

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

Diseño de prótesis cinética de bajo costo y mediante fabricación en impresión 3D, para persona de la ciudad de Medellín, con amputación congénita en mano.

Esteban Hincapié Zapata

Juan Esteban Bedoya Bedoya

Programa Académico

Ingeniería Electromecánica

Director(es) del trabajo de grado

Adrián Felipe Martínez Pérez

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO

Fecha

Septiembre 25 del 2023

	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

RESUMEN

El texto describe la metodología utilizada en un proyecto de desarrollo de una prótesis para una persona con malformación congénita parcial de mano. El proceso comienza con la obtención del consentimiento del paciente y la recopilación de sus datos personales. Luego se realiza un molde del miembro afectado y se toman medidas antropométricas para lograr simetría. A continuación, se investigan diseños de prótesis disponibles en repositorios y se selecciona uno como referencia. Se descargan los archivos y se realizan modificaciones utilizando un programa de diseño 3D. Se eligen materiales apropiados y se configuran los parámetros de impresión. Las piezas se imprimen en una impresora 3D y se ensamblan para adaptar la prótesis al paciente.

Se llevan a cabo pruebas de fuerza, agarre y ergonomía para evaluar el desempeño de la prótesis. Se identifican problemas en el agarre fino, la resistencia a la fuerza y la comodidad. Se realizan tres modificaciones en el diseño de la prótesis para abordar estos problemas. Se agrega una tercera falange para mejorar el agarre de objetos pequeños, se cambia el sistema tensor por una cuerda de guitarra más resistente y se utiliza un material diferente en el guante para evitar molestias en la muñeca. Finalmente, se realizan nuevamente las pruebas de agarre, fuerza y ergonomía con la prótesis modificada. Se observa un mejor rendimiento en todas las pruebas y se registra la satisfacción del paciente en una encuesta.

En conclusión, el proyecto logra su objetivo de mejorar la calidad de vida del paciente con la prótesis desarrollada. Se identifican problemas iniciales y se realizan modificaciones en el diseño para solucionarlos. La metodología utilizada permite obtener una prótesis funcional y adaptada a las necesidades del paciente.

Palabras clave: Amputación, prótesis, impresión 3D, medidas, antropométricas, pruebas, fuerza, agarre, ergonomía

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

RECONOCIMIENTOS

Quisiera expresar mi más sincero agradecimiento a mi asesor, Adrián Felipe Martínez Pérez, por su dedicación, orientación y apoyo durante todo el proceso de investigación. Su experiencia y conocimientos fueron fundamentales para el desarrollo de este trabajo.

Quiero extender mi agradecimiento al Instituto Tecnológico Metropolitano (ITM), por su apoyo y facilitar el acceso a recursos importantes para llevar a cabo este estudio.

No puedo dejar de agradecer a mis padres, Carmen Yaneth Zapata, Luis Fernando Hincapié Vásquez por constante apoyo y aliento durante todo el proceso de realización de este trabajo. Su motivación y comprensión fueron cruciales para superar los desafíos que se presentaron en el camino.

Me gustaría reconocer a Susana Ramírez Muñoz (estudiante de ingeniería BIOMEDICA del ITM) por su participación, contribución en la revisión, y comentarios constructivos que ayudaron a mejorar la calidad de este trabajo. Sus aportes fueron invaluable y han sido de gran importancia para el desarrollo de esta investigación.

También quiero reconocer a Miguel Ángel Ramírez Galeano y Brayan Alexander Vélez Bustamante (estudiantes de DISEÑO INDUSTRIAL del ITM) por su gran conocimiento de programas CAD/CAM y redacción de proyectos de investigación que ayudaron a mejorar la calidad de este trabajo. Sus aportes fueron y han sido de gran importancia para el desarrollo de esta investigación.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

ACRÓNIMOS

MSPS: Ministerio de Salud y Protección Social

SGSSS: Sistema General de Seguridad Social en Salud

AE: Above Elbow (Transhumeral)

BE: Below Elbow (Trans radial)

AK: Above Knee (Trans femoral)

BK: Below Knee (Transtibial)

FDM: Fused Deposition Modeling

SLA: Stereolithography

SLS: Selective Laser Sintering

DLP: Digital Light Processing

MJF: Multi Jet Fusion

UV: Luz ultravioleta

ABS: Acrilonitrilo Butadieno Estireno

PLA: Ácido Poli láctico

PETG: Polietilen Tereftalato

TPU: Termo Plástico de Poliuretano

 ITM Institución Universitaria	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

TABLA DE FIGURAS

<i>Figura 1. Niveles de amputación (Arce, 2005).....</i>	14
<i>Figura 2. Prótesis de dedo con senso de fuerza (Benito, 2020)</i>	17
<i>Figura 3. Prótesis mano cinética (Bowtell, 2020)</i>	17
<i>Figura 4. Prótesis de pierna (Andrade, 2016)</i>	18
<i>Figura 5. Prótesis de rodilla (Menghini, 2017).....</i>	19
<i>Figura 6. Proceso del molde (Fuente: Autor)</i>	28
<i>Figura 7. Modelo del muñón en formato STL (Fuente: Autor)</i>	28
<i>Figura 8. Diagrama de flujo (Fuente: Autor)</i>	45
<i>Figure 9. Asistencia mecánica, realizada al paciente. (Fuente: Autor)</i>	47
<i>Figura 10. Modificación realizada al modelo inicial, adicionando la TERCERA falange. (Fuente. Autor)</i>	49
<i>Figura 11. Modificación realizada al SOCKET. (Fuente: Autor).....</i>	49
<i>Figure 12. Guante del muñón del paciente, previene enrojecimiento en la piel por el rose con la prótesis. (Fuente: Autor)</i>	50
<i>Figura 13. Asistencia mecánica mejorada. (Fuente: Autor).....</i>	50
<i>Figura 14. Objetivo del proyecto cumplido, mejorar la calidad de vida de Wilfer. (Fuente: Autor)</i>	51

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1. Caracterización del paciente (Fuente: Autor)</i>	27
<i>Tabla 2. Medidas antropométricas miembro superior izquierdo, sin anomalía (Fuente: Autor).....</i>	29
<i>Tabla 3. Medidas antropométricas de los dedos, miembro superior izquierdo, sin anomalía (Fuente: Autor) 29</i>	
<i>Tabla 4. Medidas antropométricas del muñón, miembro superior derecho, presenta malformación congénita parcial de mano. (Fuente: Autor)</i>	30
<i>Tabla 5. Medidas antropométricas del ante brazo, miembro superior derecho, presenta malformación congénita parcial de mano (Fuente: Autor).....</i>	30
<i>Tabla 6. Medidas antropométricas de la muñeca, miembro superior derecho, presenta malformación congénita parcial de mano. (Fuente: Autor).....</i>	31
<i>Tabla 7. Matriz selección asistencia mecánica (Fuente: Autor).....</i>	32
<i>Tabla 8. Configuración de las medidas en los planos X, Y, Z de la base de la mano (Fuente: Autor)</i>	33
<i>Tabla 9. Configuración de las medidas en los planos X, Y, Z del socket (Fuente: Autor)</i>	33
<i>Tabla 10. Configuración de las medidas en los planos X, Y, Z de los dedos, falange por falange. (Fuente: Autor)</i>	34
<i>Tabla 11. Parámetros de impresión materiales utilizados (Fuente: Autor)</i>	35
<i>Tabla 12. Pruebas del agarre fino y grueso, prototipo Inicial. (Fuente: Autor)</i>	36
<i>Tabla 13. Pruebas de fuerza, prototipo Inicial. (Fuente: Autor)</i>	36
<i>Tabla 14. Prueba de ergonomía, prototipo Inicial (Fuente: Autor).....</i>	37
<i>Tabla 15. Encuesta, punto de vista del paciente modelo inicial (Fuente: Autor).....</i>	38
<i>Tabla 16. Propiedades mecánicas sistemas tensores, NYLON, CUERDA GUITARRA #5 (Globa Plast, 2020) (Morais, 2022) (Fuente: Autor).....</i>	40
<i>Tabla 17. Pruebas agarre, modelo final (Fuente: Autor)</i>	41

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

Tabla 18. Pruebas de fuerza, modelo final. (Fuente: Autor) 41
Tabla 19. Pruebas de ergonomia, modelo final. (Fuente: Autor) 42
Tabla 20. Encuesta, punto de vista del paciente modelo final (Fuente: Autor) 43
Tabla 21. Caracterización del paciente (Fuente: Autor) (EN EJECUCIÓN)..... 54

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	9
GENERALIDADES	9
ORGANIZACIÓN DE LA TESIS	9
OBJETIVO	10
GENERAL	10
ESPECÍFICOS	10
2. MARCO TEÓRICO	11
2.1. PERSONAS CON DISCAPACIDAD EN COLOMBIA	11
2.2. AMPUTACIÓN	11
2.2.1. TIPOS DE AMPUTACIÓN	12
2.2.2. CLASIFICACIÓN DE LAS AMPUTACIONES	12
2.3. PRÓTESIS	14
2.3.1. TIPOS DE PRÓTESIS	15
2.3.2. PRÓTESIS MAS USADAS	15
2.3.3. PROYECTOS DE PRÓTESIS	16
2.3.4. ADAPTACIÓN DE PRÓTESIS	19
2.4. IMPRESIÓN 3D	20
2.4.1. VENTAJAS	20
2.4.2. DESVENTAJAS	21
2.4.3. TIPOS DE IMPRESORAS 3D	22
2.4.4. MATERIALES DE IMPRESIÓN 3D	23
2.4.5. CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DEL PLA	23
2.4.6. CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DEL TPU	24
2.4.7. PARÁMETROS DE IMPRESIÓN 3D	25
3. METODOLOGÍA	27
DIAGRAMA DE FLUJO	44
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	46
5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO	52
CONCLUSIONES	52
RECOMENDACIONES	53
TRABAJOS FUTUROS	53

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

REFERENCIAS 55

	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

1. INTRODUCCIÓN

GENERALIDADES

En este proyecto se realizó una asistencia mecánica en forma de prótesis para mejorar la calidad de vida de un paciente con una malformación congénita parcial de mano. Se obtuvo el consentimiento del paciente y se caracterizaron sus datos principales. Se desarrolló un molde con yeso del miembro afectado y se tomaron medidas antropométricas para lograr simetría. Se utilizó un escáner 3D para obtener las medidas precisas del muñón. Se seleccionó un modelo de prótesis de referencia y se realizaron modificaciones para adaptarlo al paciente. Se imprimieron las piezas con materiales apropiados y se ensambló la prótesis. Se realizaron pruebas de fuerza, agarre y ergonomía para evaluar el desempeño y la comodidad. Se identificaron limitaciones y se realizaron ajustes en el diseño para mejorar la funcionalidad. Se evaluó nuevamente la prótesis modificada y se observaron resultados positivos en su rendimiento y acoplamiento al paciente. Se logró cumplir el objetivo del proyecto al desarrollar una asistencia mecánica que mejoró la calidad de vida del paciente.

Se identifica el caso de un hombre adulto de 35 años, el cual se dedica a la venta informal de dulces, gaseosas, cigarrillos, entre otros para obtener su sustento diario. Para esta labor, requiere de movilizar un coche tipo “carro de supermercado” lo que le genera una gran dificultad por su amputación congénita presente en el miembro superior derecho. Por lo cual, se pretende realizar asistencias mecánicas (prótesis) de miembro superior derecho con la aplicación de tecnología de impresión 3D, basados en modelos consultados en repositorios de diseño, considerando las modificaciones y adaptaciones que se requieran para su correcto funcionamiento.

ORGANIZACIÓN DE LA TESIS

El texto examina la situación de las personas con discapacidad en Colombia, enfocándose en las amputaciones y las prótesis como solución para mejorar su calidad de vida. Los capítulos analizan la vulnerabilidad de las personas con discapacidad y la importancia de garantizar su derecho a la salud, describen los tipos de amputaciones y profundizan en las prótesis, incluyendo avances tecnológicos. Se presentan proyectos de prótesis innovadores que demuestran el potencial de la tecnología para mejorar la accesibilidad y funcionalidad. También se aborda el proceso de adaptación de las prótesis al paciente, incluyendo la evaluación, diseño, fabricación y ajuste necesarios para garantizar comodidad y funcionalidad adecuadas.

	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

OBJETIVO

GENERAL

Adaptar diseño de prótesis cinética de bajo costo y mediante fabricación en impresión 3D, para persona de la ciudad de Medellín, con malformación congénita parcial de mano.

ESPECÍFICOS

- Obtener los parámetros y modelos (medidas) necesarios de la amputación presentada por el paciente mediante el moldeo en yeso de la amputación.
- Configurar el diseño disponible de la asistencia mecánica (prótesis) de acuerdo a las medidas requeridas por el paciente mediante la modificación de parámetros
- Imprimir y evaluar el desempeño y ergonomía de la asistencia mecánica (prótesis) implementada al paciente.

	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

2. MARCO TEÓRICO

2.1. PERSONAS CON DISCAPACIDAD EN COLOMBIA

El enfoque diferencial en salud reconoce que existen grupos de personas con características particulares que enfrentan una mayor vulnerabilidad para ejercer su derecho a la salud. La discapacidad es una de estas características y, según los registros del MSPS en Colombia, alrededor de 1,3 millones de personas presentaban alguna discapacidad en agosto de 2020. El 76,8% de estas personas con discapacidad están afiliadas al SGSSS, mientras que la tasa de afiliación de la población general es del 95%. El 70,3% de las personas con discapacidad pertenecen al régimen subsidiado. La mayoría de las personas con discapacidad son adultos mayores (39%), y el 15% de ellas manifestó ser víctima del conflicto armado. El 3,8% de las personas con discapacidad afirmó pertenecer a un grupo étnico, y la enfermedad general y los accidentes son las causas más frecuentes de discapacidad. Además, en 2020 se observó un aumento de personas con discapacidad que acudieron a los servicios de salud por problemas relacionados con trastornos mentales. Las personas con discapacidad registradas en Colombia se concentran principalmente en Bogotá, Antioquia, Huila, Santander y Cali. (Cubillos & Perea, 2020)

2.2. AMPUTACIÓN

La 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, tienen dos metas: la extirpación y la reconstrucción. En la primera, el objetivo es remover la porción de la extremidad para eliminar el estado patológico, la segunda busca crear un órgano distal óptimo, es decir que toman un trozo de otra parte del cuerpo para añadirlo a la parte afectada. (Stokasa, 2021)

	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

2.2.1. TIPOS DE AMPUTACIÓN

Existen varios tipos de amputaciones, que se clasifican según la parte del cuerpo que se va a amputar. Los tipos de amputaciones incluyen:

- Amputación traumática: se realiza después de una lesión grave, como una lesión por arma de fuego o un accidente automovilístico.
- Amputación quirúrgica: se realiza para tratar una enfermedad o infección crónica, como la gangrena o el cáncer.
- Amputación congénita: ocurre durante el desarrollo fetal y puede ser el resultado de una malformación congénita o una enfermedad.
- Amputación de emergencia: se realiza cuando hay una amenaza inmediata para la vida del paciente, como una infección grave o una hemorragia.
- Amputación reactiva: se realiza en respuesta a una enfermedad o lesión, como la amputación de un dedo del pie para evitar la propagación de una úlcera diabética.

(Anaya, y otros, 2015;2016)

El tipo de amputación dependerá de la causa subyacente y de la parte del cuerpo que se esté amputando. Es importante destacar que la amputación es un procedimiento importante y se realiza en circunstancias extremas en las que otras opciones de tratamiento no han sido efectivas.

2.2.2. CLASIFICACIÓN DE LAS AMPUTACIONES

Las amputaciones se pueden clasificar en diferentes categorías, según la parte del cuerpo afectada y la extensión de la amputación. A continuación, se describen las principales clasificaciones:

1. Por nivel de amputación: Se refiere al lugar donde se ha llevado a cabo la amputación, como:
 - Amputación de miembros superiores: Mano, muñeca, antebrazo, codo, brazo y hombro.

	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

- Amputación de miembros inferiores: Pie, tobillo, pierna, rodilla, muslo y cadera.
2. Por la técnica quirúrgica utilizada: La técnica quirúrgica que se utiliza para realizar la amputación puede variar según la parte del cuerpo afectada y la razón de la amputación. Las técnicas quirúrgicas comunes incluyen:
- Amputación abierta: El miembro se corta directamente a través de la piel y el hueso.
 - Amputación cerrada: El hueso se corta por debajo de la piel y se deja una capa de músculo para cubrir el hueso.
 - Amputación en "T": Una técnica de amputación en la que el hueso se corta en forma de T y se utiliza para crear una base estable para una prótesis.
3. Por la extensión de la amputación: La amputación también se puede clasificar según la extensión del tejido afectado. Las clasificaciones son:
- Amputación completa: En la que se extirpa todo el miembro, incluyendo huesos, músculos, tejido blando y piel.
 - Amputación parcial: En la que solo se extirpa una parte del miembro, como un dedo o una parte del pie. (Arce, 2005)

En la Figura 1, se pueden observar los niveles de amputación localizados en miembros superiores e inferiores. Los cuales son muy útiles ya que permiten identificar con mayor claridad la amputación presentada por los diferentes pacientes y definir cuál es la prótesis que se adapta a su necesidad.

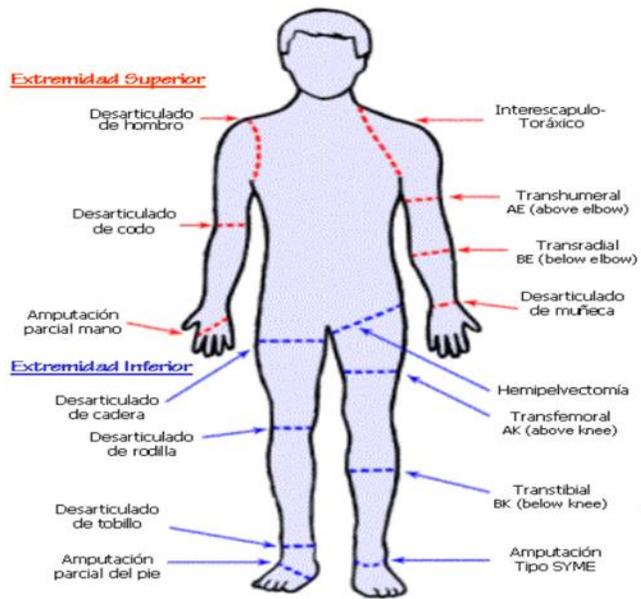


Figura 1. Niveles de amputación (Arce, 2005)

2.3. PRÓTESIS

Una prótesis es un dispositivo artificial diseñado para reemplazar o mejorar una parte del cuerpo que ha sido perdida o dañada debido a una lesión, enfermedad o defecto congénito. Las prótesis pueden ser externas o internas y pueden estar diseñadas para reemplazar cualquier parte del cuerpo, desde una mano o un pie hasta una articulación de la cadera o una válvula cardíaca. Las prótesis modernas utilizan materiales avanzados, como plásticos de alta resistencia, aleaciones metálicas y materiales biocompatibles, para proporcionar una funcionalidad y apariencia cada vez más realistas. Las prótesis también pueden incluir sensores y circuitos electrónicos que permiten a los usuarios controlar la prótesis con la mente o la actividad muscular, lo que les permite realizar una amplia gama de actividades diarias y deportivas (Galli & Pelozo, 2017). La tecnología de prótesis ha avanzado significativamente en las últimas décadas y ha mejorado la calidad de vida de muchas personas que de otra manera estarían limitadas en sus actividades diarias.

	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

2.3.1. TIPOS DE PRÓTESIS

Existen varios tipos de prótesis, cada una diseñada para reemplazar una parte específica del cuerpo. Algunos ejemplos comunes incluyen:

- Prótesis de miembro superior: reemplazan una mano, brazo o antebrazo. Pueden incluir prótesis de dedos, muñeca, codo, antebrazo y mano.
- Prótesis de miembro inferior: reemplazan un pie, pierna o muslo dañado. Pueden incluir prótesis de pie, tobillo, rodilla, pierna y muslo.
- Prótesis de cadera: reemplazan la articulación de la cadera y pueden incluir prótesis de cadera total o parcial.
- Prótesis de hombro: reemplazan la articulación del hombro y pueden incluir prótesis de hombro total o parcial.
- Prótesis de rodilla: reemplazan la articulación de la rodilla y pueden incluir prótesis de rodilla total o parcial.
- Prótesis dentales: reemplazan los dientes que faltan y pueden incluir dentaduras parciales o completas, puentes dentales y coronas dentales.
- Prótesis oculares: reemplazan el ojo perdido o dañado y pueden incluir prótesis oculares de vidrio o plástico. (Puglisi & Moreno)

Estos son solo algunos ejemplos de los tipos de prótesis disponibles. Cada prótesis se adapta a las necesidades individuales del paciente y se personaliza para proporcionar la mayor funcionalidad y comodidad posible.

2.3.2. PRÓTESIS MAS USADAS

Existen muchos tipos de prótesis utilizadas en diferentes partes del cuerpo, pero algunas de las prótesis más comunes son:

- Prótesis de cadera: Esta prótesis se utiliza para reemplazar la articulación de la cadera. Está compuesta de una bola de metal y una cavidad de plástico que se ajusta en el hueso del fémur y el hueso de la cadera. Es una de las prótesis más comunes y tiene una alta tasa de éxito.

	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

- **Prótesis de rodilla:** La prótesis de rodilla se utiliza para reemplazar la articulación de la rodilla. Está compuesta de una pieza de metal y una pieza de plástico que se ajusta en el hueso del fémur y la tibia. Es una de las prótesis más comunes y ha mejorado significativamente la calidad de vida de las personas con dolor y limitación de movimiento en la rodilla.
- **Prótesis de mano:** La prótesis de mano se utiliza para reemplazar partes de la mano que se han perdido debido a una amputación. Pueden ser muy sofisticadas y utilizar la tecnología para permitir el movimiento de los dedos y el agarre de objetos.
- **Prótesis de pie:** La prótesis de pie se utiliza para reemplazar el pie o parte del pie que se ha perdido debido a una amputación. Pueden variar desde simples prótesis para caminar hasta prótesis sofisticadas con articulaciones que imitan el movimiento del pie humano.
- **Prótesis dental:** La prótesis dental se utiliza para reemplazar dientes que faltan. Pueden ser parciales o completas y pueden ser removibles o permanentes. (Espinoza & García, 2014)

Estas son solo algunas de las prótesis más comunes, pero existen muchas otras prótesis que se utilizan en diferentes partes del cuerpo para mejorar la calidad de vida de las personas.

2.3.3. PROYECTOS DE PRÓTESIS

- El primero es un proyecto de grado de ingeniería mecánica de la Universidad de Valladolid que consiste en el diseño y fabricación mediante impresión 3D de una prótesis de dedo con sensor de fuerza. Se realizó la fabricación, montaje y prueba de un prototipo de dedo sensorizado que será posteriormente colocado en una prótesis de mano y ésta, a su vez, irá colocada en una prótesis de brazo. Todo esto se basa en tecnología de impresión 3D.. (Benito, 2020)

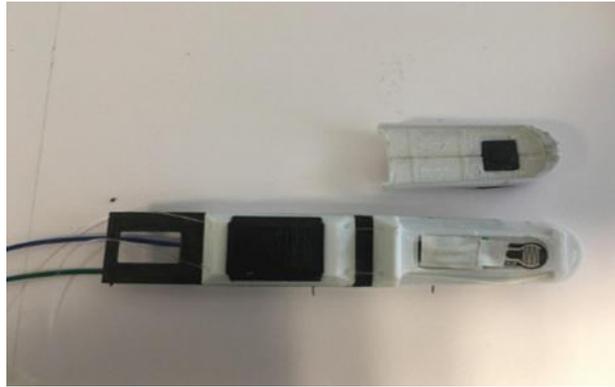


Figura 2. Prótesis de dedo con senso de fuerza (Benito, 2020)

- El segundo proyecto es una iniciativa llamada Free 3D Hands, que es una empresa estadounidense fundada en noviembre del 2017. El objetivo de esta iniciativa es diseñar, probar y mejorar una prótesis de mano. El dispositivo es impulsado por el cuerpo y solo se puede implementar en personas con amputación de mano congénita (según la Figura 1, amputación parcial de mano). La muñeca es la encargada de realizar la función para abrir y cerrar los dedos permitiendo el agarre. Además, esta iniciativa proporciona un manual con toda la información necesaria para realizar dicha prótesis (Bowtell, 2020).



Figura 3. Prótesis mano cinética (Bowtell, 2020)

	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

- El tercer proyecto es un proyecto de titulación que se enfoca en el diseño de una prótesis de pierna y pie utilizando materiales disponibles en el mercado nacional. El objetivo es proporcionar una solución viable y adaptable para personas con discapacidad que han sufrido una amputación. Se lleva a cabo una investigación sobre las soluciones actuales disponibles y se analizan posibles soluciones nuevas. Luego, se desarrolla un modelo tridimensional utilizando una impresora 3D y se evalúan los resultados del proceso de prototipado rápido. El proyecto sienta las bases para futuras investigaciones y patentes en el área de la Bio-Mecánica, lo que podría impulsar el desarrollo tecnológico para satisfacer estándares de aplicación y calidad en prótesis de miembros inferiores (Andrade, 2016)

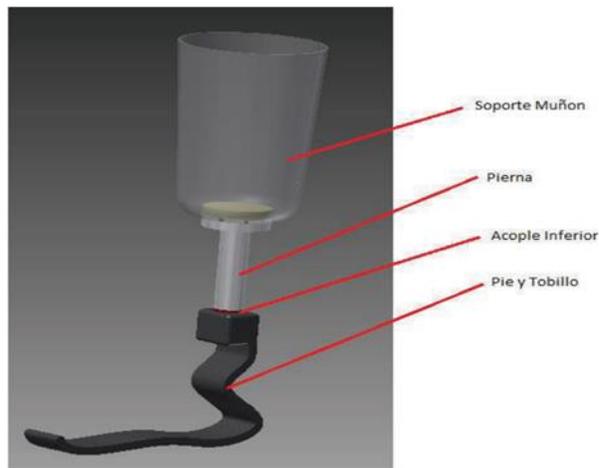


Figura 4. Prótesis de pierna (Andrade, 2016)

- El cuarto proyecto habla sobre la necesidad de una prótesis y la larga espera que enfrentan las personas de bajos recursos sin cobertura médica para obtener una prótesis convencional, lo que puede llevar a la pérdida de interés y dificultad en su aprendizaje para su correcta utilización. La solución propuesta es una prótesis de rodilla poli céntrica imprimible mediante una impresora 3D convencional de bajo costo, lo que permitiría una solución más confiable y accesible para las personas necesitadas. El desarrollo del proyecto incluyó el diseño, construcción y prueba de la prótesis de rodilla poli céntrica imprimible de bajo costo. (Menghini, 2017)

	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05



Figura 5. Prótesis de rodilla (Menghini, 2017)

2.3.4. ADAPTACIÓN DE PRÓTESIS

La adaptación de una prótesis a un paciente es un proceso complejo que implica varios pasos. A continuación, se describen los pasos generales del proceso:

- **Evaluación:** En primer lugar, un equipo de profesionales de la salud, evalúan al paciente para determinar qué tipo de prótesis sería la mejor para él o ella. Esta evaluación implica examinar la amplitud del movimiento, la fuerza muscular, la coordinación y otras capacidades físicas del paciente.
- **Diseño:** Una vez que el equipo determina qué tipo de prótesis será la mejor para el paciente, se comienza a diseñar la prótesis. El diseño se basa en las medidas y necesidades específicas del paciente.
- **Fabricación:** Después de que se completa el diseño, el protésico fabrica la prótesis utilizando materiales resistentes y duraderos como plásticos, aleaciones metálicas y materiales biocompatibles.
- **Ajuste:** Una vez que se fabrica la prótesis, se ajusta correctamente al cuerpo del paciente. El protésico realizará ajustes para garantizar que la prótesis sea cómoda y funcione adecuadamente.
- **Entrenamiento:** Después de que se ajusta la prótesis, el paciente recibirá entrenamiento para aprender a usarla. El entrenamiento puede incluir ejercicios de

	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

fortalecimiento muscular, técnicas de caminar, coger objetos y realizar actividades diarias.

- Seguimiento: El paciente se someterá a un seguimiento regular con el equipo de atención médica para garantizar que la prótesis siga siendo adecuada y realizar cualquier ajuste necesario (Stokasa, 2021)

Adaptar una prótesis a un paciente es un proceso cuidadosamente coordinado que implica la evaluación, el diseño, la fabricación, el ajuste, el entrenamiento y el seguimiento.

2.4. IMPRESIÓN 3D

Una impresora 3D es una máquina que utiliza tecnología de fabricación aditiva para crear objetos tridimensionales a partir de un modelo digital. En lugar de imprimir en papel como una impresora convencional, una impresora 3D crea objetos mediante la adición de capas de material, como plástico, metal o resina, que se solidifican creando la pieza deseada. La impresora 3D se basa en la tecnología de CAD (diseño asistido por ordenador) para crear modelos digitales en 3D de los objetos que se van a imprimir.

La impresora 3D se utiliza en una amplia variedad de campos, desde la fabricación de prototipos y piezas de maquinaria hasta la creación de prótesis médicas personalizadas y objetos de arte. Con la impresión 3D, es posible crear objetos de formas muy complejas y con gran precisión, lo que permite la creación de piezas personalizadas a medida. Además, la impresión 3D puede ser más eficiente y sostenible que otros métodos de fabricación, ya que se pueden reducir los residuos y los costes asociados con la producción en masa. (Vicente, 2018)

2.4.1. VENTAJAS

La impresión 3D tiene varias ventajas, algunas de las cuales incluyen:

- Personalización: La impresión 3D permite la creación de objetos personalizados de manera rápida y eficiente. Puede imprimir objetos únicos y personalizados según las especificaciones y necesidades del usuario.
- Reducción de costos: La impresión 3D puede ser una alternativa más económica a la producción tradicional, especialmente para la fabricación de piezas de baja tirada o

	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

prototipos. Además, la impresión 3D reduce los costos de almacenamiento y logística, ya que los archivos digitales pueden almacenarse y transportarse electrónicamente.

- **Flexibilidad de diseño:** La impresión 3D permite una mayor flexibilidad en el diseño de productos. Los diseños pueden ser ajustados fácilmente para adaptarse a cambios en las necesidades del mercado o de los clientes.
- **Mayor eficiencia en la producción:** La impresión 3D puede ser más eficiente que la producción tradicional, ya que no se necesitan moldes ni herramientas para fabricar objetos. Esto significa que los objetos pueden producirse más rápidamente y con menos residuos.
- **Menor impacto ambiental:** La impresión 3D puede reducir el impacto ambiental al minimizar los residuos y la energía requerida para la producción. Además, la capacidad de fabricar piezas y productos en el lugar reduce la necesidad de transporte y, por lo tanto, disminuye la huella de carbono asociada.
- **Innovación:** La impresión 3D permite la creación de objetos que no son posibles de producir con los métodos tradicionales. Esto puede fomentar la innovación en diversas industrias y campos. (Blasnilo, Jimenez, Gutiérrez, & Villamizar, 2017)

2.4.2. DESVENTAJAS

La impresión 3D también tiene algunas desventajas. Aquí te presento algunas de las más comunes:

- **Coste:** El precio de las impresoras 3D y los materiales necesarios para imprimir pueden ser costosos en comparación con otros métodos de producción.
- **Velocidad:** La impresión 3D es un proceso lento. La velocidad de impresión depende del tamaño y la complejidad del objeto, así como de la calidad requerida. Los objetos grandes pueden tardar horas, días o incluso semanas en imprimirse.
- **Calidad:** La calidad de la impresión 3D puede ser limitada por la resolución y precisión de la impresora y los materiales utilizados. Los objetos impresos en 3D

	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

pueden tener defectos o imperfecciones que no serían un problema en otros métodos de producción.

- Limitaciones de tamaño y forma: Las impresoras 3D tienen limitaciones en cuanto al tamaño y forma de los objetos que pueden imprimir. Algunas impresoras pueden imprimir objetos de hasta varios metros, mientras que otras están limitadas a unos pocos centímetros. Además, ciertas formas y diseños pueden ser difíciles de imprimir debido a limitaciones técnicas.
- Problemas de acabado: Los objetos impresos en 3D pueden requerir trabajo adicional para eliminar soportes y lijar imperfecciones. El acabado final puede no ser tan suave o uniforme como el de otros métodos de producción.
- Impacto ambiental: La impresión 3D puede generar residuos, incluyendo materiales no utilizados y soportes impresos. Además, la producción de materiales para la impresión 3D puede requerir una gran cantidad de energía y recursos. (Leydy Gómez, 2017)

2.4.3. TIPOS DE IMPRESORAS 3D

Existen diferentes tipos de impresoras 3D, cada una con sus propias características y tecnologías de impresión. Aquí te presento algunos de los tipos más comunes:

- FDM (Fused Deposition Modeling): utiliza un filamento de plástico que se funde y deposita en capas para crear el objeto.
- SLA (Stereolithography): utiliza resinas fotosensibles y un láser UV para solidificarlas en capas y crear el objeto.
- SLS (Selective Laser Sintering): utiliza un láser para fundir polvos de material, creando el objeto capa por capa.
- DLP (Digital Light Processing): utiliza una fuente de luz para solidificar resina fotosensible en capas, creando el objeto.
- Polyjet: utiliza una tecnología de impresión similar a la de una impresora de inyección de tinta, donde se depositan gotas de resina en capas.

	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

- MJF (Multi Jet Fusion): utiliza un cabezal de impresión para depositar polvo de nylon y un agente de fusión para crear objetos. (Mejía, 2016)

Estos son solo algunos de los tipos de impresoras 3D disponibles en el mercado, cada una con sus propias ventajas y desventajas.

2.4.4. MATERIALES DE IMPRESIÓN 3D

Una impresora 3D utiliza varios tipos de materiales para producir objetos tridimensionales, que pueden variar según el tipo de impresora y el método de impresión utilizado. Los materiales más comunes incluyen:

- Filamento de plástico: es el material más utilizado en la impresión 3D. Está disponible en varios tipos de plásticos, como ABS, PLA, PETG, Nylon, etc. El filamento se alimenta en la impresora desde una bobina y se derrite a alta temperatura antes de ser depositado capa por capa para formar el objeto.
- Resinas: las impresoras 3D de resina utilizan una variedad de resinas líquidas que se solidifican cuando se exponen a la luz ultravioleta (UV). Las resinas pueden ser de diferentes colores y propiedades, como dureza, flexibilidad, transparencia, etc.
- Polvo: algunas impresoras 3D utilizan polvo de metal, cerámica o yeso para producir objetos. El polvo se deposita capa por capa y se fusiona mediante un proceso de sinterización o fusión de haz de electrones.
- Material en lámina: algunas impresoras 3D utilizan láminas de material como papel, cartón, madera, etc. para crear objetos. (Velásquez, 2019)

En general, los materiales que consume una impresora 3D dependen del tipo de impresora, la tecnología de impresión y el tipo de objeto que se está produciendo.

2.4.5. CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DEL PLA

El PLA (ácido poli láctico) es un polímero biodegradable y termoplástico que se deriva de recursos renovables como el maíz, la remolacha y la caña de azúcar. Es un material plástico popular en la industria de la fabricación aditiva, especialmente en la impresión 3D, debido a su facilidad de uso y su bajo punto de fusión, que lo hace adecuado para su uso en impresoras 3D de escritorio. Además, el PLA no emite gases tóxicos durante la impresión y

	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

es biodegradable, lo que lo convierte en una opción respetuosa con el medio ambiente en comparación con otros plásticos convencionales. El PLA se utiliza comúnmente para la fabricación de objetos de baja resistencia mecánica, como juguetes, envases y prototipos, así como para aplicaciones médicas como suturas y andamios de tejidos.

El PLA tiene una serie de características mecánicas importantes que lo hacen adecuado para la impresión 3D, incluyendo:

- Buena resistencia y rigidez: El PLA es relativamente rígido y resistente, lo que lo hace adecuado para la fabricación de piezas estructurales y funcionales.
 - Bajo índice de deformación: El PLA es un material relativamente rígido, lo que significa que tiene un bajo índice de deformación bajo carga.
 - Buena adhesión: El PLA se adhiere bien a la cama de impresión, lo que hace que sea fácil de imprimir.
 - Bajo coeficiente de fricción: El PLA tiene un coeficiente de fricción bajo, lo que lo hace adecuado para la impresión de piezas móviles y rodamientos.
 - Baja toxicidad: El PLA es un material seguro y no tóxico, lo que lo hace adecuado para la fabricación de piezas que estarán en contacto con alimentos y agua.
 - Biodegradable y compostable: El PLA es biodegradable y compostable, lo que lo hace adecuado para la fabricación de piezas que serán desechadas al final de su vida útil.
- (Roa, 2017)

El PLA es un material versátil y amigable con el medio ambiente que se utiliza ampliamente en la impresión 3D y en una variedad de aplicaciones en la industria y la medicina debido a sus características mecánicas y biológicas favorables.

2.4.6. CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DEL TPU

El TPU (siglas en inglés de termoplástico de poliuretano) es un material plástico que combina características mecánicas de los elastómeros con las propiedades de procesamiento de los termoplásticos. Es un polímero termoplástico que se puede moldear y conformar mediante diferentes procesos de fabricación, como la inyección de plástico. El TPU es conocido por su elasticidad, resistencia a la abrasión y al desgarro, flexibilidad,

	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

dureza y resistencia química, lo que lo hace adecuado para una amplia gama de aplicaciones, desde calzado y ropa hasta dispositivos médicos y componentes de la industria automotriz. Además, el TPU es reciclable y se puede utilizar para la fabricación de productos respetuosos con el medio ambiente.

Algunas de las características mecánicas del TPU son:

- **Elasticidad:** El TPU tiene una alta elasticidad y capacidad de deformación, lo que lo hace ideal para aplicaciones donde se requiere flexibilidad y resistencia al impacto.
- **Resistencia al desgarro:** El TPU tiene una excelente resistencia al desgarro y abrasión, lo que lo hace ideal para aplicaciones que requieren una alta resistencia mecánica.
- **Dureza:** El TPU puede tener diferentes niveles de dureza, desde suave y flexible hasta duro y rígido, lo que lo hace adecuado para una amplia gama de aplicaciones.
- **Resistencia a la fatiga:** El TPU tiene una buena resistencia a la fatiga y puede soportar cargas repetidas sin sufrir daños significativos.
- **Resistencia química:** El TPU tiene una buena resistencia a muchos productos químicos, lo que lo hace adecuado para aplicaciones en entornos agresivos.
- **Estabilidad térmica:** El TPU tiene una buena estabilidad térmica y puede soportar temperaturas de hasta 150 °C sin sufrir deformación significativa. (Farfán, Lima, Cahuana, Quispe, & Farfán, 2021)

El TPU es un material muy versátil que combina una amplia gama de características mecánicas que lo hacen adecuado para una amplia variedad de aplicaciones, desde calzado y ropa hasta aplicaciones en la industria automotriz y de la construcción.

2.4.7. PARÁMETROS DE IMPRESIÓN 3D

Los parámetros que se utilizan en una impresión 3D pueden variar según el modelo de impresora 3D y el material de impresión utilizado. Sin embargo, a continuación, se presentan algunos parámetros generales que se pueden ajustar en una impresora 3D:

- **Temperatura:** la temperatura de impresión es uno de los parámetros más importantes que se deben ajustar. La temperatura adecuada depende del tipo de

	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

material que se esté utilizando. Los materiales más comunes utilizados en la impresión 3D son el PLA, ABS, PETG, nylon, y TPU.

- Velocidad: la velocidad de impresión se puede ajustar para acelerar o reducir la velocidad de impresión. La velocidad adecuada también depende del material utilizado.
- Altura de capa: la altura de capa es la altura de cada capa de material que se deposita durante la impresión. Una altura de capa más pequeña proporciona una impresión más detallada, mientras que una altura de capa más grande proporciona una impresión más rápida.
- Retracción: la retracción se refiere a la cantidad de material que se retrae de la boquilla de impresión cuando la impresora 3D cambia de posición. Un valor de retracción demasiado alto puede resultar en un exceso de retracción y un valor de retracción demasiado bajo puede provocar atascos en la boquilla.
- Densidad de relleno: la densidad de relleno se refiere a la cantidad de material que se utiliza para llenar el interior de la pieza impresa. Un valor más alto de densidad de relleno significa que la pieza impresa será más resistente, mientras que un valor más bajo significa que la pieza será más ligera.
- Adhesión a la cama: la adhesión a la cama se refiere a la capacidad del material de adherirse a la superficie de la cama de impresión. Un valor adecuado de adhesión a la cama es importante para evitar que la pieza se desprenda durante la impresión.
- Soporte: el soporte se refiere a la estructura de soporte que se utiliza para evitar que la pieza impresa se caiga o se deforme durante la impresión. Un soporte adecuado se puede ajustar según las necesidades de la pieza impresa. (Astudillo & Joseline, 2021)

Estos son algunos de los parámetros que se pueden ajustar en una impresora 3D para obtener una impresión satisfactoria. Es importante ajustarlos adecuadamente según las necesidades de cada proyecto de impresión 3D.

3. METODOLOGÍA

Inicialmente se llevó a cabo un acercamiento con el paciente para informarle sobre la intención del proyecto y obtener su consentimiento para participar en él. Se procedió entonces a realizar una caracterización, obteniendo sus datos principales como su nombre, edad, peso, talla, residencia y tipo de trastorno que presenta, los cuales se Revisar registraron en la Tabla 1. Posteriormente se evaluó la viabilidad de desarrollar una asistencia mecánica en forma de prótesis y se analizó el impacto que esta podría tener en la calidad de vida de la paciente.

Tabla 1. Caracterización del paciente (Fuente: Autor)

Datos personales			Discapacidad	Imagen
Nombre	Wilfer Andrés Villegas Loaiza		Tipo de amputación	
Fecha de nacimiento	Octubre 5 de 1985			
Edad	37 años			
Peso	57Kg		Nivel de amputación	
Talla	1.75 metros			
Residencia	Medellín			
Viabilidad del proyecto (Prótesis)			Impacto que genera en su calida de vida	
Aprobación	SI	NO	Firma	<p>Por intermedio de esta prótesis el paciente podrá agarrar, mover, sostener objetos de uso diario, además le permitirá cumplir con su necesidad principal, movilizar un coche tipo “carro de supermercado”. El cual lo utiliza en la venta informal de dulces, gaseosas, cigarrillos entre otros para obtener su sustento diario.</p>
	X			
Observaciones				
<p>Este proyecto es posible realizarlo ya que se cuenta con las herramientas necesarias para su desarrollo (Tecnología 3d), además el paciente presenta muy buena movilidad en la zona donde adaptaremos la prótesis.</p>				
PRÓTESIS				
				

A partir de los datos obtenidos previamente, se procedió al desarrollo de un molde de yeso del miembro superior derecho del paciente que presenta una malformación congénita parcial de mano. Esto para facilitar la adaptación de la prótesis con el paciente, se solicitó el servicio del scanner 3D EinScan-SE en el laboratorio de diseño del ITM (Robledo), Esto para obtener las medidas más precisas y el modelo 3D (STL) del muñón.



Figura 6. Proceso del molde (Fuente: Autor)

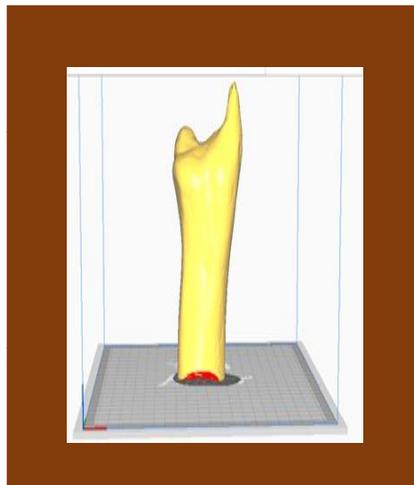


Figura 7. Modelo del muñón en formato STL (Fuente: Autor)

Así mismo, se tomaron las medidas antropométricas de ambas extremidades con el objetivo de lograr simetría, las cuales se registraron en las Tablas 2, 3, 4, 5, 6.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

Tabla 2. Medidas antropométricas miembro superior izquierdo, sin anomalía (Fuente: Autor)

Medidas antropométricas (Miembro superior izquierdo)			
MANO			
Medidas			
Ancho	Largo	Ancho palma	Largo del ante brazo
15 Cm	17 Cm	9 Cm	25 Cm
Imagen			
			

Tabla 3. Medidas antropométricas de los dedos, miembro superior izquierdo, sin anomalía (Fuente: Autor)

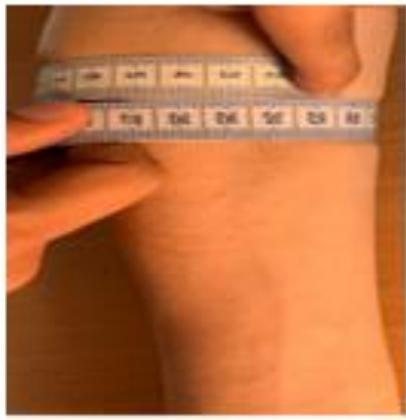
	Pulgar			
Pulgar	Indice	Medio	Anular	Meñique
Medidas (Largos falanges)				
Falange 1	Falange 1	Falange 1	Falange 1	Falange 1
20,1 mm	23,5 mm	24,5 mm	21,1 mm	15,3 mm
Falange 2	Falange 2	Falange 2	Falange 2	Falange 2
32,4 mm	17,7 mm	22,1 mm	19,7 mm	13,3 mm
Imagen	Falange 3	Falange 3	Falange 3	Falange 3
	25,9 mm	28,5 mm	27,2 mm	23,5 mm
	Imagen	Imagen	Imagen	Imagen
				

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

Tabla 4. Medidas antropométricas del muñón, miembro superior derecho, presenta malformación congénita parcial de mano. (Fuente: Autor)

Medidas antropométricas (Malformación congénita parcial de mano, miembro superior derecho)		
MUÑÓN		
Medidas		
Alto	Largo	Ancho
4 Cm	7 Cm	7,5 Cm
Imagen		
		

Tabla 5. Medidas antropométricas del ante brazo, miembro superior derecho, presenta malformación congénita parcial de mano (Fuente: Autor)

ANTE BRAZO	
Medidas	
Largo	Diametro
19 Cm	22 Cm
Imagen	
	

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

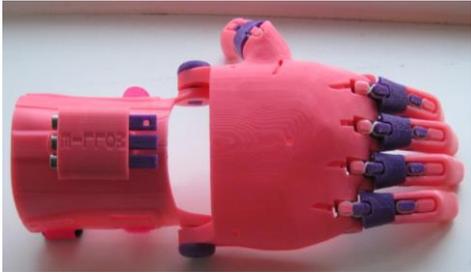
Tabla 6. Medidas antropométricas de la muñeca, miembro superior derecho, presenta malformación congénita parcial de mano. (Fuente: Autor)

MUÑECA	
Medidas	
Ancho	Diametro
6 Cm	15 Cm
Imagen	
	

Con el propósito de desarrollar la ayuda ortopédica requerida (amputación parcial de mano que presenta muñeca, según se registra en la Tabla 1), se realizaron búsquedas en repositorios de diseño, páginas web y otras fuentes de acceso libre, orientadas hacia modelos completos de prótesis, ver Tabla 7.

	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

Tabla 7. Matriz selección asistencia mecánica (Fuente: Autor)

Prótesis analizadas (repositorios de diseño, paginas web)	
Iniciativa	
Team UnLimbited	Free 3D Hands
	
Observaciones	
<p>Realizada en PLA, su sistema tensor está compuesto por un Hilo elástico, el cual tensiona el mecanismo, para suplir la articulación se utilizan bandas elásticas, este material con el uso constante tiende a dañarse mucho requiriendo un mantenimiento continuo.</p>	<p>Realizada en PLA, su sistema tensor está compuesto por Nylon, el cual tensiona el mecanismo, para suplir la articulación se utiliza el TPU, este material es muy resistente y no requiere de un mantenimiento continuo.</p>

Se descargó la información de la asistencia mecánica y se analizaron los formatos obtenidos, clasificando las piezas según su utilidad. Finalmente, se realizaron las modificaciones requeridas en las piezas utilizando el programa ULTIMAKER CURA, teniendo en cuenta la información de las Tablas 2, 3, 4, 5, 6 y el modelo 3D del muñón en formato STL. Escalando los modelos se configuraron las medidas permitiendo un ajuste adecuado. Teniendo en cuenta que la articulación de la muñeca tiene que estar alineada perfectamente con la parte inferior de la base de la mano, es aquí donde se une con el socket transfiriendo el movimiento del cuerpo a la prótesis, en las imágenes de las Tabla 8, 9, 10. Se observan una dimensión inadecuada, procediendo para el cambio de las medidas en los planos (X, Y, Z) se puede encontrar la escala para modificar el modelo.

Tabla 8. Configuración de las medidas en los planos X, Y, Z de la base de la mano (Fuente: Autor)

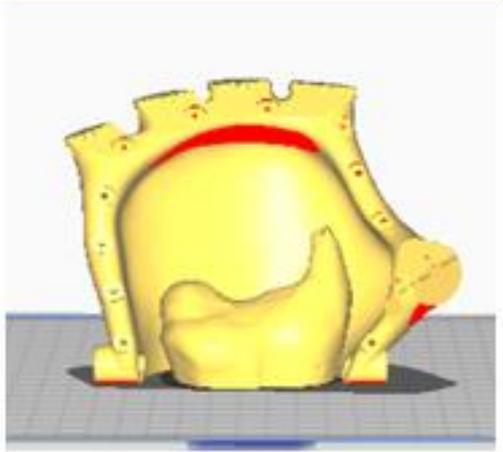
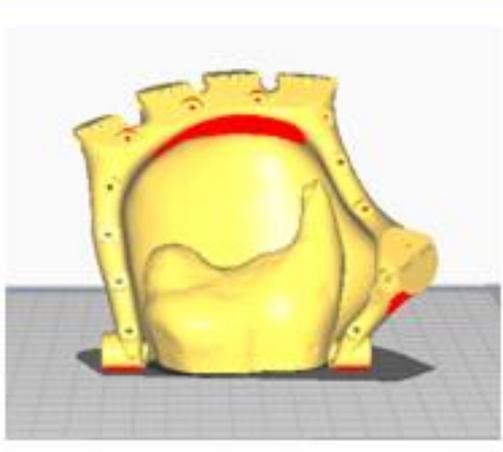
Base de la mano			Base de la mano (configurada)		
Planos					
X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
140,54	72,15	123,69	120	70	100
Imágenes					
					

Tabla 9. Configuración de las medidas en los planos X, Y, Z del socket (Fuente: Autor)

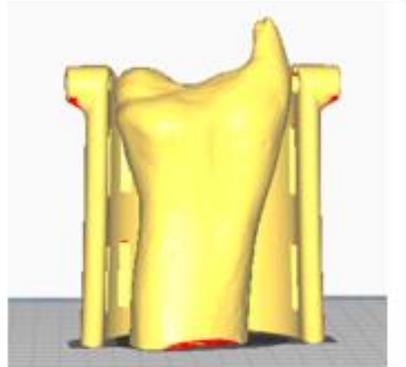
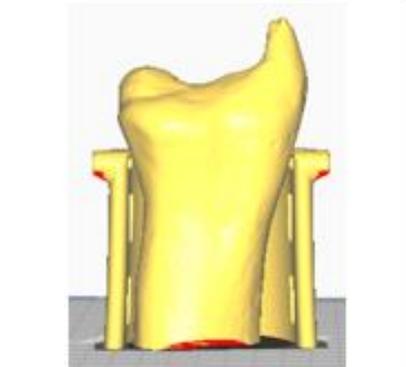
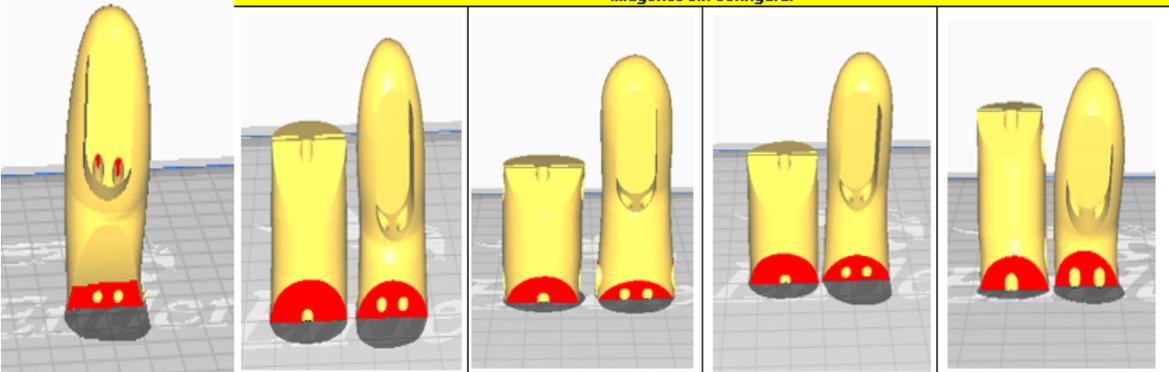
Socket			Socket (configurado)		
Planos					
X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
104,6	50	127,4	85	50	90
Imágenes					
					

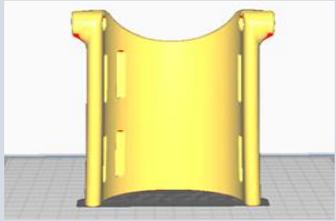
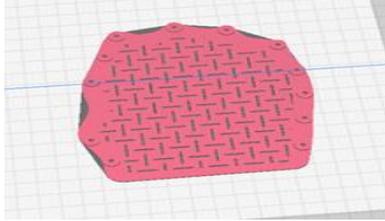
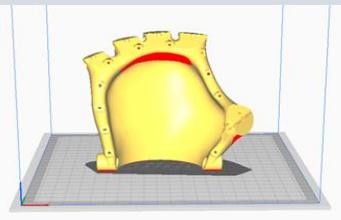
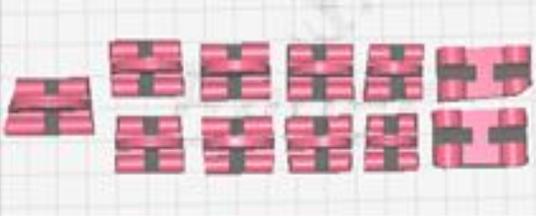
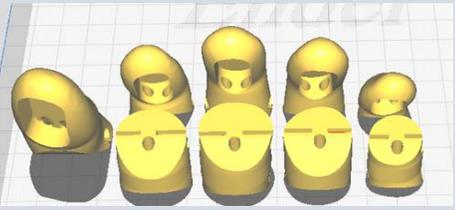
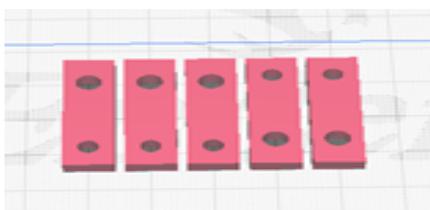
Tabla 10. Configuración de las medidas en los planos X, Y, Z de los dedos, falange por falange. (Fuente: Autor)

Dedos														
Pulgar			Indice			Medio			Anular			Meñique		
Planos														
Falange 1			Falange 1			Falange 1			Falange 1			Falange 1		
X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
33,6	47,6	64,14	24,5	23,4	28,3	24,3	24,4	30,1	22,4	22,8	27,8	19,3	18,9	25,1
Falange 2			Falange 2			Falange 2			Falange 2			Falange 2		
Imagen sin configurar			X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
			22,7	25,3	45	23,9	26,5	55	22	28	51,2	18,7	23,4	31,4
Imágenes sin configurar														
														

Una vez optimizados los diseños y teniendo las piezas en formato STL, se procedió a clasificarlas según su material de fabricación (PLA, TPU). Ambos materiales se eligieron por sus buenas propiedades mecánicas, a su vez son muy comerciales, de bajo costo y fácil manufactura, primordialmente el PLA para su estructura y el TPU ya que gracias a su buena elongación permitió cumplir la tarea de la articulación convirtiéndolo en parte fundamental de la prótesis. Se utilizó el programa ULTIMAKER CURA para programar los parámetros de impresión, tales como velocidad, temperatura y material, teniendo en cuenta las particularidades de cada material. Las modificaciones de estos parámetros permitieron mejorar las propiedades mecánicas de las piezas y reducir el tiempo de procesamiento, como se puede observar en la Tabla 11. Con los parámetros debidamente configurados, se utilizó la impresora Ender 3D pro (Propia) para la impresión de los modelos.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

Tabla 11. Parámetros de impresión materiales utilizados (Fuente: Autor)

Parametrización										
Material										
PLA					TPU					
Altura de Capa	Grosor de capa	Velocidad	Temperatura	Relleno	Altura de capa	Grosor de capa	Velocidad	Temperatura	Relleno	
0,2 mm	1,8 mm	60 mm/s	210 ° C	40%	0,2 mm	1,8 mm	30 mm/s	230 ° C	40%	
Pieza 1					Pieza					
Nombre			Tiempo	Peso	Nombre			Tiempo	Peso	
Socket			12 Horas	72 gramos	Palma de la mano			5 Horas	23 gramos	
Imagen					Imagen					
										
Pieza 2					Pieza 2					
Nombre			Tiempo	Peso	Nombre			Tiempo	Peso	
Base de la mano			16 Horas	109 gramos	Articulaciones			4 Horas	17 gramos	
Imagen					Imagen					
										
Pieza 3					Pieza 3					
Nombre			Tiempo	Peso	Nombre			Tiempo	Peso	
Dedos			11 Horas	76 gramos	Tensores			2 Horas	5 gramos	
Imagen					Imagen					
										

Continuando con el proyecto, se realizaron una serie de pruebas las cuales fueron de agarre, fuerza ergonomía. Constaron en agarrar y desplazar diferentes elementos de uso cotidiano, como botellas plásticas o dulces, de un lado a otro; la segunda prueba consistió en sostener objetos de diferentes pesos, analizando cuanto peso puede aguantar la prótesis en su uso, el experimento fue por medio de mancuernas agregando de manera progresiva un peso definido, para comprobar hasta qué punto la prótesis podría soportar la fuerza aplicada.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE			Código	FDE 028
				Versión	01
				Fecha	2015-10-05

Tabla 12. Pruebas del agarre fino y grueso, prototipo Inicial. (Fuente: Autor)

Prueba Agarre								
Botella (plástico)			Dulces			Carro de mercado		
Cumple	SI	NO	Cumple	SI	NO	Cumple	SI	NO
		X					X	
Observaciones			Observaciones			Observaciones		
<p>En esta prueba se analizó el agarre grueso de la prótesis, observando un buen comportamiento al realizar el agarre y desplazamiento de la botella en condiciones normales (vacía y llena).</p>			<p>En esta prueba se analizó el agarre fino de la prótesis, cumpliendo con su tarea, pero se observó dificultad a la hora de sujetar objetos pequeños (dulces, cajas de chicle, entre otros).</p>			<p>En esta prueba se analizó el agarre y la fuerza de la prótesis, observando un buen agarre con el carro de mercado, pero al aplicar la fuerza necesaria para realizar el desplazamiento, la prótesis no lograba cumplir con esta tarea</p>		

Tabla 13. Pruebas de fuerza, prototipo Inicial. (Fuente: Autor)

Prueba Fuerza								
Peso 1Kg			Peso 3Kg			Peso 5Kg		
Cumple	SI	NO	Cumple	SI	NO	Cumple	SI	NO
		X					X	
Observaciones			Observaciones			Observaciones		
<p>En esta prueba se pudo observar un buen comportamiento en el agarre de la prótesis, ya que no soltó la masa que se estaba agarrando. Esto indica que la prótesis fue capaz de soportar la fuerza requerida durante la prueba.</p>			<p>En esta prueba se observó que la prótesis tuvo un agarre aceptable debido al peso de la mancuerna. A pesar de ello, la prótesis cumplió con la prueba al soportar la fuerza requerida.</p>			<p>En esta prueba se observó que la prótesis no pudo agarrar ni sostener la masa que se estaba utilizando. Esto indica que la prótesis no fue capaz de soportar la fuerza requerida para manejar objetos de ese peso.</p>		

	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

Tabla 14. Prueba de ergonomía, prototipo Inicial (Fuente: Autor)

Prueba de ergonomía
Observaciones
<p>En las pruebas realizadas se observó que la prótesis fue capaz de cumplir con algunas tareas en la vida cotidiana del paciente, como el agarre grueso y la fuerza para sostener objetos de diferentes pesos. Sin embargo, se detectaron dificultades en la tarea de agarre fino, especialmente en objetos pequeños. Además, se observó que la prótesis no pudo soportar el peso requerido en algunas pruebas, lo que podría limitar su uso para ciertas actividades que involucren estas actividades.</p> <p>Es importante destacar el punto de vista del paciente, quien informó sentirse bien al realizar las pruebas con la prótesis, pero presentó una molestia en la parte superior de la muñeca con posible lesión por el uso constante de la prótesis. Este resultado destaca la importancia de tener en cuenta la comodidad y el bienestar del usuario al utilizar una prótesis, y la necesidad de ajustarla correctamente para evitar lesiones.</p>

Continuando con la metodología del proyecto, se procedió a la evaluación del desempeño y la valoración del impacto en la calidad de vida del paciente, por medio de una encuesta al usuario con el fin de determinar la funcionalidad de la prótesis y lo más importante la experiencia usuario-objeto.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

Tabla 15. Encuesta, punto de vista del paciente modelo inicial (Fuente: Autor)

Encuesta				
Genero		Edad	¿Qué tipo de prótesis utilizas?	
Masculino (X)	Femenino ()	37 Años	Protesis de mano	
¿Cuál fue la razón principal por la que obtuviste una prótesis?				
Malformación congénita				
¿Cómo calificarías la comodidad de tu prótesis?				
Muy cómoda	Cómoda	Neutra	Incómoda	Muy incómoda
			X	
¿Has experimentado alguna dificultad al realizar actividades cotidianas con tu prótesis?				
SI	NO	Observaciones		
X		Se me dificulta agarrar objetos pequeños (dulces, cajas de chicle, entre otros), además no pude desplazar el carro de mercado.		
¿Has experimentado problemas con el ajuste o la adaptación de tu prótesis?				
SI	NO	Observaciones		
X		Presente una molestia en la parte superior de la muñeca por el uso constante de la prótesis.		
¿Recibes apoyo o asesoramiento de los profesionales?				
SI	NO	Observaciones		
X		Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a los profesionales. Su dedicación, habilidades y compasión han transformado mi vida, brindándome una nueva oportunidad para vivir plenamente y alcanzar		
¿Cuál es tu nivel de satisfacción general con tu prótesis?				
Muy satisfecho	Satisfecho	Neutral	Insatisfecho	Muy insatisfecho
		X		
¿Cómo te sientes al momento de usar la prótesis?				
Me sentí muy contento ya que nunca había podido agarrar objetos con mi mano derecha, lo único que no me gusto fue el tallón que sentía en la parte superior de la muñeca.				
¿La prótesis si cumplió con su función principal? (mejorar su calidad de vida)				
Este proyecto logro impactar mi vida de una manera inexplicable, me lleno de felicidad realizar movimientos que no podía hacer, se me dificultan algunos movimientos, pero es de acostumbrarme.				
¿Tienes algún comentario o sugerencia para mejorar la prótesis?				
Me gustaría agarrar con mayor facilidad objetos pequeños y poder soportar más peso sin que la prótesis te suelte, y lo más importante que no me talle.				

	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

Como análisis general, la prótesis tuvo algunas limitaciones en términos de agarre fino, resistencia a la fuerza y ergonomía observados en las Tablas 12, 13, 14, 15. Este modelo puede ser útil para ciertas actividades cotidianas y mejorar la calidad de vida del paciente. Sin embargo, se debió seguir haciendo rediseños y mejoras para una funcionalidad efectiva y cómoda para el usuario. Después de identificar algunos problemas en la fuerza, agarre y la ergonomía de la prótesis.

Se investigaron las características mecánicas de los materiales tensores (Nylon, cuerda de guitarra #5), ver Tabla 16. La cual muestra las propiedades mecánicas de ambos materiales, los cuales son de alta resistencia a la tracción, elasticidad, desgaste, fatiga, corrosión, permitiendo un óptimo funcionamiento por medio de elementos que controlan la tensión del sistema tensor, los cuales permitieron un correcto funcionamiento de la prótesis.

	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

Tabla 16. Propiedades mecánicas sistemas tensores, NYLON, CUERDA GUITARRA #5 (Globa Plast, 2020) (Morais, 2022)
(Fuente: Autor)

PROPIEDADES MECÁNICAS			
Material			
Nylon		Cuerda guitarra # 5	
Tracción	Muy resistente a la tracción, lo que significa que es capaz de soportar una gran cantidad de peso y tensión sin romperse	Tracción	Alta resistencia a la tracción, permitiendo soportar la tensión generada al ser estirada durante su uso.
Elasticidad	Alta elasticidad, lo que significa que puede estirarse sin romperse y luego volver a su forma original una vez que se elimina la tensión	Elasticidad	Buena elasticidad, lo que significa que puede estirarse sin romperse para luego volver a su forma original una vez se elimine la tensión
Desgaste	Muy resistente al desgaste, lo que lo hace ideal para su uso en aplicaciones que requieren resistencia a la abrasión	Dureza	Muy buena dureza, lo que significa que no se deforme o se rompa con facilidad
Absorción de agua	Baja absorción de agua, lo que significa que mantiene su resistencia y durabilidad incluso en condiciones húmedas	Fatiga	Es capaz de soportar la fatiga y resistir la rotura por la repetición de ciclos de carga y descarga durante su uso
Productos químicos	Resistente a muchos productos químicos, lo que lo hace adecuado para aplicaciones en las que el material debe resistir la exposición a sustancias químicas.	Corrosión	Está hecha de aleaciones metálicas (bronce fosforoso), lo cual permite una alta resistencia a la corrosión.

Continuando con las mejoras se investigó un material resistente a este tipo de trabajo y que fuera amigable con la piel del paciente. Escogiendo el LYNER (Utilizado en las prótesis de miembros inferiores) como material de trabajo.

Para finalizar se hicieron las mismas pruebas de agarre, fuerza y ergonomía con la prótesis final, organizadas en las siguientes Tablas 17, 18, 19, 20.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE			Código	FDE 028
				Versión	01
				Fecha	2015-10-05

Tabla 17. Pruebas agarre, modelo final (Fuente: Autor)

Pruebas de agarre								
Botella (plástico)			Dulces			Carro de mercado		
Cumple	SI	NO	Cumple	SI	NO	Cumple	SI	NO
		X					X	
Observaciones			Observaciones			Observaciones		
<p>En esta prueba se analizó el agarre grueso, observando un buen comportamiento al realizar el agarre y desplazamiento de la botella en condiciones normales (vacía y llena).</p>			<p>En esta prueba se analizó el agarre fino, observando un buen comportamiento al realizar el agarre y desplazamiento de objetos pequeños (dulces, cajas de chicle, entre otros).</p>			<p>En esta prueba se analizó el agarre y la fuerza, observando un buen agarre con el carro de mercado, cuando se le aplico la fuerza necesaria para realizar el desplazamiento, la prótesis pudo cumplir con esta tarea. (solucionando la necesidad requerida por el paciente)</p>		

Tabla 18. Pruebas de fuerza, modelo final. (Fuente: Autor)

Pruebas de Fuerza								
Peso 1Kg			Peso 3Kg			Peso 5Kg		
Cumple	SI	NO	Cumple	SI	NO	Cumple	SI	NO
		X					X	
Observaciones			Observaciones			Observaciones		
<p>En esta prueba se pudo observar un buen comportamiento en el agarre y fuerza, ya que no soltó la masa que se estaba sosteniendo. Esto indica que la prótesis fue capaz de soportar la fuerza requerida durante esta prueba.</p>			<p>En esta prueba se pudo observar un buen comportamiento en el agarre y fuerza, ya que no soltó la masa que se estaba sosteniendo. Esto indica que la prótesis fue capaz de soportar la fuerza requerida durante esta prueba.</p>			<p>En esta prueba se pudo observar un buen comportamiento en el agarre y fuerza, ya que no soltó la masa que se estaba sosteniendo. Esto indica que la prótesis fue capaz de soportar la fuerza requerida durante esta prueba.</p>		

	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

Tabla 19. Pruebas de ergonomía, modelo final. (Fuente: Autor)

Pruebas de ergonomía
Observaciones
<p>En las pruebas realizadas se observó que la prótesis fue capaz de cumplir con todas las tareas, como los dos tipos de agarres (Grueso, Fino) y las fuerzas requeridas para soportar objetos pesados, dando como resultado un excelente comportamiento de la prótesis al cumplir con la necesidad principal paciente (soportar y desplazar un carro de mercado).</p> <p>Es importante destacar el punto de vista del paciente, quien informó sentirse muy contento al realizar las pruebas con la prótesis modificada, porque era más cómoda y fácil de manipular en las tereas del agarre grueso y fino. Al tener la tercera falange le facilito coger objetos pequeños con más facilidad. También manifestó que la prótesis tiene mucha fuerza al soportar objetos pesados y pudo cumplir con su necesidad, esto se debe al sistema tensor (cuerda #5 guitarra), la cual por ser de una aleación metálica (Bronce fosforoso) es capaz de resistir mucho peso sin sufrir ningún daño. Además, nos contó que no sintió ninguna molestia con la prótesis, no presento enrojecimiento en ninguna parte, esto se debe al guante el cual protege al paciente de la prótesis.</p>

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

Tabla 20. Encuesta, punto de vista del paciente modelo final (Fuente: Autor)

Encuesta				
Genero		Edad	¿Qué tipo de prótesis utilizas?	
Masculino (X)	Femenino ()	37 Años	Protesis de mano	
¿Cuál fue la razón principal por la que obtuviste una prótesis?				
Malformación congénita				
¿Cómo calificarías la comodidad de tu prótesis?				
Muy cómoda	Cómoda	Neutra	Incómoda	Muy incómoda
X				
¿Has experimentado alguna dificultad al realizar actividades cotidianas con tu prótesis?				
SI	NO	Observaciones		
	X	No he presentado ninguna dificultad, antes lo contrario me facilita la vida al poder agarrar cualquier tipo de objeto, mejoro en un 100%		
¿Has experimentado problemas con el ajuste o la adaptación de tu prótesis?				
SI	NO	Observaciones		
	X	No he presentado ninguna molestia, antes lo contrario la siento súper cómoda.		
¿Recibes apoyo o asesoramiento de los profesionales?				
SI	NO	Observaciones		
X		Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a los profesionales. Su dedicación, habilidades y compasión han transformado mi vida, brindándome una nueva oportunidad para vivir plenamente y alcanzar mis sueños.		
¿Cuál es tu nivel de satisfacción general con tu prótesis?				
Muy satisfecho	Satisfecho	Neutral	Insatisfecho	Muy insatisfecho
X				
¿Cómo te sientes al momento de usar la prótesis?				
Me sentí muy contento ya que puedo agarrar con mayor facilidad los objetos pequeños, además siento tener más control de los objetos pesados, la prótesis no se suelta y no me talla.				
¿La prótesis si cumplió con su función principal? (mejorar su calidad de vida)				
Este proyecto logro impactar mi vida de una manera inexplicable, me lleno de felicidad realizar movimientos que no podía hacer, logrando cumplir mi necesidad principal Mover mi CARRO DE MERCADO, Muchas gracias a ESTEBAN y su grupo de trabajo.				
¿Tienes algún comentario o sugerencia para mejorar la prótesis?				
No tengo ninguna sugerencia, solo agradecer por tan lindo regalo que me dieron sin cobrarme ningún peso, muchas, muchas gracias.				

	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

DIAGRAMA DE FLUJO

El diagrama que se observará en la Figura 8, muestra el proceso que se debe seguir a la hora de adaptar una asistencia mecánica a una persona, involucra varios pasos ordenados y claros. En primer lugar, un equipo de profesionales evalúa al paciente, considerando su amplitud de movimiento, fuerza muscular, coordinación y otras capacidades físicas. Luego, determinan el tipo de prótesis más adecuada. El diseño se basa en las medidas y necesidades específicas del paciente, asegurando un ajuste perfecto al cuerpo. Se fabrica la prótesis utilizando materiales resistentes y duraderos. Después de fabricarla, se realiza el ajuste necesario para garantizar comodidad y funcionamiento adecuado. El paciente recibe entrenamiento para aprender a utilizar la prótesis efectivamente, incluyendo ejercicios de fortalecimiento muscular y técnicas de movimiento. Se realiza un seguimiento regular con el equipo de atención médica para garantizar que la prótesis siga siendo adecuada y realizar ajustes si es necesario.

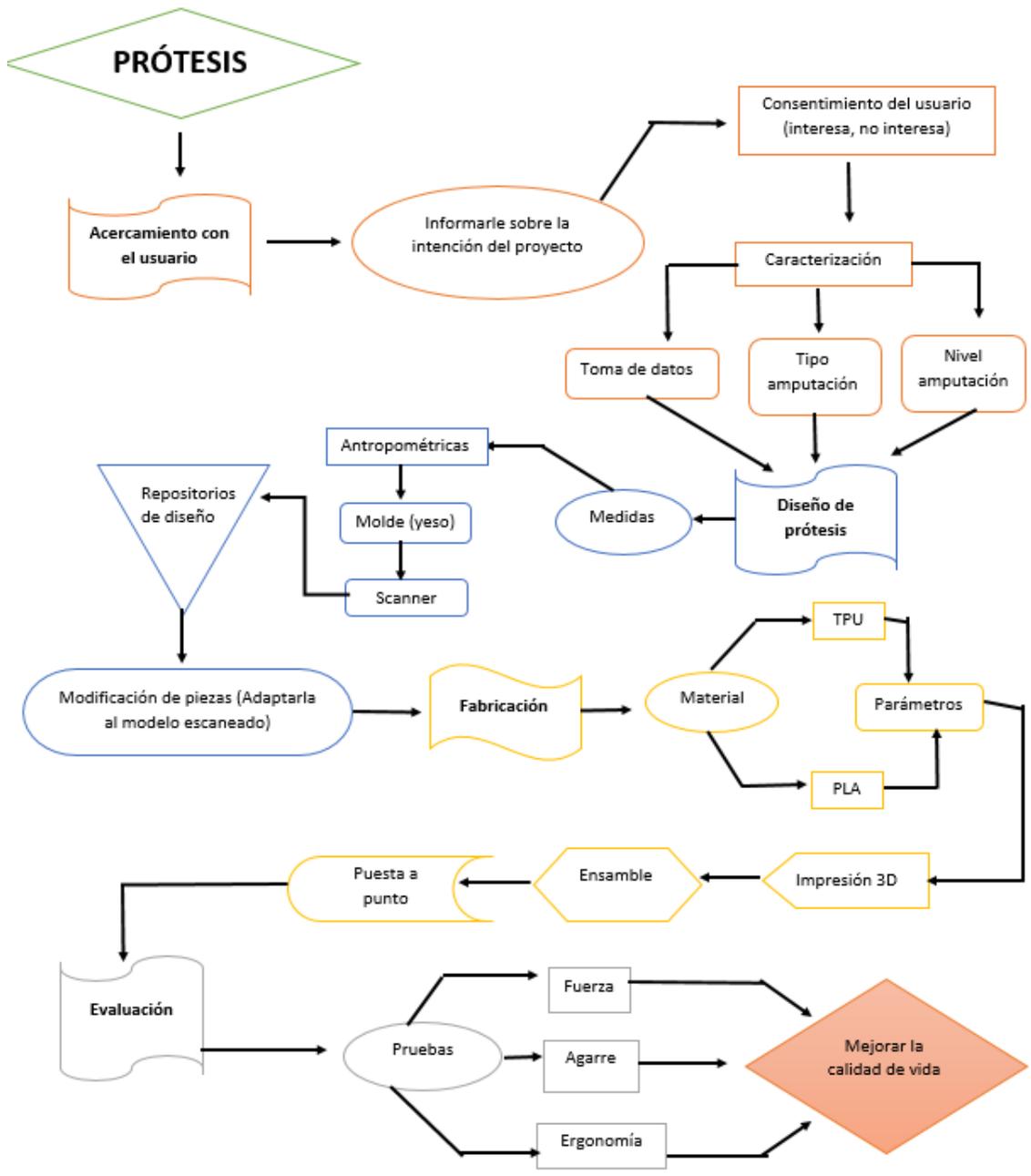


Figura 8. Diagrama de flujo (Fuente: Autor)

	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este proyecto se desarrolló una asistencia mecánica, la cual permitió mejorar la calidad de vida de una persona, analizando las pruebas de las Tablas 12, 13, 14, 15 (modelo inicial) se identificaron problemas en este modelo, cómo (agarre fino, agarrar objetos pesados, enrojecimiento). Para dar solución a estos problemas, se mejoró la prótesis haciendo modificaciones al primer modelo evaluando su funcionamiento, observando en las Tablas 17, 18, 19, 20 el comportamiento de la prótesis modificada y solucionando los problemas iniciales. Para empezar con todo el análisis se debió tener mayor énfasis en el proceso de fabricación de la prótesis el cual consta de un paso a paso previo.

- Empezando con estos resultados, en cuanto a las medidas antropométricas de la extremidad sana del paciente, aquí se presenta con detalle el proceso de adaptación precisa y simétrica al paciente. Este proceso se inició con la configuración de la base de la mano, utilizando el modelo en formato STL del muñón como herramienta de referencia fundamental.
- El cambio de dimensiones en los ejes de referencia (X,Y,Z), permitió modificar las medidas del modelo adaptándose perfectamente con el muñón conservando la simetría, esto permitió el proceso de modificar las medidas del socket configuradas con la ayuda de las nuevas medidas de este modelo del muñón, teniendo en cuenta que la articulación de la muñeca debe de estar alineada perfectamente con la parte superior del socket, para finalizar se modificaron las medidas de los dedos según las nuevas dimensiones.
- Se seleccionó como referencia la prótesis Free 3D Hands, ya que es un dispositivo impulsado por la muñeca la cual se encarga de realizar la función para abrir y cerrar los dedos permitiendo el agarre, además cuenta con un material más resistente en la zona de las articulaciones (TPU), esta iniciativa puede ser implementada solo en personas que padezcan de una amputación parcial de mano.
- Para la elección de los materiales siendo el PLA muy apropiado para la estructura de la asistencia mecánica principalmente por su resistencia mecánica y densidad, y el TPU gracias a que presenta una alta elasticidad, resistencia a la tracción, al desgarro y resiliencia que lo hacen perfecto para un funcionamiento flexible.

	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

- En la fase de fabricación, una vez impresos todos los componentes que conforman la prótesis, se procedió al ensamble y la puesta a punto de la asistencia mecánica para adaptarla al paciente. En la Figura 9 se puede observar la prótesis realizada.

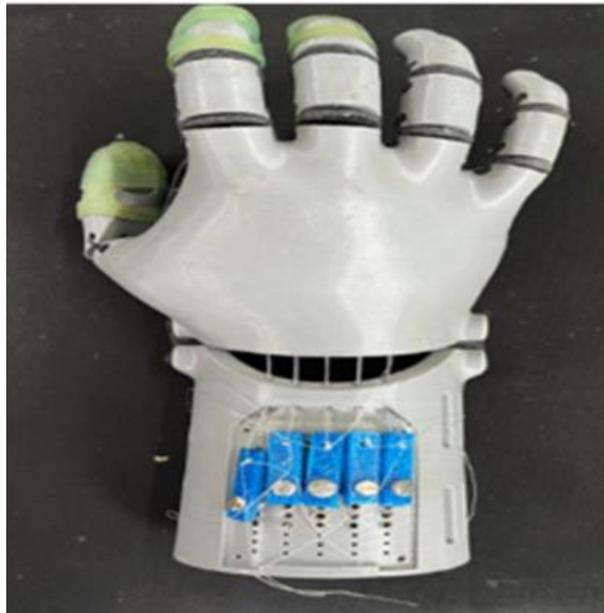


Figure 9. Asistencia mecánica, realizada al paciente. (Fuente: Autor)

- En el marco de los resultados generalmente se analizaron las pruebas de agarre (Botellas de plástico, dulces) en los dos modelos. Empezando con el primer modelo, ver Tabla 12. Las cuales indicaron un buen funcionamiento de la prótesis al agarrar objetos grandes, pero al momento de agarrar objetos pequeños se le dificultó realizar la tarea, mostrando una falencia en su funcionamiento. Sabiendo esto se diseñó la tercera falange de la prótesis anteriormente fabricada, la cual posibilitó mejorar significativamente la capacidad de agarrar y manipular objetos pequeños, ver Tabla 17. Al aumentar la longitud de los dedos, se obtuvo una mayor precisión y control en los movimientos, esto sucedió porque inicialmente solo se contaba con dos falanges.
- Según la información arrojada por las pruebas de fuerza al prototipo inicial registradas en la Tabla 13, se observó que la prótesis no pudo agarrar ni sostener la masa de 5 Kg. Esto indicó que la prótesis no es capaz de soportar mucho peso. Sabiendo esto se procedió a utilizar otro material en el sistema tensor de la prótesis, cambiando el Nylon por la Cuerda de guitarra calibre #5, ya que el Nylon no tiene suficiente resistencia a la tensión para soportar por lo tanto tener una buena

	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

funcionalidad y usabilidad en la prótesis, dicho cambio generó la necesidad de modificar el SOCKET. En la Tabla 18 se puede observar la mejoría en las características de la prótesis ya que logró cumplir con facilidad todas las pruebas, además pudo soportar y desplazar el carro de mercado, la necesidad principal del paciente.

- También se realizó una prueba de ergonomía para evaluar la comodidad del paciente al usar la prótesis, en la Tabla 14. Se pudo observar que el modelo inicial cumplía con algunas condiciones en la actividad que se realizó, pero el paciente manifestó que la prótesis le molestaba en la parte superior de la muñeca, solo al momento de haber realizado las pruebas anteriores. Queriendo decir que si utiliza la prótesis prolongadamente puede causar una herida y una molestia permanente, la Tabla 15 (encuesta) muestra el punto de vista y experiencia del paciente con la prótesis. Sabiendo esto, se implementó un guante fabricado en (LYNER), un material resistente a este tipo de trabajo y amigable con el cuerpo. Con el guante puesto se realizan las pruebas mencionadas anteriormente. En la Tabla 19, se puede ver el resultado de las pruebas quedando muy conforme con los mismos, adicionalmente se consultó con el paciente sobre su experiencia haciendo una segunda encuesta, manifestando que la prótesis no causa ninguna molestia ver Tabla 20 (encuesta). Permitiendo así mejorar su calidad de vida.
- En el marco de los resultados de modificaciones de piezas, se procedió inicialmente al diseño de la tercera falange de la prótesis preexistente mediante el uso del software Onshape, como se ilustra en la Figura 10. Esta modificación representó una mejora sustancial en la capacidad de la prótesis para agarrar y manipular objetos de menor tamaño. El aumento en la longitud de los dedos permitió una mayor precisión y control en los movimientos, lo que, a su vez aumentó la destreza para sujetar objetos diminutos. Esto resultó especialmente beneficioso, ya que la versión anterior contaba únicamente con dos falanges, lo que dificultaba la tarea de sujetar objetos pequeños, esta adaptación se realizó cuidadosamente manteniendo la simetría de las dimensiones de los dedos, como se detalla en la Tabla 3.

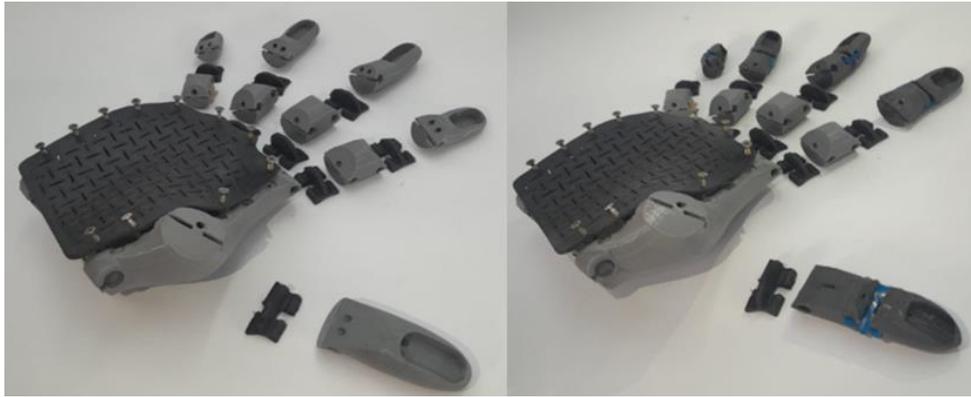


Figura 10. Modificación realizada al modelo inicial, adicionando la TERCERA falange. (Fuente. Autor)

- La modificación del socket fue de vital importancia ya que en este punto se calibró la tensión de las cuerdas por intermedio de un buje y un tornillo (mico). En la Figura 11 se puede observar el cambio del modelo mencionado, el cual permitió el óptimo funcionamiento del sistema tensor.

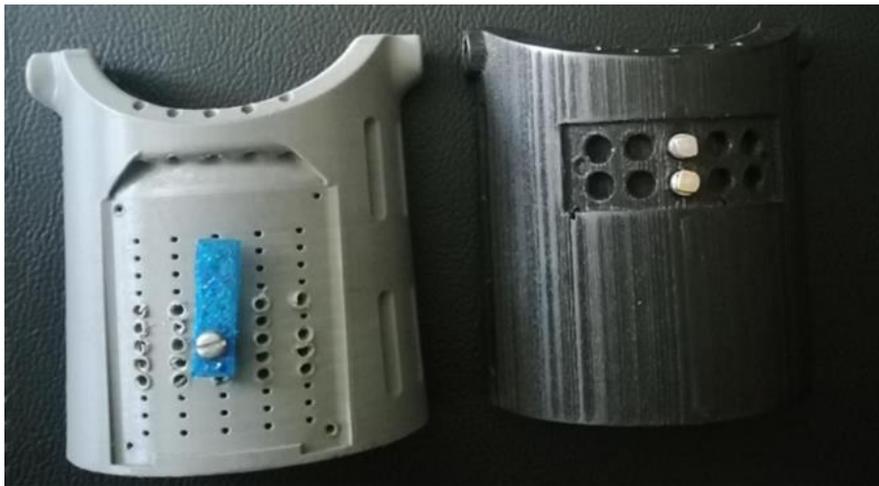


Figura 11. Modificación realizada al SOCKET. (Fuente: Autor)

- La Fabricación del guante se referenció según las dimensiones del molde mostradas en la Figura 6, las cuales sirvieron para obtener la plantilla y las medidas exactas de la malformación del paciente, posteriormente se manufacturó manualmente ya que en máquina de coser la aguja rebotaba dañando el material, ver Figura 12.



Figure 12. Guante del muñón del paciente, previene enrojecimiento en la piel por el roce con la prótesis. (Fuente: Autor)

- Una vez impresas las piezas con las correcciones realizadas en la prótesis, se procedió al ensamble y la puesta a punto para adaptarla al paciente. En la Figura 13 se puede observar la prótesis mejorada.



Figura 13. Asistencia mecánica mejorada. (Fuente: Autor)

	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

- Los resultados que se pueden observar en la Tabla 20 (segunda encuesta), son de alto impacto en la calidad de vida del paciente ya que el comportamiento de la prótesis logro cumplir con su totalidad las pruebas realizadas cumpliendo con el objetivo de este proyecto. La Figura 14 muestra la felicidad del usuario al tener su prótesis puesta.



Figura 14. Objetivo del proyecto cumplido, mejorar la calidad de vida de Wilfer. (Fuente: Autor)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

CONCLUSIONES

- El proyecto de adaptación del diseño de una prótesis cinética de bajo costo mediante fabricación en impresión 3D para una persona con malformación congénita parcial de mano en Medellín ha alcanzado con éxito su objetivo general. El uso de una metodología adecuada permitió obtener un diseño de prótesis que mejoró significativamente la calidad de vida del paciente al facilitar la realización de diversas actividades cotidianas.
- La caracterización inicial del paciente y la evaluación de la viabilidad de desarrollar una asistencia mecánica fueron etapas fundamentales en el proceso. A partir de los datos obtenidos, se creó un molde con yeso del miembro afectado y se tomaron medidas antropométricas para lograr la simetría en la prótesis. La utilización de un escáner 3D permitió obtener las medidas precisas del muñón, lo que facilitó la adaptación de la prótesis al paciente.
- Se seleccionó como referencia el modelo de prótesis Free 3D Hands, que se ajustaba a las necesidades del paciente. Se realizaron modificaciones en las piezas descargadas para adaptarlas al paciente, utilizando el programa ULTIMAKER CURA. Los parámetros de impresión fueron configurados según los materiales seleccionados (PLA y TPU) y se utilizó la impresora Ender 3D Pro para fabricar las piezas.
- Tras el ensamble y puesta a punto de la prótesis, se llevaron a cabo pruebas de fuerza, agarre y ergonomía para evaluar su desempeño y propiedades. En general, se identificaron limitaciones en términos de agarre fino y resistencia a la fuerza, pero se observó que la prótesis era útil para ciertas actividades cotidianas y mejoraba la calidad de vida del paciente.

	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

- A partir de los resultados obtenidos en las pruebas, se realizaron tres modificaciones en el diseño de la prótesis. Se incorporó una tercera falange para mejorar el agarre de objetos pequeños, se reemplazó el material tensor nylon por cuerda de guitarra #5 para aumentar la resistencia a la fuerza, y se utilizó el material LYNER en el guante para mejorar la comodidad y prevenir rozaduras en la piel del paciente. Estas modificaciones demostraron ser efectivas, ya que se observó una mejora significativa en el desempeño y adaptación de la prótesis en las pruebas posteriores. El paciente manifestó resultados positivos en términos de rendimiento y acoplamiento de la prótesis, lo que indica que se logró cumplir con el objetivo del proyecto de mejorar su calidad de vida.

RECOMENDACIONES

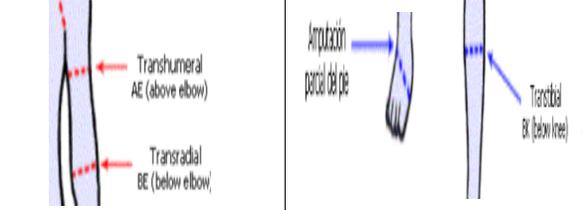
Aunque se alcanzaron resultados satisfactorios, es importante mencionar las limitaciones y restricciones del estudio. Las pruebas y evaluaciones se realizaron con un único paciente, lo que limita la generalización de los resultados, es importante resaltar que el diseño de la prótesis aún puede seguir siendo optimizado.

TRABAJOS FUTUROS

Se identifica el caso de un hombre adulto de 27 años el cual se dedicaba a trabajar en obras de construcción, hace 3 años tuvo un accidente laboral en San Pedro de los Milagros, manifestando que se encontraba trabajando en la fabricación de una casa que al momento de subir unas varillas del primer piso al tercer piso por la ventana, este material generó contacto con los cables de luz, ocasionando un corto eléctrico por ende una explosión perjudicando la integridad de la persona dejándolo con un daño permanente en sus 4 extremidades, impidiéndole caminar y agarrar objetos de uso cotidiano. En la Tabla 21, se observa la información del paciente, obteniendo sus datos principales como su nombre, edad, peso, talla, residencia y tipo de trastorno que presenta. Por lo cual, se pretende realizar asistencias mecánicas (prótesis) de miembro superiores e inferiores con la aplicación de tecnología de impresión 3D, basados en modelos consultados en repositorios de diseño, considerando las modificaciones y adaptaciones que se requieran para su correcto funcionamiento con el fin de mejorar su calidad de vida.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

Tabla 21. Caracterización del paciente (Fuente: Autor) (EN EJECUCIÓN)

Datos personales		Discapacidad	Imágenes (Miembro superior derecho, izquierdo)	Imágenes (Miembros inferiores derecho, izquierdo)			
Nombre	Luis Arnulfo Taborda Londoño	Tipo de amputación Observamos 4 amputaciones, localizadas en los miembros superiores e inferiores, ocasionadas en un accidente laboral en san pedro de los milagros, manifestando que se encontraba trabajando en la fabricación de una casa, al momento de subir unas varillas del primer piso al tercer piso por la ventana las varillas tocaron los cables de luz ocasionando una explosión perjudicando la integridad del paciente dejándolo con un daño permanente en sus 4 extremidades					
Fecha de nacimiento	Septiembre 18 de 1995						
Edad	28 años						
Peso	50kg						
Talla	1.58metros						
Residencia	Medellín	Nivel de amputación Observando la Figura # 1 (niveles de amputación) clasificando las 4 amputaciones obtenemos 2 amputaciones en los miembros superiores y 2 amputaciones en los miembros inferiores (derecho e izquierdo) respectivamente, la primera de ellas se clasifica como una amputación transhumeral (derecho), la segunda se clasifica como una amputación transradial (izquierdo), la tercera se clasifica como una amputación parcial de pie (derecho), la cuarta se clasifica como una amputación transtibial (izquierdo)					
Viabilidad del proyecto (Prótesis)							
Aprobación	<table border="1"> <tr> <td>SI</td> <td>NO</td> </tr> <tr> <td>X</td> <td></td> </tr> </table>			SI	NO	X	
SI	NO						
X							
Firma							
Observaciones		Impacto que genera en su calidad de vida					
<p>Este proyecto es posible realizarlo ya que se cuenta con las herramientas necesarias para su desarrollo (Tecnología 3d), además el paciente presenta muy buena movilidad en las zonas donde adaptaremos las prótesis.</p>		<p>Por intermedio de estas prótesis el paciente podrá agarrar, mover, sostener objetos de uso diario, además le permitirá volver a caminar su necesidad princip</p>					

	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

REFERENCIAS

- Anaya, A., Caudillo, S., Domínguez, C., Espinosa, C., Híjar, M., Hinojosa, C., . . . Ortiz. (2015;2016). *Los amputados y su rehabilitación un reto para el estado*. (E. V. Sánchez, Ed.) Mexico: Inter sistemas. Recuperado el 23 de 04 de 2023, de https://anmm.org.mx/publicaciones/ultimas_publicaciones/Rehabilitacion.pdf
- Andrade, H. (2016). *Diseño y prototipado rápido de una prótesis de pierna y pie para personas con capacidades especiales*. PROYECTO DE GRADO, Escuela Politécnica Nacional, Quito. Recuperado el 2 de 5 de 2023, de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/15640/1/CD-7074.pdf>
- Arce, G. C. (2005). Recuperado el 24 de 9 de 2022, de <http://www.arcesw.com/niveles.htm>
- Astudillo, T., & Joseline, L. (2021). *Análisis de materiales utilizados en la impresión 3D. Caso de estudio FabLab Universidad Católica de Cuenca*. Trabajo de grado, Universidad Católica de Cuenca, Cuenca. Recuperado el 25 de 04 de 2023, de <https://dspace.ucacue.edu.ec/bitstream/ucacue/10353/2/ASTUDILLO%20TORAL%20JOSELINE%20LISSETH.pdf>
- Benito, B. (2020). *Diseño y fabricación mediante impresión 3D de una prótesis de dedo con sensor de fuerza*. Trabajo de grado, Escuela de ingenierías industriales, Valladolid. Recuperado el 25 de 10 de 2022
- Blasnilo, R., Jimenez, F., Gutiérrez, G., & Villamizar, N. (05 de 12 de 2017). Impresión 3D como Herramienta Didáctica para la Enseñanza de algunos conceptos de ingeniería y diseño. *Revista ingeniería*, 23(1). Recuperado el 24 de 04 de 2023, de <http://www.scielo.org.co/pdf/inge/v23n1/0121-750X-inge-23-01-00070.pdf>
- Bowtell, M. (2020). *Kinetic Hand*. Free 3D Hand. Recuperado el 4 de 3 de 2022
- Cubillos, A., & Perea, C. (2020). *Boletines Poblacionales Personas con Discapacidad*. Boletín, Minsalud. Recuperado el 10 de 9 de 2022, de <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/PS/boletines-poblacionales-personas-discapacidadI-2020.pdf>
- Espinoza, M., & García, D. (2014). *AVANCES EN PRÓTESIS: UNA MIRADA AL PRESENTE Y AL FUTURO*. Artículo, Instituto Teletón de Santiago, Santiago. Recuperado el 24 de 04 de 2023, de <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0716864014700392?token=E28AF217864DE1>

	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

E2E436D1B6259D48E8251F098E43BFB16BE81D2F7E75B23B89434EE5EAEB693C7030FCES8833DE9BD1&originRegion=us-east-1&originCreation=20230424045836

Farfán, G., Lima, C., Cahuana, A., Quispe, M., & Farfán, G. (05 de 10 de 2021). Caracterización de filamentos para elaboración de prendas en impresoras 3D. *Revista de Investigación Científica de Ingenierías*, 3(4). Recuperado el 02 de 05 de 2023, de <https://unaj.edu.pe/revista/index.php/vpin/article/view/201/116>

Galli, K., & Pelozo, S. (2017). *Órtesis y Prótesis*. Auditoria medica. Recuperado el 19 de 04 de 2023, de <https://www.auditoriamedicahoy.com.ar/biblioteca/Karina%20Galli%20Sabrina%20Peloso%20Ortesis%20y%20pr%C3%B3tesis.pdf>

Globa Plast. (09 de 07 de 2020). *Globaplast.com*. Recuperado el 14 de 05 de 2023, de <https://globaplast.com.mx/caracteristicas-del-nylon/>

Leydy Gómez, R. (14 de 09 de 2017). ANÁLISIS DOCUMENTAL DE LOS INCONVENIENTES DE LA IMPRESIÓN 3D. *3C Tecnología*, 6(3). Recuperado el 24 de 04 de 2023, de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6143044>

Mejía, F. (2016). VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS IMPRESORAS 3D. *Revista Tecnológica*, 12(18). Recuperado el 24 de 04 de 2023, de http://www.revistasbolivianas.ciencia.bo/scielo.php?pid=S1729-75322016000100006&script=sci_arttext&tlng=es

Menghini, M. (2017). *Protesis de rodilla policentrica imprimible*. Jornadas de Investigación, Universidad Nacional de La Plata, La Plata. Recuperado el 02 de 05 de 2023, de <http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/59918/Resumen.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Morais, G. (23 de 12 de 2022). *cifraclub.com*. Recuperado el 14 de 05 de 2023, de <https://www.cifraclub.com/blog/como-elegir-el-tipo-de-cuerda/>

Puglisi, L., & Moreno, H. (s.f.). *Prótesis roboticas*. Artículo, Departamento de Automática; Ingeniería electrónica e Informática Industrial. Recuperado el 23 de 04 de 2023, de https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/31882711/Protesis_roboticas-libre.pdf?1391545651=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DResumen_En_este_articulo_se_hace_una_rev.pdf&Expires=1682313944&Signature=U9EWpZnfK2wLecFLFya0FbHqvphMDFRcYvOHB1brpf

Roa, S. (2017). *Caracterización de las propiedades mecánicas a tensión del ácido poliláctico PLA procesado por manufactura aditiva fff considerando la degradación por humedad y temperatura*. Trabajo de Grado, UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS, Bogotá. Recuperado el 02 de 05 de 2023, de

	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/9324/RoaJairo2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Stokasa, J. (1 de 2021). *MANUAL MSD*. (L. American Prosthetics Institute, Ed.) Recuperado el 23 de 8 de 2022, de <https://www.msdmanuals.com/es/professional/temas-especiales/miembro-prot%C3%A9sico/generalidades-sobre-las-pr%C3%B3tesis-de-los-miembros>

Stokosa, J. (01 de 2021). *Manual MSD*. Recuperado el 24 de 04 de 2023, de <https://www.msdmanuals.com/es/professional/temas-especiales/miembro-prot%C3%A9sico/preparaci%C3%B3n-para-una-pr%C3%B3tesis-en-un-miembro>

Velásquez, C. (03 de 2019). Procesos de Manufactura con tecnología 3D. *Revista de Investigación Multidisciplinaria*, 3(7). Recuperado el 25 de 04 de 2023, de https://www.researchgate.net/profile/Jose-Velasquez-Costa/publication/338817261_Procesos_de_Manufactura_con_tecnologia_3D/links/5e2bc2174585150ee780a0c2/Procesos-de-Manufactura-con-tecnologia-3D.pdf

Vicente, O. (2018). *LA IMPRESIÓN 3D COMO TECNOLOGÍA DE USO GERNERAL EN EL FUTURO*. Centro Universitario de la Defensa. Recuperado el 24 de 04 de 2023, de https://zagan.unizar.es/record/70820/files/texto_completo.pdf

	INFORME FINAL DE INGENIERÍA PARA LA GENTE	Código	FDE 028
		Versión	01
		Fecha	2015-10-05

FIRMA ESTUDIANTES Esleban H. Z.

Juan B.

FIRMA ASESOR Adrián F. Martínez

FECHA ENTREGA: 25_ Septiembre __2023

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____

RECHAZADO___ ACEPTADO___ ACEPTADO CON MODIFICACIONES_____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____