempo de actividad
	Prueba	Evaluación y verificación de la órtesis en un lapso de tiempo.	Cuantitativa	Ratio	Ficha de recolección de datos	Tiempo de actividad
	Finalización y entrega	Duración del proceso de verificación completa y entrega de la órtesis.	Cuantitativa	Ratio	Ficha de recolección de datos	Tiempo de actividad

Fuente: Autoría Propia

Las variables independientes están vinculadas a las dependientes en el contexto de la viabilidad de la automatización y el uso de I3D en la fabricación de órtesis. Las variables independientes representan los aspectos manipulados o tomados en consideración, mientras que en la dependiente representa los resultados observados o miden, al analizar las variables se busca comprender factores que pueden afectar la mejora en el tiempo de fabricación de las órtesis.

4.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS

4.3.1. IMPRESIÓN 3D

Se utilizó una impresora 3D "Creality Ender-3" que pudiera trabajar con diferentes tipos de tecnologías de impresión, como deposición de material fundido (FDM), estereolitografía (SLA), sinterización selectiva por láser (SLS), entre otras. Esta impresora utilizó materiales termoplásticos para construir la órtesis capa por capa.

4.3.2. SOFTWARE MEDIACE3D

El software MediACED3D es único para el diseño personalizado de órtesis impresas en 3D. Utiliza la aplicación de un algoritmo de diseño de plantilla patentado de órtesis, su uso es fácil de manipular tanto que hasta principiantes en el área pueden usarlo de la mejor manera y rápidamente crear un modelo de órtesis impreso en 3D personalizado. Este software fue fundamental al permitir el diseño y la simulación de prototipos de órtesis en un entorno virtual. Fue posible crear modelos tridimensionales precisos y detallados de las órtesis, teniendo en cuenta aspectos como su forma, tamaño y funcionalidad.

4.3.3. SOFTWARE ULTIMAKER CURA

El software UltiMaker CURA desarrollado por ULTIMAKER es de código abierto utilizado para la preparación de impresión 3D, permite que los usuarios puedan importar los modelos 3D, realizar ajustes de escala, configuración de parámetros como la velocidad y calidad, generar soportes si es necesario para una mejor impresión. Los pasos clave fueron importar el modelo 3D, ajustar parámetros como material y resolución y posicionar modelo. El software generó un archivo G-Code con instrucciones para la impresora 3D.

4.4. MATERIALES

Durante el desarrollo de esta tesis, se utilizaron materiales y herramientas clave para investigar y fabricar órtesis con la tecnología de I3D. Entre los materiales utilizados se encuentran una impresora 3D modelo "Creality Ender-3" para materializar los diseños, una computadora para el diseño y control de los procesos, y un dispositivo USB para el almacenamiento y transferencia de datos. Además, se emplearon diferentes materiales de impresión específicos para la I3D, así como herramientas post fabricación necesarias para el acabado y ajuste final de las órtesis impresas. Estos materiales y herramientas desempeñaron un papel fundamental en la ejecución de la tesis y en la obtención de resultados relevantes para la investigación.

4.5. METODOLOGÍA DE ESTUDIO

- Se efectuaron preguntas exploratorias para comprender el proceso de elaboración a los ortoprotesistas del laboratorio de órtesis y prótesis de la Teletón.
- Se realizó un análisis detallado de las etapas y procesos involucrados en la elaboración de órtesis en donde se identificaron los recursos y tiempos requeridos en cada paso.
- El tiempo requerido para cada etapa del proceso de fabricación de la órtesis de pie y tobillo (AFO) se cronometró utilizando los métodos actuales. Se registró el tiempo dedicado a preparar materiales, medir, diseñar y construir la órtesis.
- Asimismo, se realizó un análisis comparativo de los costes de producción de órtesis utilizando métodos actuales y utilizando I3D. Se consideran los costos de material, mano de obra y tiempo requeridos para cada método.
- Se desarrolló un enfoque de diseño utilizando un software de modelado 3D "MediACED3D y se adaptó a las necesidades específicas de la órtesis a fabricar.
- Se realizó la impresión de una órtesis utilizando tecnología de I3D. Se evaluó la calidad y precisión de la órtesis impresa.

4.6. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Tabla 9 - Cronograma de Actividades

CRONOGRAMA DEL PROYECTO										
Título del proyecto:	VIABILIDAD DE AUTOMATIZACIÓN Y USO DE IMPRESIÓN 3D EN LA FABRICACIÓN DE ÓRTESIS EN TELETÓN SAN PEDRO SULA.									
	Semanas									
Actividad *	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Estudio de flujo de trabajo										
Evaluación del tiempo de elaboración										
Propuesta de método de diseño										
Prueba de impresión de piezas										
Análisis de resultados y conclusiones										
Entrega de informe final										

Fuente: Autoría Propia

V. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En la sección de resultados y análisis, se explorarán a fondo los datos recopilados, exponiendo los logros y conclusiones fundamentales de la investigación.

5.1. PERCEPCIONES Y EXPERIENCIAS DE LOS ORTOPROTESISTAS

En esta sección, se exploraron las percepciones y experiencias de los ortoprotesistas del laboratorio de órtesis y prótesis de Teletón en relación con la propuesta de automatización de la fabricación de órtesis mediante la tecnología de I3D. Con el propósito de profundizar en sus perspectivas, se llevaron a cabo una serie de preguntas detalladas en el [Anexo 1](#).

Las preguntas de exploración abordaron diversos aspectos relacionados con la fabricación tradicional de órtesis, permitiendo obtener una comprensión más amplia de esta área con la que no se estaba previamente familiarizado. Además, se habló sobre las ventajas percibidas de la automatización mediante la impresión 3D, las posibles inquietudes y cómo los ortoprotesistas perciben que esta automatización podría afectar su papel profesional y la relación con los pacientes. De igual forma, se investigó si tenían experiencia previa con la tecnología de impresión 3D y cuáles eran sus expectativas en términos de calidad y personalización de las órtesis.

Las respuestas proporcionadas por los ortoprotesistas a estas preguntas nos ayudaron a ver cómo se percibe la propuesta de automatización desde la perspectiva de aquellos que desempeñan un papel esencial en la fabricación y atención de pacientes con órtesis. Estas percepciones son importantes en la evaluación de la viabilidad y en el proceso de implementación exitosa de la tecnología de impresión 3D en el laboratorio de Teletón.

5.2. ANÁLISIS DE LOS MÉTODOS TRADICIONALES DE TELETÓN SAN PEDRO SULA

Los métodos tradicionales utilizados actualmente en el laboratorio de prótesis y órtesis en Teletón constan de técnicas manuales que llevan mucho tiempo y, procesos laboriosos. Estos involucran diferentes herramientas y elementos que ocupan mucho espacio en el laboratorio. Estos métodos, aunque han demostrado ser efectivos en su momento, presentan desafíos inherentes en términos de tiempo, costos y la capacidad de personalización que exige la atención médica moderna. La evaluación que se realizó destaca

tanto sus fortalezas como limitaciones, que es lo que impulsó la búsqueda de técnicas alternativas más eficientes y precisas.

5.2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO TRADICIONAL

El primer paso que se lleva a cabo en el proceso de fabricación de una órtesis con el método tradicional es realizar una cita con un ortoprotesista que evaluará al paciente para realizar la toma de medidas donde se utiliza el yeso como material principal para poder realizar el molde el cual se le denomina molde negativo.



Ilustración 24 - Toma de Medidas del método convencional

Fuente: Autoría Propia

5.2.1.1. PASOS DE FABRICACIÓN

5.2.1.1.1 VACIADO

Luego de la toma de medidas y teniendo en mano el molde negativo se realiza un vaciado en el cual se utiliza yeso en polvo para rellenar fisuras del molde negativo y pasa a ser un molde positivo que se usa para el posterior modificado y plastificado.



Ilustración 25 - Proceso de vaciado del método convencional

Fuente: Autoría Propia

5.2.1.1.2 MODIFICADO

Se hacen correcciones al molde positivo tales como el ajuste de tamaño donde se redimensiona el molde para adaptarse a las dimensiones específicas del paciente. Se realizan mediciones precisas para asegurarse de que la órtesis se ajuste correctamente y proporcione el soporte adecuado. Luego de ajustar el tamaño se realiza un perfilado para modificar el contorno para que coincida con la forma deseada de la órtesis ya que necesita seguir formas anatómicas específicas. y ajuste de ángulos donde se modifican los ángulos o articulaciones para replicar la posición deseada del paciente y asegurar su funcionamiento adecuado.



Ilustración 26 - Proceso de modificado del método tradicional

Fuente: Autoría Propia

5.2.1.1.3 PLASTIFICADO

Para plastificar el molde positivo se utiliza el polipropileno como material que se calienta en un horno o un calentador especializado hasta alcanzar la temperatura necesaria de 180° C para que sea moldeable. Mientras el polipropileno se calienta en el horno, el molde positivo se coloca en un filtro de succión. Cuando el polipropileno se calienta a la temperatura adecuada, se retira del horno y se sitúa sobre el molde y una vez que el material esté colocado correctamente se acciona el filtro de succión y se cierra el molde con el molde positivo ya plastificado.



Ilustración 27 - Proceso de plastificado del método tradicional

Fuente: Autoría Propia

5.2.1.1.4 CORTE DE MOLDE PLASTIFICADO

El corte del molde se realiza con una sierra con cuchillas afiladas que corte con precisión para obtener bordes limpios y rectos, luego con una máquina de desbastado para eliminar exceso de material, esculpir detalles y afinar bordes para mejorar la comodidad y ajuste de la órtesis y también una maquina pulidora para suavizar las superficies eliminando posibles rebabas o asperezas. Luego de tener la órtesis completa y pulida se le colocan remaches para adaptarle el velcro que se usa para sostener la órtesis al paciente.



Ilustración 28 - Corte de molde plastificado del método tradicional

Fuente: Autoría Propia

5.2.1.1.5 PULIDO DE PIEZA

El proceso de pulido de una órtesis tradicional implica lijar la superficie áspera y obtener una superficie suave, cómoda y segura para el paciente.



Ilustración 29 - Pulido de la pieza del método tradicional

Fuente: Autoría Propia

5.3. ANÁLISIS DE IMPRESIÓN 3D

El proceso de prototipado se llevó a cabo utilizando el software MediACED3D en conjunto con filamento PLA y PETG, y se siguió una serie de pasos meticulosos para crear la representación tridimensional de las órtesis. Inicialmente, se importaron los datos anatómicos obtenidos mediante escaneo en 3D al software. Luego, se procedió a segmentar y modelar digitalmente las áreas específicas de la órtesis en función de las necesidades del paciente y los requisitos médicos.

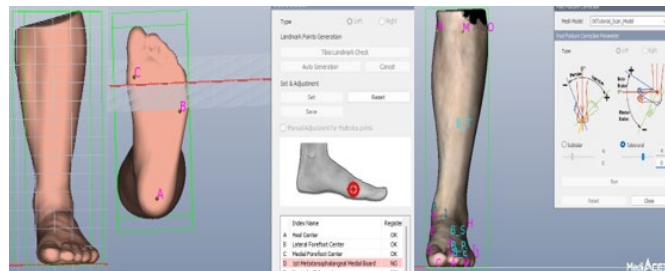


Ilustración 30 - Segmentación del modelo digital

Fuente: Autoría Propia

Al terminar de segmentar y modelar las áreas específicas se establece la plantilla de la órtesis y se selecciona dependiendo la enfermedad del paciente. Se guarda el archivo stl y se manda al software CURA para determinar los parámetros de impresión y por último se manda a imprimir.

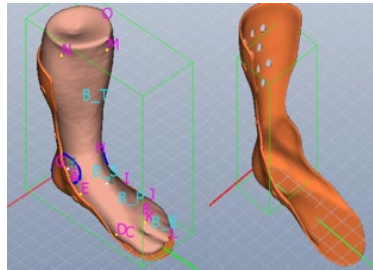


Ilustración 31 - Fabricación de la Órtesis mediante MediACED3D

Fuente: Autoría Propia



Ilustración 32 - Órtesis impresa en material PLA

Fuente: Autoría Propia



Ilustración 33 - Órtesis impresa en material PETG

Fuente: Autoría Propia

5.4. ANÁLISIS DE COSTOS Y EFICIENCIA

La tabla elaborada muestra un análisis detallado de los costos asociados al método tradicional de fabricación de órtesis. A través de una estructura organizada que muestra la unidad, cantidad utilizada, precio unitario y precio total, se logró tener una visión completa de los recursos monetarios y temporales requeridos en cada etapa del proceso tradicional. La evaluación se extiende a considerar factores como la mano de obra, los materiales, el tiempo de producción y las necesidades de personalización.

Tabla 10 - Costos de materiales de fabricación en Método Tradicional

Costos de materiales de fabricación en Método Tradicional				
Materia prima	Unidad/Medida	Cantidad utilizada	Precio Unit. Lempiras	Precio Total Lempiras
Fase 1: Toma De Medida				
Venda de yeso de 4"x 5 yds	Unidad	2	L.97.00	L.194.00
Venda de yeso de 6"x 5 yds	Unidad	1	L.142.00	L.142.00
Stokinette de 4"	cm	80	L.0.55	L.44.00
Guantes desechables	Par	1	L.7.00	L.7.00
Total				L.387.00
Fase 2: Modificación				
Yeso en polvo	lbs	8	L.23.00	L.184.00
Total				L.184.00
Fase3: Plastificado				
PPP de 5mm (70X40 cm2)	cm2	2800	L.0.10	L.280.00
Media femenina	unidad	1	L.20.00	L.20.00
Total				L.300.00
Fase 4: Prueba				
Fase 5: Finalización y Entrega				
Velcro hembra de 1"	cm	70	L.0.05	L.3.50
Velcro macho de 1"	cm	70	L.0.05	L.3.50
Velcro macho de 2"	cm	30	L.0.10	L.3.00
Velcro hembra de 2"	cm	30	L.0.10	L.3.00
Remaches Tubular pequeño	und	6	L.3.00	L.18.00
Alveolux verde 5.5 mm (30x50cm2)	cm2	1500	L.0.10	L.150.00
Total				L.181.00
TOTAL, MATERIALES				L1,052.00

Fuente: Autoría Propia

En contraste con el método tradicional, la evaluación de costos y eficiencia en el proceso de fabricación de órtesis mediante I3D revela un panorama marcado por la innovación y la optimización. La tabla 10 que se elaboró refleja con precisión cómo la I3D reduce los costos

asociados a la mano de obra y los materiales, al tiempo que disminuye el tiempo de producción de manera significativa. La utilización de tecnologías de I3D ofrece una mayor flexibilidad para la personalización de órtesis, a la vez que reduce el desperdicio de materiales y minimiza la necesidad de procesos manuales.

Tabla 11 - Costos de materiales de fabricación en Impresión 3D

Costos de materiales de fabricación en Impresión 3D				
Materia prima	Unidad/Medida	Cantidad utilizada	Precio Unit. Lempiras	Precio Total Lempiras
Fase 1: Toma De Medida				
Fase 2: Modificación				
Fase3: Impresión				
Filamento PLA	g	100	L.0.80	L.80.00
Total				L.80.00
Fase 5: Finalización y Entrega				
Velcro hembra de 1"	cm	70	L.0.05	L.3.50
Velcro macho de 1"	cm	70	L.0.05	L.3.50
Velcro macho de 2"	cm	30	L.0.10	L.3.00
Velcro hembra de 2"	cm	30	L.0.10	L.3.00
Alveolux verde 5.5 mm (30x50cm2)	cm2	1100	L.0.10	L.110.00
Total				L.123.00
TOTAL, MATERIALES				L203.00

Fuente: Autoría Propia

En la tabla 11 se presenta una comparativa detallada de los costos de materiales asociados con los enfoques de fabricación de órtesis. Se desglosan los costos de los materiales utilizados en cada fase del proceso, desde la toma de medidas hasta la fase de finalización y entrega. Se observa que la I3D tiene un costo total de materiales considerablemente más bajo en comparación con el método tradicional. Esta observación podría tener un impacto significativo en la toma de decisiones relacionadas con la fabricación de órtesis, ya que la reducción de costos de los materiales puede contribuir a la accesibilidad de las órtesis para un mayor número de personas, además de aumentar la producción.

Tabla 12 - Costos de materiales de fabricación del Método Tradicional VS Impresión 3D

Costos de materiales de fabricación del Método Tradicional VS Impresión 3D					
Materia prima	Unidad/Medida	Cantidad utilizada	Precio Unit. Lempiras	Método Tradicional Total Lempiras	Impresión 3D Total Lempiras
Fase 1: Toma De Medida					
Venda de yeso de 4"x 5 yds	Unidad	2	L.97.00	L.194.00	N/A
Venda de yeso de 6"x 5 yds	Unidad	1	L.142.00	L.142.00	N/A
Stokinette de 4"	cm	80	L.0.55	L.44.00	N/A
Guantes desechables	Par	1	L.7.00	L.7.00	N/A
Total				L.387.00	L0.00
Fase 2: Modificación					
Yeso en polvo	lbs	8	L23,00	L.184.00	N/A
Total				L.184.00	L.0.00
Fase3: Plastificado / Impresión					
PPP de 5mm (70X40 cm2)	cm2	2800	L.0.10	L.280.00	N/A
Media femenina	unidad	1	L.20.00	L.20.00	N/A
Filamento PLA	g	100	L.0.80	N/A	L.80.00
Total				L.300.00	L.80.00
Fase 4: Prueba					
Fase 5: Finalización y Entrega					
Velcro hembra de 1"	cm	70	L.0.05	L.3.50	L.3.50
Velcro macho de 1"	cm	70	L.0.05	L.3.50	L.3.50
Velcro macho de 2"	cm	30	L.0.10	L.3.00	L.3.00
Velcro hembra de 2"	cm	30	L.0.10	L.3.00	L.3.00
Remaches Tubular pequeño	und	6	L.3.00	L.18.00	N/A
Alveolux verde 5.5 mm (30x50cm2)	cm2	1500	L.0.10	L.150.00	L.110.00
Total				L.181.00	L.123.00
TOTAL MATERIALES				L1,052.00	L.203.00

Fuente: Autoría Propia

5.5. CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN Y TIEMPOS DE ENTREGA

En el contexto de la fabricación de órtesis, la evaluación de la capacidad de producción y los tiempos de entrega se presenta de manera distinta entre el método tradicional y la I3D. En el método tradicional, la capacidad y los tiempos dependen de la experiencia manual y la coordinación entre especialistas, lo que puede llevar a variabilidad en los plazos. En contraste, la I3D ofrece una capacidad más eficiente y predecible, con tiempos de entrega más ajustados debido a la automatización y la optimización de los procesos de fabricación. Las tablas comparativas reflejan estos enfoques al desglosar los pasos y tiempos involucrados en cada método.

En el método tradicional, el proceso de fabricación de órtesis consta de cinco fases distintas, cada una de las cuales requiere un tiempo específico para su ejecución. El tiempo total estimado para completar todo el proceso es de 6 horas y 10 minutos. La tabla 12 proporciona una visión detallada de los tiempos involucrados en cada etapa, lo que es fundamental para la planificación de la producción y la gestión de tiempos de entrega.

Tabla 13 - Tiempos de fabricación del método tradicional

Tiempos de fabricación del Método Tradicional	
Fases	Tiempo de ejecución
Fase 1: Toma De Medida	0:30:00
Fase 2: Modificación	3:00:00
Fase3: Plastificación	2:00:00
Fase4: Prueba	0:10:00
Fase 5: Finalización y Entrega	0:30:00
TIEMPO TOTAL	6:10:00

Fuente: Autoría Propia

En la tabla 14 refleja el proceso de I3D, se observan diferencias notables en comparación con el método tradicional. Estas diferencias resaltan cómo la automatización inherente a la I3D revoluciona la capacidad de producción y los tiempos de entrega.

En la fase de toma de medida, la I3D reduce drásticamente el tiempo a tan solo 5 minutos. La fase de modificación también es significativamente más eficiente en la I3D, tomando 30 minutos en comparación con las 3 horas del método tradicional. Lo más notable es la incorporación de la fase de I3D, que lleva 16 horas, pero que permite la producción en paralelo de múltiples unidades, generando un ritmo aproximado de 1 unidad cada 40 minutos.

La I3D elimina la fase de plastificación, ya que esta tecnología crea las órtesis directamente a partir de datos digitales, evitando la necesidad de moldes y procesos manuales. Aunque el proceso de impresión en sí es más largo, la automatización permite una mayor previsibilidad en los tiempos de entrega y una reducción de la variabilidad. Las fases de prueba, finalización y entrega también se benefician de la eficiencia de la I3D.

Tabla 14 - Tiempos de fabricación en impresión 3D

Tiempos de fabricación en Impresión 3D	
Fases	Tiempo de ejecución
Fase 1: Toma De Medida	0:5:00
Fase 2: Modificación	0:30:00
<p>Nota: Se proyecta la impresión de la órtesis, lo cual permitirá iniciar el proceso de fabricación de la siguiente, resultando en un ritmo aproximado de producción de 1 unidad cada 40 minutos.</p>	
Fase3: Impresión	16:00:00
Fase4: Prueba	0:10:00
Fase 5: Finalización y Entrega	0:10:00
TIEMPO TOTAL	16:55:00

Fuente: Autoría Propia

Los tiempos de fabricación de los métodos tradicional e I3D varían considerablemente, mostrando en la tabla 15 sus diferencias. La impresión 3D ofrece ventajas en términos de tiempo de ejecución en la mayoría de las fases de fabricación. En particular, la fase de toma de medidas y la fase de modificación requieren considerablemente menos tiempo en la I3D en comparación al método tradicional. Sin embargo, en la fase de plastificación/impresión requiere menos tiempo el método tradicional, esto se debe a que la I3D requiere un tiempo mayor en cuanto a la impresión. A pesar de esto, el ritmo de producción de una unidad de órtesis cada 40 minutos hace que la I3D compita con el método tradicional y al tener más de una impresora la producción sea mayor.

Tabla 15 - Tiempo de fabricación del Método Tradicional vs Impresión 3D

Tiempo de fabricación del Método Tradicional vs Impresión 3D		
Fases	Tiempo de ejecución en Método Tradicional	Tiempo de ejecución en Impresión 3D
Fase 1: Toma De Medida	0:30:00	0:5:00
Fase 2: Modificación	3:00:00	0:30:00
Fase3: Plastificación	2:00:00	16:00:00
Fase4: Prueba	0:10:00	0:10:00
Fase 5: Finalización y Entrega	0:30:00	0:10:00
TIEMPO TOTAL	6:10:00	16:55:00
<p>Nota: En la impresión 3D se proyecta la impresión de la órtesis, lo cual permitirá iniciar el proceso de fabricación de la siguiente, resultando en un ritmo aproximado de producción de 1 unidad cada 40 minutos.</p>		

Fuente: Autoría Propia

5.6. CALIDAD Y DURABILIDAD DE LAS ÓRTESIS IMPRESAS EN 3D

Esta sección se centra en la evaluación de la calidad y la durabilidad de las órtesis fabricadas utilizando la tecnología de I3D en comparación con el método tradicional, teniendo en cuenta nuestro criterio de análisis. Se analizan diversas métricas relacionadas con las dimensiones, el peso, la flexibilidad, el ajuste, la seguridad, la durabilidad y la comodidad de las órtesis. La comparación entre ambos enfoques permitirá comprender cómo la I3D afecta a la experiencia global del usuario y la eficacia del tratamiento ortopédico.

La Tabla 16 presenta una comparación detallada de métricas entre la fabricación de órtesis mediante I3D y los métodos convencionales. Cada métrica se evalúa en una escala de 1 a 5, donde 1 indica el rendimiento más bajo y 5 el rendimiento más alto.

Tabla 16 - Comparación de métricas entre métodos de Fabricación

Métrica	Impresión 3D	Método Convencional
Dimensión	4	4
Peso	5	3
Flexibilidad	4	4
Ajuste	4	5
Seguridad	5	5
Durabilidad	5	5
Comodidad	5	4
Total de Satisfacción	4,6	4,3

Fuente: Autoría Propia

5.6.1. ANÁLISIS DE MÉTRICAS

En cuanto a las dimensiones de las órtesis, ambos métodos muestran una puntuación de 4, lo que sugiere que tanto la I3D como el método convencional logran dimensiones adecuadas para las órtesis. Esto indica que la precisión dimensional de la I3D está a la par con el enfoque convencional.

En relación al peso de las órtesis, la I3D obtiene una puntuación de 5 en peso, mientras que el método convencional recibe una puntuación de 3. Esto indica que las órtesis impresas en 3D son más livianas en comparación con las fabricadas de manera convencional, lo que puede mejorar la comodidad para los usuarios

Tanto la I3D como el método convencional obtienen una puntuación de 4 en flexibilidad. Esto sugiere que ambas tecnologías pueden lograr niveles similares de flexibilidad en las órtesis, adaptándose a las necesidades de los pacientes.

La I3D obtiene una puntuación de 4 en ajuste, mientras que el método convencional obtiene 5. Esto sugiere que las órtesis impresas en 3D pueden requerir cierto ajuste adicional en comparación con las órtesis convencionales.

Ambos métodos reciben puntuaciones de 5 en seguridad y durabilidad, lo que indica que tanto las órtesis impresas en 3D como las convencionales son igualmente seguras y duraderas.

Las órtesis impresas en 3D obtienen una puntuación de 5 en comodidad, mientras que las órtesis convencionales reciben una puntuación de 4. Esto sugiere que las órtesis impresas en 3D pueden brindar una mayor comodidad a los usuarios.


La puntuación total de satisfacción es de 4.6 para las órtesis impresas en 3D y de 4.3 para las órtesis convencionales. Esto indica que las órtesis impresas en 3D tienden a tener una satisfacción ligeramente mayor por parte de los usuarios en comparación con las órtesis convencionales.

5.7. PROPUESTA DE PROYECTO

El objetivo de esta propuesta es desarrollar un sistema de fabricación de órtesis que combine tecnologías 3D de vanguardia para crear un proceso más eficiente, personalizado y accesible. Al integrar un escáner 3D para la captura precisa de la geometría del paciente, una impresora 3D para la producción precisa de las órtesis, software avanzado para el diseño y la optimización, y un filamento de alta calidad y durabilidad, buscamos establecer un nuevo paradigma en la atención ortopédica reduciendo gastos y tiempo en la fabricación de los dispositivos médicos.

5.7.1. SOFTWARE (MEDIACE3D)

Tabla 17 - Propuesta de Software MediACED3D

Propuesta		
Nombre de la empresa	RealDimension Inc.	SOFTWARE 
Ubicación	Republic of Korea	
Phone: +82 (53) 710 8310		
Email: realdims@realdimension.kr		
ARTICULO	DURACIÓN	PRECIO
Instalación del Software	Ilimitado	-
Licencia miembro inferior	1 mes	\$120.00
Licencia miembro superior	1 mes	\$280.00
Licencia plantillas	1 mes	\$250.00
<i>Nota: Al contactar al proveedor se puede negociar licencias por año o vitalicia.</i>		
Descripción		
MediACE3D es un software CAD 3D único para el diseño personalizado de órtesis impresas en 3D. Mediante la aplicación de un algoritmo de diseño de plantilla patentado, incluso los principiantes pueden diseñar fácil y rápidamente un modelo de órtesis impreso en 3D personalizado.		

Fuente: Autoría Propia


Se propone optar por el software MediACE3D como solución principal para automatizar la fabricación de órtesis en el laboratorio de órtesis y prótesis de la Teletón debido a una serie de razones clave lo cual marcará una diferencia significativa. En primer lugar, MediACE3D simplifica el proceso de diseño personalizado en 3D. Su algoritmo de diseño de plantilla patentado permite crear órtesis adaptadas a las necesidades únicas de cada paciente, incluso sin experiencia previa en diseño CAD. Esta simplicidad podría acelerar el proceso de diseño, lo que resultaría en una mayor eficiencia y una reducción significativa en los tiempos de entrega.

MediACE3D ofrece la posibilidad de crear órtesis exactas y perfectamente ajustadas, lo cual es fundamental para el bienestar de los pacientes. Se confía en que MediACE3D cumplirá con estos estándares de manera excepcional. La adaptabilidad de MediACE3D a las necesidades cambiantes es también un factor clave en la elección. La interfaz intuitiva permite ajustar el diseño de las órtesis según las especificaciones cambiantes y las preferencias de los profesionales de la ortopedia.

Además de mejorar la calidad de las órtesis, se reconoce el potencial de MediACE3D para reducir costos operativos y de mano de obra. Simplificar el proceso de diseño y fabricación no solo aumentará la eficiencia, sino que también ayudará a optimizar el uso de recursos y mejorar la rentabilidad del negocio. La flexibilidad de las opciones de licencia también fue un factor determinante en nuestra decisión. La posibilidad de elegir entre licencias mensuales, anuales o vitalicias permite adaptar la inversión según las necesidades y presupuesto.

5.7.2. ESCÁNER (HEALTH CARE PARTNER 3D SCANNER)

Tabla 18 - Propuesta de Escáner 3D Health Care Partner


Propuesta 3		
Nombre de la empresa	Creaform Inc.	
Ubicación	Cánada	
Phone: +1-418-833-4446		
Email: info@creaform3d.com		
ARTICULO	DURACIÓN	PRECIO
Dispositivo	-	\$10,000.00
Software (Incluido)	-	-
<p align="center">Descripción</p> <p>El escáner 3D Health Care Partner es un escáner portátil de luz blanca diseñado para ser utilizado en aplicaciones de salud.</p> <p>El escáner 3D Health Care Partner tiene una serie de características que lo hacen ideal para aplicaciones de salud. Estas incluyen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Alta precisión: El escáner tiene una precisión de hasta 0,05 mm, que es suficiente para la mayoría de las aplicaciones de salud. • Velocidad de escaneo rápida: El escáner puede escanear un cuerpo humano completo en solo unos minutos. • Diseño portátil: El escáner es liviano y fácil de transportar, lo que lo hace ideal para su uso en entornos clínicos. • Operación segura para los ojos: El escáner utiliza una longitud de onda de luz segura, por lo que se puede utilizar de forma segura en pacientes. <p>El escáner 3D Health Care Partner se puede utilizar para una variedad de aplicaciones de salud, que incluyen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Órtesis y prótesis: El escáner se puede utilizar para crear modelos precisos de los cuerpos de los pacientes, que se pueden utilizar para crear órtesis y prótesis personalizadas. • Planificación quirúrgica: El escáner se puede utilizar para crear modelos 3D de la anatomía de los pacientes, que se pueden utilizar para planificar procedimientos quirúrgicos. • El escáner 3D Health Care Partner es una herramienta versátil y potente que se puede utilizar para una variedad de aplicaciones de salud. Es un activo valioso para cualquier profesional de la salud que necesite crear modelos 3D precisos y detallados de los cuerpos de los pacientes. 		

Fuente: Autoría propia

Se ha seleccionado el escáner 3D Health Care Partner como nuestra elección principal para la automatización de la fabricación de órtesis. Su tecnología 3D nos permitiría obtener mediciones precisas de las extremidades de los pacientes, lo que es muy importante para hacer órtesis a medida. Su interfaz de usuario es relativamente fácil de usar, lo que podría acelerar el proceso de diseño y fabricación. Hay muchos escáneres en el mercado, pero pocos con énfasis en la salud lo cual hace que el health care partner 3d scanner sobresalga por su precio y singularidad de uso.

5.7.3. IMPRESORA 3D (ENDER-5 PLUS)

Tabla 19 - Propuesta de la Impresora 3D Ender-5 Plus

Propuesta 3			
<i>Nombre de la empresa</i>	Creality	<p>Ender-5 Plus</p> 	
<i>Ubicación</i>	China		
<i>Phone: +86-0571-85801196</i>			
<i>Email: isale@creality3dofficial.com</i>			
ARTICULO		DURACIÓN	PRECIO
Ender-5 Plus		-	\$579.00
Software (Incluido)		-	-
<p>Descripción</p> <p>La Ender-5 Plus es una impresora 3D de sobremesa de gran formato fabricada por Creality. Es una versión mejorada de la Ender-5, con un volumen de impresión más grande, una estructura más robusta y una serie de características mejoradas.</p> <p>El volumen de impresión de la Ender-5 Plus es de 350 x 350 x 400 mm, lo que la convierte en una de las impresoras 3D de sobremesa más grandes del mercado. La Ender-5 Plus sería ideal para imprimir órtesis por varias razones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Su gran volumen de impresión permite imprimir órtesis de gran tamaño, como férulas para extremidades inferiores y superiores. • Su nivelación automática de la cama de impresión y su sensor de filamento ayudan a evitar errores durante la impresión. • En particular, el gran volumen de impresión de la Ender-5 Plus es ideal para imprimir órtesis para extremidades inferiores, como férulas para piernas y tobillos. Estas órtesis a menudo son grandes y complejas, y requieren un volumen de impresión generoso para garantizar que se ajusten correctamente al paciente. <p>La Ender-5 Plus acepta una variedad de filamentos para imprimir, incluyendo:</p> <ul style="list-style-type: none"> • PLA: Un material de impresión 3D popular, el PLA es fuerte, duradero y fácil de imprimir. Es una buena opción para la mayoría de las aplicaciones, incluyendo órtesis. • PETG: Un material más resistente que el PLA, el PETG es una buena opción para aplicaciones donde se requiere una mayor durabilidad. • ABS: Un material más fuerte y duradero que el PETG, el ABS es una buena opción para aplicaciones industriales. • TPU: Un material flexible, el TPU es una buena opción para aplicaciones donde se requiere flexibilidad. 			

Fuente: Autoría propia

La impresora creality Ender-5 Plus cuenta con una estructura de marco sólida con una gran área de construcción. Permite la producción de órtesis de mayor tamaño, lo que es crucial para adaptarse a las necesidades específicas de los pacientes y sus anatomías. Su sistema de extrusión directa y su plataforma de impresión calefactada contribuyen a una mejor adherencia de los materiales y a una mayor facilidad de uso. Tiene una precisión mejorada que garantiza que las órtesis impresas en 3D se ajusten de manera óptima y cómoda. Esta impresora ofrece una solución avanzada para llevar a cabo la automatización de la fabricación de órtesis.

5.7.4. FILAMENTO

Se optó por el filamento PETG debido a sus propiedades mecánicas y su biocompatibilidad. Es un material duradero y resistente, lo que lo hace ideal para la impresión de órtesis en 3D, ya que puede soportar mucho peso, como el de un adulto, sin deteriorarse o deformarse fácilmente. Además, su flexibilidad permite un ajuste cómodo al pie de los pacientes.

Tabla 20 - Lista de Filamentos y sus propiedades mecánicas

Materiales	Densidad [kg/m] ³	Precio [\$/kg]	Módulo de Young [GPa]	Esfuerzo último [MPa]	Resistencia a la compresión [MPa]	Elongación [%]
PLA	1410	3.22	4.24	32.8	39.4	6.1
PETG	1280	2.71	2.11	52.9	63.5	118
ABS	1060	3.24	2.76	49.6	86.2	60
PP	1250	1.71	3.13	26.4	29.5	27

Fuente: (Sarmiento Anchundia & Salazar Loor, 2022)

En la tabla 20, se observa que el PETG tiene una densidad de 1280 [kg/m]³, ubicándolo en un rango de densidad intermedio, esto significa que las órtesis impresas con este material tendrán un peso adecuado para el uso en pacientes.

El PETG es más económico en términos de precio por kilogramo en comparación con el PLA y el ABS sin embargo es más caro que el PP, pero se tienen que tener en cuenta otros factores como la resistencia, flexibilidad y sobre todo la adquisición del filamento.

En relación con el módulo de Young, se observa que el PETG tiene un valor de 2.11 Gpa, lo que lo sitúa como un material menos rígido en comparación con los otros filamentos. Esta

característica beneficia la adaptabilidad de las órtesis ya que tienen una mayor flexibilidad y un mayor nivel de comodidad durante su uso

Respecto al "Esfuerzo último [MPa]" el PETG presenta un valor de 52.9 MPa, lo cual lo hace más resistente a la tensión en comparación a los otros materiales. Esto garantiza una mayor durabilidad y resistencia de las órtesis.

El PETG tiene una resistencia a la compresión de 63.5 MPa, lo cual es importante para las órtesis ya que deben soportar cargas de compresión sin deformarse y es el segundo con más resistencia después del ABS.

En cuanto a la elongación el PETG muestra el valor más alto con un 118%. Esto significa que las órtesis pueden doblarse y estirarse significativamente antes de romperse. Esto es importante para que las órtesis sean cómodas y flexibles.

5.8. PLAN DE INVERSIÓN Y ADQUISICIONES

En esta sección, se detalla el enfoque financiero y logístico fundamental para llevar a cabo la propuesta de automatización de la fabricación de órtesis en el laboratorio de órtesis y prótesis de Teletón, que implica la transición desde los métodos tradicionales hacia la tecnología de I3D. La implementación de esta automatización requiere una cuidadosa planificación financiera y la adquisición de los recursos necesarios para garantizar la eficiencia y la calidad en el proceso de producción.

En primer lugar, se presenta un desglose completo de los costos involucrados en la adopción de la impresión 3D como tecnología central en la fabricación de órtesis. Esto incluye la inversión en el software MediACED3D y en el scanner Health Care Partner 3D, así como la capacitación del personal para sus usos adecuados. Se describen la cantidad de impresoras, modelos y especificaciones técnicas de las impresoras 3D que se planea adquirir, así como los proveedores. Además, se examinan las inversiones necesarias en materiales de impresión 3D, como los carretes de filamentos de PETG.

Tabla 21 - Plan de Inversión Inicial para la automatización de laboratorio de Órtesis y Prótesis de Teletón

Plan de Inversión Inicial			
CONCEPTO	Cantidad	Precio Unitario Lempiras	Precio Total Lempiras
Computadora " Dell Inspiron 27 7000"	1	L.17,150.00	L.17,150.00
Impresora 3D "Crealty Ender-5 Plus	5	L.14,185.50	L.70,927.50
Software MediACED3D	1	L.24,500.00	L.24,500.00
Software CURA	1	L.0.00	L.0.00
Scanner Health Care Partner 3D	1	L.24,500.00	L.24,500.00
Capacitación del personal (uso de impresora y scanner)	2	L.24,500.00	L.49,000.00
Capacitación del personal (Uso de software)	2	L.24,500.00	L.49,000.00
Costos de Importación	1	L.50,000.00	L.50,000.00
USB	5	L.196.00	L.980.00
TOTAL		L.179,531.50	L.286,057.50

Fuente: Autoría Propia

La tabla 21, proporciona un desglose completo de los elementos necesarios para la inversión inicial en la automatización de la fabricación de órtesis mediante la impresión 3D en el laboratorio de órtesis y prótesis de Teletón, detallando las cantidades y costos unitarios en Lempiras.

En primer lugar, se incluye la adquisición de una computadora a un costo de L.17,150.00. Además, se planea obtener cinco impresoras 3D del modelo "Crealty Ender-5 Plus" a un costo unitario de L.14,185.50, lo que suma L.70,927.50 en total. Se adquirirá una licencia anual del software "MediACED3D" por L.24,500.00, mientras que el software "CURA" se obtendrá sin costo adicional (L.0.00). Asimismo, se contempla la compra de un scanner 3D "Health Care Partner" por L.24,500.00. Se prevé la capacitación de dos miembros del personal en el uso de la impresora y el scanner, con un costo de L.24,500 por empleado, resultando en L.49,000.00 en total. Además, se llevará a cabo la capacitación de dos empleados en el uso del software, con un costo de L.24,500.00 por empleado, sumando L.49,000.00. Para cubrir los costos asociados con la importación de equipos y materiales, se ha asignado un presupuesto de L50,000.00. Por último, se adquirirán cinco unidades de dispositivos USB a un costo unitario de L.196.00, lo que equivale a un total de L980.00.

La inversión inicial total asciende a L.179,531.00, y el costo total de adquisición de elementos se estima en L.286,057.50. Estos recursos son fundamentales para llevar a cabo con éxito la transición hacia la tecnología de impresión 3D y automatizar la fabricación de órtesis en el laboratorio de órtesis y prótesis de Teletón.

Tabla 22 - Gastos Operativos Anuales para la automatización de laboratorio de Órtesis y Prótesis de Teletón

Gastos Operativos Anuales			
CONCEPTO	Cantidad	Precio Unitario Lempiras	Precio Total Lempiras
Costos de Mantenimiento Preventivo de Impresoras 3D	5	L.1,225.00	L12,250.00
Gastos de Operación Continua (electricidad)	12	L.735.00	L8,820.00
Software MediACED3D	1	L.24,500.00	L.24,500.00
Filamento	70	L.1.225.00	L.85,750.00
TOTAL		L.27,685.00	L.131,320.00

Fuente: Autoría Propia

Los Gastos Operativos Anuales se encuentran detallados en la tabla 22, que enumera los conceptos junto con sus cantidades y costos unitarios en Lempiras. Esto proporciona una visión clara de los gastos recurrentes necesarios para mantener el funcionamiento continuo del proyecto de automatización de la fabricación de órtesis mediante la impresión 3D en el laboratorio de órtesis y prótesis de Teletón.

Se ha considerado el Costo de Mantenimiento Preventivo de Impresoras 3D, el cual implica el mantenimiento anual de cinco impresoras 3D. Esto genera un gasto total de L12,250.00. Los Gastos de Operación Continua, principalmente relacionados con los costos mensuales de electricidad, se estiman en L.735.00 al mes, lo que suma un total de L8.820,00 al año. Además, se contempla la adquisición de una licencia anual del software "MediACED3D" por un valor de L.24.500,00. En cuanto a los materiales de impresión, se calcula la necesidad de 70 carretes de filamento, con un costo unitario de L.1,225.00 cada uno, lo que representa un gasto anual de L85,750.00.

La inversión anual se estima en L.131,320, estos gastos anuales son esenciales para garantizar la eficiencia y continuidad en la operación de la automatización de la fabricación

de órtesis mediante la tecnología de impresión 3D en el laboratorio de órtesis y prótesis de Teletón.

5.8.1. COMPARACIÓN DE PRODUCCIÓN E INVERSIÓN DE MÉTODO TRADICIONAL E IMPRESIÓN 3D

En esta sección se compara la producción y cuánto se invierte en la fabricación de ortesis utilizando los métodos tradicionales frente a la impresión 3D. Esta comparación es crucial para entender las diferencias en términos de eficiencia y costos entre ambas formas de hacer ortesis. También nos ayudará a ver cómo la impresión 3D podría cambiar la manera en que hacemos dispositivos ortopédicos en el futuro.

En cuanto a los costos asociados actuales que tiene Teletón, tenemos datos actualizados de parte de la empresa que datan que el costo total en materiales es de L.1,052.00, comparado a los L.203.00 como lo muestra la TABLA 12 de nuestro informe de los costos de materiales en I3D, vemos una reducción de un 81% en costos totales de material puesto que con la I3D se ahorran materiales como las vendas, stokinettes, remaches, polipropileno, medias y yeso en polvo. Recalamos que el precio puede variar dependiendo de cuanto material se utilice ya que existen órtesis de diferentes tamaños que requerirán más material (Teletón, 2023).

Se han calculado los costos de una inversión inicial para implementar el método de I3D en la fabricación de órtesis en el laboratorio de Teletón el cual nos da una inversión total de L.192,457.00. Con esto nos aseguramos de que el laboratorio se equipe con la tecnología necesaria para llevar a cabo los procesos necesarios de fabricación junto con la capacitación adecuada del personal tanto en el uso del equipo como del software.

En base a los estudios del flujo de trabajo realizado en el laboratorio de órtesis de Teletón, trabajando en conjunto con los ortoprotesistas y el jefe del área, se calcula que si los 3 ortoprotesistas que están trabajando actualmente en el laboratorio se dedican solamente a realizar órtesis de tipo AFO en su jornada laboral, diariamente podrían fabricar 3 órtesis diferentes en total, lo que equivale a unas 720 órtesis al año. Este es un dato estimado calculado en las horas de trabajo y los días que cada uno desempeña labores en Teletón. Si se implementa el método de I3D bajo la propuesta que hicimos con el plan de inversión mostrado en la TABLA 21, se podrían fabricar 1,500 órtesis diferentes poniendo a trabajar

las 5 impresoras en días hábiles durante 1 año. Al comparar estos datos vemos que la fabricación en I3D aumentaría un 108.33% aproximadamente recalando que esto aliviaría la carga de trabajo de los ortoprotesistas para que puedan encargarse de otras labores como ser férulas de mano, prótesis parciales o completas y órtesis de otro tipo diferente al AFO. Esto aumentaría la eficiencia del laboratorio ya que podrían fabricar muchas más piezas en las mismas horas laborales con las que ya cuentan y así poder satisfacer las necesidades de la población y clientes que cada día necesitan de un dispositivo de este estilo para poder mejorar su calidad de vida.

VI. DISCUSIÓN

En el transcurso de la presente investigación, se ha explorado el proceso de fabricación de órtesis con el objetivo de determinar la viabilidad de la automatización de procesos mediante la tecnología de I3D. Desde el análisis de los métodos tradicionales utilizados en el laboratorio de ortesis, hasta la evaluación del tiempo de producción, los aspectos económicos, la selección de materiales y las pruebas de impresión en 3D, se han examinado diversas consideraciones que se consideraron pertinentes en esta investigación. En este capítulo de discusión, se resumen los hallazgos clave y se analizan sus implicaciones en la mejora de los tiempos de fabricación, destacando la viabilidad y los beneficios de la impresión 3D en la fabricación de ortesis.

La investigación de las variables cuantitativas resultó importante para la obtención de resultados y, posteriormente, de conclusiones. Los montos y costos asociados a la fabricación de órtesis revelaron la alta comparación de los precios en relación con los precios de fabricación bajo el método de I3D, destacando la significativa reducción de costos al utilizar este segundo método propuesto.

Las modificaciones están relacionadas con los gastos vinculados a su ejecución, los cuales dependen de diversas máquinas especializadas, como fresadoras, tornos y equipos de corte, que, además de ser costosas, a menudo requieren una cantidad considerable de energía para funcionar y herramientas igualmente costosas. La transición hacia la I3D ofrece ventajas en términos de eficiencia energética, ya que minimiza el desperdicio de material y la energía necesaria para la producción, lo que tendrá un impacto positivo tanto en los costos como en la sostenibilidad del método. Las siguientes variables, como la prueba, la finalización y la entrega, son prácticamente idénticas en ambos métodos, con la única diferencia de que, en la fase de finalización, los ajustes requerirán herramientas diferentes.

Como se expuso en el capítulo dedicado al enfoque de la investigación, estas variables están vinculadas a las variables dependientes en el contexto de la viabilidad de la automatización y el uso de I3D en la fabricación de órtesis.

6.1. COMPARACIÓN DE RESULTADOS CON INVESTIGACIONES PREVIAS

En esta sección, se discuten los resultados del estudio y se comparan con investigaciones previas para evaluar el impacto de la automatización en la fabricación de órtesis en I3D.

Debido a la novedad del tema, no se dispone de mucha información al respecto. Sin embargo, se basaron en dos estudios que compararon las órtesis impresas en 3D con las órtesis personalizadas fabricadas de manera tradicional, específicamente los estudios de (Muñoz Camelo, Herrera Valenzuela, & Pinilla Meza, 2016) y (Cha, Lee, & Jong, 2017).

Para llevar a cabo el estudio, se requirió de un software adecuado que cumpliera con las necesidades de la investigación. Se encontró una investigación realizada por (Cha, Lee, & Jong, 2017) titulada "Órtesis de Tobillo-Pie Fabricadas mediante Técnica de Impresión 3D y Software de Diseño Automatizado". Inicialmente, se consideró utilizar el software SolidWorks, pero se identificaron limitaciones en cuanto al tiempo necesario para crear modelos en 3D. Por lo tanto, se optó por el software MediACED3D, el cual se describió en la investigación como una alternativa eficiente para la creación de modelos en 3D destinados a las órtesis AFO.

Se destaca la comparación entre las impresoras utilizadas en el estudio actual y las empleadas en el estudio de Yong Ho Cha. Mientras que este último utilizó una impresora 3D de alta gama y costosa, la 3D PRINTER FB9600 de TPC Mechatronics Corp, en el presente estudio se prefirió una impresora más asequible y económica, la Creality Ender 3. A pesar de la diferencia en costo y calidad, la Creality Ender 3 logró producir prototipos satisfactorios y cumplir con los objetivos del estudio. Aunque se reconoce la calidad de la impresora utilizada en el estudio de Yong Ho Cha, se argumenta que la elección de una impresora más accesible se alinea mejor con el propósito de hacer que la automatización sea accesible para un público más amplio. Además, se propone la Creality Ender 5 Plus como una alternativa que ofrece mejoras sustanciales en calidad y rendimiento en comparación con la Ender 3.

Los resultados del estudio indican un aumento significativo en la eficiencia y personalización de las órtesis impresas en 3D de acuerdo a investigaciones previas como la de (Muñoz Camelo, Herrera Valenzuela, & Pinilla Meza, 2016), que lleva por nombre "Ortsys"

la cual de igual forma reportaron mejoras notables en la calidad y adaptación de las órtesis con la implementación de la I3D.

Las discrepancias en los resultados en comparación con el estudio "Ortys" se atribuyen a la elección de materiales y escáneres. En el estudio mencionado, se utilizaron dos tipos de filamentos, el polipropileno y el ABS, con resultados positivos en calidad, precio y tiempo. Sin embargo, en el estudio argumentamos que el ABS no es una opción adecuada debido a su alta toxicidad y la necesidad de otras técnicas de impresión. En su lugar, se eligieron los filamentos PLA y PETG por su adaptabilidad en términos de propiedades mecánicas y biocompatibilidad para su uso en pacientes, optando finalmente por el PETG debido a sus características mecánicas y su idoneidad para uso médico.

En particular, el PETG es adecuado para la I3D de órtesis porque:

- Proporciona un buen soporte para las extremidades. El alto módulo de Young del PETG permite que las órtesis impresas en 3D soporten cargas pesadas sin deformarse.
- Es resistente a la compresión y al impacto. El PETG puede soportar los impactos y la presión que se ejercen sobre las extremidades durante las actividades diarias.
- Es biocompatible. El PETG no causa reacciones alérgicas ni tóxicas en el cuerpo.
- Tiene un bajo costo. El PETG es un material asequible que permite a las personas con discapacidades acceder a órtesis de alta calidad.

Cabe recalcar que, a diferencia del estudio "Ortys", no se utilizó un escáner en la realización de las órtesis debido a la falta de pruebas con pacientes. Sin embargo, se argumenta que la elección de un escáner genérico como el Kinect de Microsoft no es adecuada, ya que se requieren resultados óptimos en la fabricación de órtesis. En su lugar, se defiende la utilización de un escáner especializado en anatomía, como el Escáner 3D Health Care Partner. La perspectiva se basa en la importancia de obtener datos precisos y detallados sobre la anatomía del paciente para lograr órtesis altamente personalizadas y funcionales. El uso de un escáner específico en anatomía se considera esencial para garantizar un ajuste preciso y un rendimiento óptimo de la órtesis.

La investigación aporta información relevante sobre la automatización en la fabricación de órtesis mediante impresión 3D, haciendo mención a la importancia de la elección de software, escáneres, impresoras y materiales. La propuesta busca equilibrar la calidad y el costo, lo que podría resultar beneficioso para futuras investigaciones y aplicaciones en este campo en constante evolución.

6.2. LIMITACIONES

El seguimiento a largo plazo de la investigación es de suma importancia para la obtención de mejores resultados y estadísticas más certeras. Para continuar con el estudio, se requiere la realización de verificaciones mecánicas a los prototipos, como pruebas de resistencia de materiales y de elasticidad, con el fin de evaluar la seguridad y durabilidad de los dispositivos. De igual forma, al llevar a cabo estas pruebas mecánicas y al probar las órtesis con los pacientes, se debe dar seguimiento al confort de su uso y realizar verificaciones de las posibles deformaciones.

Una de las limitaciones significativas del proyecto fue la dificultad para obtener información de personas capacitadas en el campo de la impresión 3D. Esta limitación surgió debido a que la impresión 3D es un tema relativamente nuevo en Honduras y no muchas personas tienen conocimientos avanzados en esta área. Se necesita personal que pueda realizar capacitaciones a los ortoprotesistas o técnicos encargados de producir las órtesis en I3D en el laboratorio de Órtesis y Prótesis de Teletón.

Otra limitante consistió en la obtención de los costos y adquisiciones de los materiales y licencias de los diferentes softwares utilizados, ya que las compañías requerían diferentes datos personales o administrativos para revelar los precios de sus productos.

En el transcurso de esta investigación sobre la automatización de procesos de fabricación de órtesis con I3D, se presentaron ciertos desafíos y limitaciones que resultaron difíciles de superar para culminar con éxito el proyecto.

VII. CONCLUSIONES

- El estudio exhaustivo del flujo de trabajo en el laboratorio de prótesis y órtesis permitió identificar las etapas y procesos involucrados en la fabricación de órtesis. Esto proporcionó una base sólida para la propuesta de un plan de automatización de procesos, con el potencial de mejorar la eficiencia, la precisión en la producción y la reducción de costos en la fabricación de órtesis.
- Al investigar el proceso de fabricación de órtesis realizado por los ortoprotesistas de Teletón y detallar sus experiencias, se ha enriquecido la comprensión del tema, dando una contribución muy importante para la realización de este estudio.
- La evaluación del tiempo de elaboración de las órtesis de tobillo-pie (AFO) utilizando el método tradicional reveló que dicho proceso es laborioso y lleva una cantidad considerable de tiempo. Este hallazgo enfatiza la necesidad de buscar alternativas más eficientes y rápidas como la I3D.
- La comparación entre el factor económico de la fabricación tradicional y la fabricación con impresión 3D resalta la ventaja económica de la última. La impresión 3D reduce significativamente los costos de producción al eliminar procesos manuales intensivos y reducir el desperdicio de material, alineándose con la búsqueda de una atención médica más asequible y accesible para los pacientes.
- Luego de una investigación y comparación entre varios filamentos para I3D, se seleccionó el PETG como material para la impresión 3D de órtesis ya que su combinación única de características tales como la biocompatibilidad, durabilidad, flexibilidad controlada y facilidad de impresión garantizan que las órtesis producidas sean seguras, efectivas y cómodas para los pacientes, al tiempo que simplifican el proceso de fabricación y promueven la eficiencia en el laboratorio de prótesis y órtesis.
- La realización de un prototipo en I3D de una órtesis ofreció un profundo conjunto de hallazgos que abarcó desde la precisión y ajuste hasta las dimensiones, la resistencia del material y la estética. Esto permitió evaluar su eficacia, así como

los costos de producción asociados. Estos hallazgos son esenciales para la mejora continua en la fabricación de órtesis, garantizando la entrega de productos de alta calidad que se adaptan de manera óptima a las necesidades de los pacientes.

VIII. RECOMENDACIONES

La presente investigación ha demostrado la viabilidad de la automatización y el uso de la impresión 3D en la fabricación de órtesis en Teletón San Pedro Sula. A partir de los resultados obtenidos, se formulan las siguientes recomendaciones:

- Realizar una evaluación técnica detallada para determinar la viabilidad de la implementación de la impresión 3D en la fabricación de órtesis. Destacar las capacidades técnicas de las impresoras 3D disponibles en términos de precisión, materiales compatibles y capacidad de producción.
- Implementar un sistema de gestión de calidad para garantizar la precisión y la consistencia de las órtesis fabricadas. Este sistema debe incluir procedimientos para la validación de los modelos CAD, la inspección de las órtesis impresas y el seguimiento de los resultados.
- Capacitar al personal de Teletón en el uso de los nuevos equipos y tecnologías. Esta capacitación debe garantizar que el personal tenga las habilidades necesarias para operar y mantener los nuevos equipos de automatización e impresión 3D.
- Desarrollar un plan de mantenimiento preventivo para los equipos de automatización e impresión 3D. Este plan debe asegurar que los equipos estén en buen estado de funcionamiento y que su vida útil sea prolongada.

13. Cha, Y. H., Lee, K. H., & Jong, H. R. (2017). Ankle-Foot Orthosis Made by 3D Printing Technique and Automated Design Software. *Hindawi*.
14. CONNECTAS. (10 de Mayo de 2012). *CONNECTAS*. Obtenido de <https://www.connectas.org/especiales/la-vida-despues-de-la-bestia/honduras-el-pais-con-mas-mutilados/>
15. Contreras Echebarria, A. (2014). *OBTENCIÓN DEL MODELO 3D DE LA AZOTEA DE LA ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE TELECOMUNICACIÓN DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID, MEDIANTE TECNOLOGÍA ESCÁNER 3D*. Madrid.
16. Correa Correa, J. A. (2017). *Estudio, propuesta e implementación de metodología de fabricación de órtesis kinesiológicas mediante la tecnología de impresión 3D*. Valparaíso.
17. Fitzgerald, R., Kaufer, H., & Malkani, A. (2002). *Ortopedia*. Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana S.A.
18. Folch, A. (2016). The upcoming 3D-printing revolution in microfluidics. *Lab on a Chip*, 16(10), 1711–1948.
19. Fundación Vida Nueva. (5 de Febrero de 2018). *Fundación Vida Nueva*. Obtenido de <https://www.facebook.com/profile.php?id=100069734324654>
20. Gasca, A. F. (2022). *Diseño de patrones combinados de relleno en impresión 3D para la fabricación de elementos automotrices*. Querétaro.
21. Gerstle, T., Ibrahim, A., Kim, P., Lee, B., & Lin, S. (2014). A Plastic Surgery Application in Evolution: Three-Dimensional Printing. *Ideas and Innovations*, 446-451.
22. GUALA. (19 de Julio de 2022). *GUALA*. Obtenido de <https://guala.hn>
23. Guzman Sanchez, M., & Gonzalez Mena, S. E. (2022). *Diseño de una impresora 3D de sinterización láser para experimentación de materiales compuestos*. Ciudad de México.

24. Haleem, A., & Javaid, M. (2019). 3D scanning applications in medical field: A literature-based review. *Clinical Epidemiology and Global Health*, 199-210.
25. Instituto Biomecánico de Valencia. (2019). Investigación en nuevas metodologías de fabricación. *4health*.
26. Instituto Nacional de Estadística . (2002). *Análisis de los Resultados de la XXVI Encuesta Permanente de Hogares de Propósitos Múltiples*.
27. July, T. A. (2015). Amputación: Más Allá de un Cambio Físico, un Cambio Mental. *El Dolor*, 20-22.
28. LÓPEZ, P. A. (2018). *IMPRESORA 3D POR ESTEREOLITOGRAFÍA*. Ibarra.
29. Marson, N., Diaz Nocera, A., Real, J. P., & Palma, S. (2016). Las impresoras 3d y el diseño de medicamentos. *Conicet Digital*.
30. Ministerio de sanidad, Consumo y Bienestar Social. (2001). *Guía descriptiva de ortoprótesis. Tomo II. Órtesis de miembro superior y miembro inferior*. Unidad Editora Centro de Publicaciones.
31. MONTAGUD, S. N. (2015). *DESARROLLO DE PIEZAS DE POLIAMIDA*. Valencia.
32. Moreno, E. G. (1999). Automatización de Procesos Industriales. En E. G. Moreno, *Automatización de Procesos Industriales* (pág. 31). Valencia: Universitat Politècnica de València.
33. Muñoz Camelo, N. A., Herrera Valenzuela, D. S., & Pinilla Meza, J. Á. (2016). *Ortysys*. Bogota.
34. Nebot Montagud, S. (2015). *DESARROLLO DE PIEZAS DE POLIAMIDA MEDIANTE IMPRESIÓN 3D*. Valencia.
35. NEOTEC. (27 de Marzo de 2017). *NEOTEC*. Obtenido de https://www.facebook.com/neotecHonduras?locale=es_LA
36. Nieto, E. C. (2006). Manufactura y automatización. *Ingeniería e Investigación*, 122.
37. Orian Gipuzkoa. (s.f.). Fabricación Aditiva. *OrianIndustri4.0*.

38. Ortoprotesicahn. (1 de Junio de 2022). *Ortoprotesicahn*. Obtenido de <https://www.facebook.com/ortoprotesicahn/>
39. Osejos, J. V. (2016). *Caracterización de materiales termoplásticos de ABS y PLA semi-rígido impresos en 3D con cinco mallados internos diferentes*. Quito: Escuela politécnica Nacional .
40. P, Andrés Cano; J.A, Calvo Haro; F, Fillat Gomá; I, Andrés Cano; R, Perez Mañanes. (14 de Junio de 2020). Papel del cirujano ortopédico y traumatólogo en la impresión 3D: aplicaciones actuales y aspectos legales para una medicina personalizada. *Revista Española de Cirugía Ortopédica y Traumatología*, 138-151.
41. Pacheco Carpio, G. I. (2019). *Análisis de tracción de probetas impresas en 3D mediante deposición de hilo fundido de PLA, ABS Y PLA/MLO*. Cuenca.
42. Pastor, A. A. (2013). *Estudio comparativo de piezas de ABS y PLA procesadas*. Madrid: Universidad Carlos III Madrid.
43. Pérez Hernández, Ojeda Rosas, & Gonzáles Guevara. (2022). Uso de escaneo 3D y manufactura aditiva para el prototipado de ortesis. *XXVII Verano De la Ciencia*, 1-9.
44. Quito Anrango, J. C. (2016). *ENSAMBLAJE DE UNA IMPRESORA 3D PARA LA FABRICACIÓN DE PIEZAS AUTOMOTRICES CON POLÍMERO ABS*. Ibarra.
45. Quito Arango, J. C. (2016). *ENSAMBLAJE DE UNA IMPRESORA 3D PARA LA FABRICACIÓN DE*. Quito.
46. Real Academia Española. (2022). *Real Academia Española*.
47. Rich, C. (3 de Mayo de 2018). *Learn by layers 3D*. Obtenido de <https://www.learnbylayers.com>
48. Rodríguez Martín, & Sánchez-Palencia. (2022). El estudio de viabilidad: una herramienta para la toma de decisiones en la creación de empresas. *EAE Business School*, 21-28.

49. Salinas Durán, F., & Restrepo Arbeláez, R. (2008). *Rehabilitación en salud*. Antioquia: Editorial Universidad de Antioquia.
50. Salvatierra, N., Taborda, & Oldani, C. (2018). *¿Qué es la biocompatibilidad?*
51. Saqui, A. R. (2016). *DESARROLLO DE MATERIALES COMPUESTOS DE MATRIZ TERMOPLÁSTICA REFORZADOS CON NANOPARTICULAS UTILIZANDO LA TÉCNICA DE MODELADO POR DEPOSICIÓN FUNDIDA EMPLEADA EN MANUFACTURA ADITIVA*. Lima.
52. Sarmiento Anchundia, J., & Salazar Loor, R. (2022). Selección de materiales para el diseño de órtesis aplicando métodos multicriterios, simulación y optimización topológica. *InGenio Journal*, 16-30.
53. Secretaria de Salud de Honduras. (2022). *En Honduras el 1% de la población padece de pie equinovaro*.
54. Segnini, J. M., Provenzano, S., & Vergara, M. (2018). PROSPECTIVA PARA EL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UNA ÓRTESIS IMPRESA EN 3D. 153-171.
55. SENACIT. (16 de Enero de 2023). *SENACIT*. Obtenido de <https://senacit.gob.hn>
56. Teletón. (2023). *Teletón*. <http://teleton.org.hn>.
57. Telich Trriba, J. E., Ramírez Sosa, L. E., Palafox, D., Ortega Hernandez, E., & Rendón Medina, M. A. (2019). Aplicaciones de la impresión 3D en cirugía plástica reconstructiva. *Revista de la Facultad de Medicina*, 603-607.
58. Zahera, M. (2012). LA FABRICACIÓN ADITIVA, TECNOLOGÍA AVANZADA PARA EL DISEÑO Y DESARROLLO DE PRODUCTOS. Valencia, España.
59. Zara Aragón, J. D. (2021). *DISEÑO AVANZADO Y DESARROLLO DE UNA ORTESIS DE PROTECCIÓN POSTOPERATORIA MEDIANTE TECNOLOGÍAS DE FABRICACIÓN ADITIVA*. Cádiz.

X. ANEXOS

Anexo 1 – Preguntas de exploración para entendimiento del proceso de elaboración por parte de los ortoprotesistas

1. ¿Puede hablarnos un poco sobre su experiencia en la fabricación de órtesis de forma tradicional?
2. ¿Cuál es su opinión sobre la idea de automatizar el proceso de fabricación de órtesis utilizando impresión 3D en su laboratorio?
3. ¿Cuáles son las ventajas que ve en la automatización con impresión 3D en la fabricación de órtesis?
4. ¿Cuáles son sus principales preocupaciones con respecto a la automatización en este campo?
5. ¿Cómo cree que la automatización podría afectar su trabajo como ortoprotesista?
6. ¿Cree que la automatización podría cambiar la relación y la atención personalizada que ofrece a los pacientes?
7. ¿Prevé que su rol como ortoprotesista se modificará significativamente si se adopta la automatización?
8. ¿Ve la posibilidad de un equilibrio entre la automatización y la fabricación tradicional que podría ser beneficioso en su laboratorio?
9. ¿Cómo cree que la introducción de la tecnología de impresión 3D podría afectar la calidad y la personalización de las órtesis en comparación con los métodos tradicionales?
10. ¿Cuáles cree que podrían ser los principales desafíos en la transición hacia la fabricación de órtesis mediante impresión 3D en términos de capacitación y adaptación?
11. ¿Ha tenido alguna experiencia previa con la tecnología de impresión 3D en la fabricación de órtesis o en otros aspectos de su trabajo?



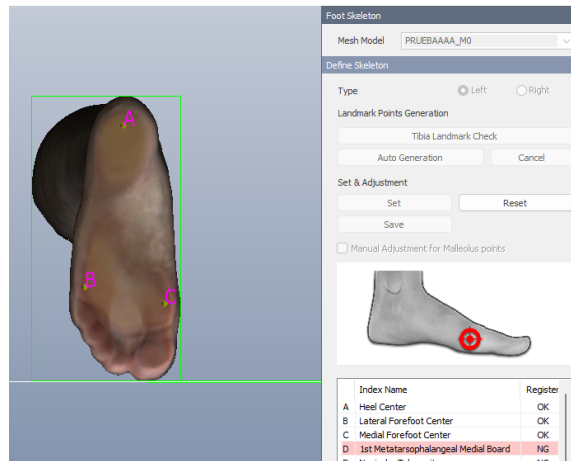
Anexo 2 - Pieza finalizada del método tradicional

Fuente: Autoría Propia



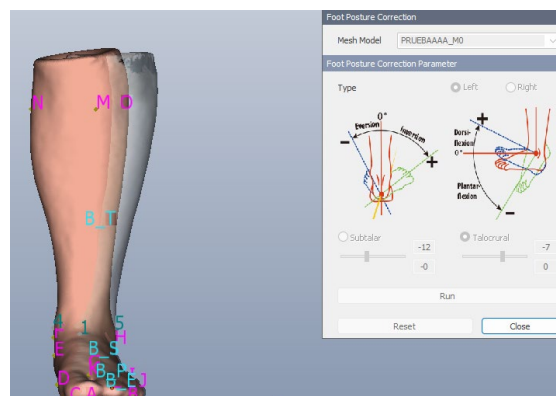
Anexo 3 - Pierna escaneada en software MediACED3D

Fuente: Autoría Propia



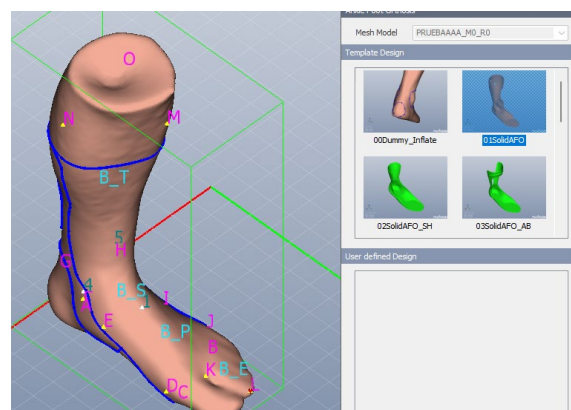
Anexo 4 - Toma de medidas en software MediACED3D

Fuente: Autoría Propia



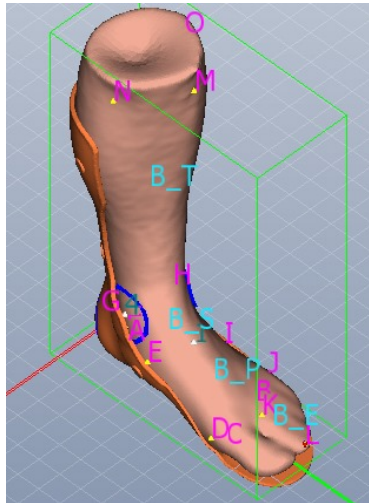
Anexo 5 - Corrección de postura del pie en software MediACED3D

Fuente: Autoría Propia



Anexo 6 - Selección de tipo de órtesis en software MediACED3D

Fuente: Autoría Propia



Anexo 7 - Órtesis finalizada en software MediACED3D

Fuente: Autoría Propia

Materiales	Densidad [kg/m ³]	Precio [\$/kg]	Módulo de Young [GPa]	Esfuerzo último [MPa]	Resistencia a la compresión [MPa]	Elongación [%]
PLA	1410.00	3.22	4.24	32.80	39.40	6.10
PET	1400.00	1.53	3.10	70.00	103.00	75.00
PETG	1280.00	2.71	2.11	52.90	63.50	118.00
ABS	1060.00	3.24	2.76	49.60	86.20	60.00
PP	1250.00	1.71	3.13	26.40	29.50	27.00
MABS	1090.00	2.28	2.11	55.20	66.20	50.00

Anexo 8 - Lista de materiales FDM y sus propiedades mecánicas

Fuente: (Sarmiento Anchundia & Salazar Loor, 2022)

	Temperatura Impresión	Temperatura Cama	Fuerza	Flexibilidad	Durabilidad	Dificultad	Contracción	Soluble	Food Safe* Cinta Azul	Glue Stick	Usos Típicos
ABS Acrylonitrile Butadiene Styrene	210-250 °C	50-100 °C	●●	●●	●●●	●●	●●●	Acetona	No	●	Partes Funcionales
ASA Acrylonitrile Styrene Acrylate	240-260 °C	100-120 °C	●●	●	●●●	●●	●●●	Acetona	No	●	Uso para exteriores
Fibra de Carbono Carbon Fiber and PLA blend	190-220 °C	N/A °C	●●	●	●●●	●●	●●●	No	No	●	Partes Funcionales
Limpieza/Cleaning Cleaning Filament	150-200 °C	N/A °C	-	-	-	●	-	-	-	-	Limpieza Boquilla/Destapar
Cambio de Color PLA or ABS with color changing properties	210-220 °C	N/A °C	●●	●●	●●	●	●●●	No	No	●	Educación, Modelado
Conductivo Conductive PLA or ABS	215-230 °C	N/A °C	●●	●●	●	●	●●●	No	No	●	Electrónica
Flexible, TPE, TPU Thermoplastic Urethane / Polyurethane	225-235 °C	N/A °C	●	●●●	●●●	●●●	●●●	No	No	●	Partes Elásticas, Wearbles
FPE Flexible Polyester	205-250 °C	75 °C	●	●●●	●●●	●●●	●●●	No	Si	●	Partes Flexibles
Brilla en la Oscuridad Glow in the dark PLA or ABS	210-220 °C	N/A °C	●●	●●	●●	●	●●●	No	No	●	Educación, Modelado,
HIPS High Impact Polystyrene	210-250 °C	50-100 °C	●	●●	●●●	●●	●●●	Solvente	No	●	Soportes Estructurales
Lignina (bioFila) Lignin and PLA additives	190-225 °C	55 °C	●●	●	●●●	●●●	●●●	No	Si	●	Todo Propósito
Magnético PLA with powdered iron	190-220 °C	N/A °C	●●	●●	●●	●●●	●●●	No	No	●	Educación, Experimental
Metal PLA/ABS Metal Powder and PLA or ABS blend	190-220 °C	N/A °C	●●	●	●●●	●●●	●●●	No	No	●	Joyería
nGen Similar to PETG	210-240 °C	60 °C	●●	●●●	●●●	●●	●●●	No	Si	●	Todo Propósito
Nylon Polyamide	220-260 °C	80-100 °C	●●●	●●●	●●●	●●	●●●	No	Si	●	Todo Propósito
PC Polycarbonate	270-310 °C	90-105 °C	●●●	●●	●●●	●●	●●●	Acetona	No	●	Partes Funcionales
PC/ABS Polycarbonate ABS	260-280 °C	120 °C	●●	●	●●●	●●●	●●●	No	No	●	Partes Funcionales
PET (CPE) Polyethylene Terephthalate	220-250 °C	N/A °C	●●●	●●●	●●●	●●	●●●	No	Si	●	Todo Propósito
PETG (XT, N-Vent) Poly-Ethylene Terephthalate Glycol	220-235 °C	N/A °C	●●	●●●	●●●	●●	●●●	No	Si	●	Todo Propósito
PETT (T-Glase) PolyEthylene coltrimethylene Terephthalate	235-240 °C	N/A °C	●●●	●●●	●●●	●●	●●●	No	Si	●	Partes Funcionales
PLA Polylactic Acid	180-230 °C	N/A °C	●●	●	●●	●	●●●	No	Si	●	Productos de Consumo
PMM, Acrylic Polymethyl Methacrylate	230-250 °C	100-120 °C	●●	●	●●●	●●	●●●	Acetona	No	●	Difusores de Luz, Modelado
POM, Acetal Polyoxymethylene	210-225 °C	130 °C	●●●	●	●●	●●●	●●●	Químico	No	●	Partes Funcionales
PORO-LAY Rubber-elastomeric polymer with PVA	220-235 °C	N/A °C	●●●	●	●●	●	●●●	Agua	Si	●	Experimental
PP Polypropylene	210-230 °C	120-150 °C	●●	●●●	●●	●●●	●●●	No	Si	●	Componentes Flexibles
PVA Polyvinyl Alcohol	180-210 °C	N/A °C	●●●	●	●●	●	●●●	Agua	Si	●	Soporte Estructurales
Sandstone (Laybrick) Co-polyester and chalk powder	165-210 °C	N/A °C	●	●	●	●●	●●●	No	No	●	Modelado Arquitectónico
TPC Thermoplastic Copolyester	210-210 °C	60-100 °C	●	●●●	●●	●●●	●●●	No	No	●	Partes Elásticas, Uso libre
Wax (MOLDLAY) Wax-like properties	170-180 °C	N/A °C	●	●	●	●	●●●	No	No	●	Fundición de cera perdida
Madera (Laywood) Wood PLA Blend	190-220 °C	N/A °C	●●	●●	●●	●●	●●●	No	No	●	Todo Propósito (Acabado Natural)

Anexo 9 - Guía comparativa de filamentos para impresión 3D

Fuente: (Rich, 2018)