



Universidad  
Técnica de  
Cotopaxi

# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**

**CARRERA INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PRÓTESIS ERGONÓMICA DE  
PULGAR”**

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniero Industrial

Autor:

Cedillo Moncayo Ulices Rene

Tutor:

Ing. Mg. Salazar Cueva Edison Patricio

Latacunga – Ecuador

2017



## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

### UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS CARRERA INGENIERÍA INDUSTRIAL

#### PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Fecha: 03 de Febrero del 2017

Estimada

Ing. Msc. Dana Marín Vélez

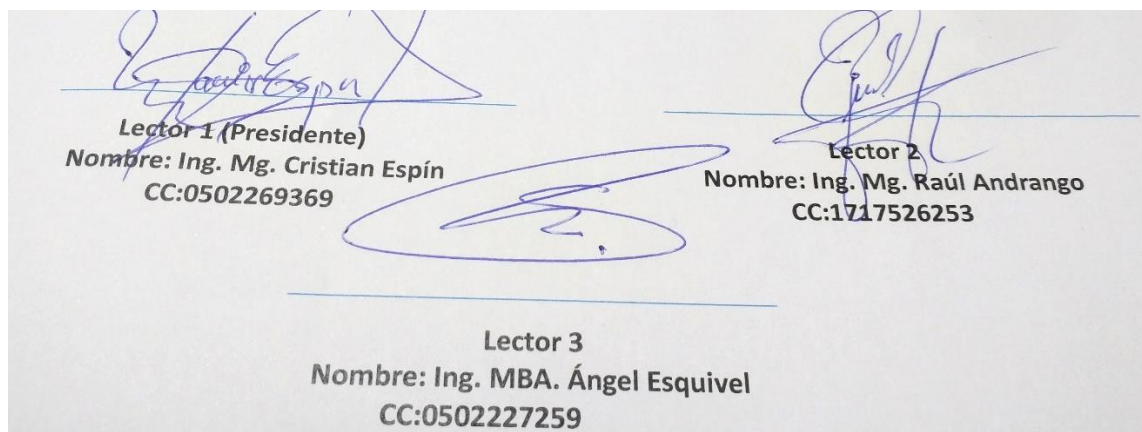
Decana de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas  
Presente.

De mi consideración.

Reciba un cordial saludo a la vez deseándole éxitos en sus funciones, cumpliendo con el Reglamento de Titulación de la Universidad Técnica de Cotopaxi, en calidad de Lectores del Tribunal del Proyecto de Investigación con el Título “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PRÓTESIS ERGONÓMICA DE PULGAR ”, propuesto por el estudiante CEDILLO MONCAYO ULICES RENE de la Carrera de Ingeniería Industrial, presentamos el Aval de aprobación del PROYECTO DE INVESTIGACIÓN, en virtud de lo cual el postulante puede presentarse a la Sustentación Final de su Proyecto de Investigación.

Particular que pongo en su conocimiento para los fines legales pertinentes.

Atentamente,



**Lector 1 (Presidente)**  
Nombre: Ing. Mg. Cristian Espín  
CC:0502269369

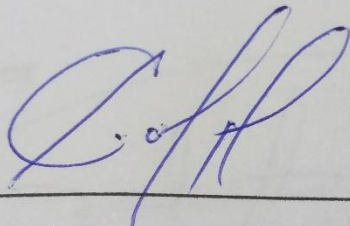
**Lector 2**  
Nombre: Ing. Mg. Raúl Andrango  
CC:1717526253

**Lector 3**  
Nombre: Ing. MBA. Ángel Esquivel  
CC:0502227259

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

“Yo **Ulices Rene Cedillo Moncayo** declaro ser autor del presente proyecto de investigación: **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PRÓTESIS ERGONÓMICA DE PULGAR**, siendo el **Ing. Mg. EDISON PATRICIO SALAZAR CUEVA** tutor del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.



---

Cedillo Moncayo Ulices René  
Número de C.I. 1718830779

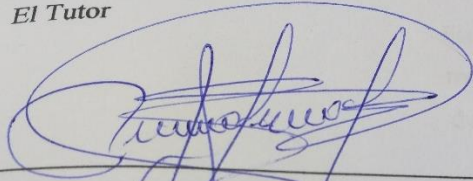
## AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

“**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PRÓTESIS ERGONÓMICA DE PULGAR**”,  
de **CEDILLO MONCAYO ULICES RENÉ**, de la carrera de Ingeniería Industrial, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la **Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas** de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, 19 Enero , 2016

El Tutor



---

Ing. Salazar Cueva Edison Patricio M.Sc.  
C.I 050184317-1

## **AGRADECIMIENTO**

Cada ser humano está en el momento oportuno sin que se solicite de su presencia, con el único fin de brindarnos su amistad y cooperación, en esta ocasión deseo.

Expresar mi gratitud a esas personas: **GRACIAS.**

**Padre y Madre** por su sabiduría y experiencia.

**Nati** mi vida por estar a mi lado ayudándome acompañando y aportando en todo lo que está en tus manos para obtener con éxito este proyecto.

Finalmente Gracias a todas aquellas otras personas que me han ofrecido su apoyo y sus ideas en el desarrollo de este proyecto.

**Ulices**

## **DEDICATORIA**

Este proyecto se lo dedico primeramente a Dios, ya que sin Él nada podemos hacer. Dios es quien nos concede el privilegio de la vida y nos ofrece lo necesario para lograr nuestras metas. Señor Jesús, Gracias de todo corazón por permitirme estar aquí, por las pruebas que me hacen crecer como persona y ser humano y me permiten dar lo mejor de mí.

Este proyecto se lo dedico a uno de los seres más importantes en mi vida, **Emilita** mi pequeña princesa, el motivo más grande para triunfar en la vida con el apoyo de **Nati**, mujer virtuosa que Dios puso en mi camino.

También le dedico este proyecto a mis padres, porque ellos siempre están aquí en las buenas y en las malas; me educan, me aconsejan, me imparten valores para conducirme correctamente y me ofrecen el sabio consejo en el momento oportuno.

A todas aquellas personas que me apoyan, que siempre están conmigo en las buenas y en las malas; y no solamente a los que me apoyan, sino también para todo aquel que se pueda beneficiar de este trabajo. Está hecho con toda mi dedicación, lo cual produce una gran satisfacción en poder servir a quien así lo requiera.

**Ulices**

## INDICE DE CONTENIDO

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN .....	ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA .....	iii
AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN .....	iv
AGRADECIMIENTO .....	v
DEDICATORIA .....	vi
RESUMEN.....	xii
SUMMARY .....	xiii
AVAL DE TRADUCCIÓN .....	xiv
PROYECTO DE TITULACIÓN II .....	1
INFORMACIÓN GENERAL .....	1
JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO .....	2
BENEFICIARIOS DEL PROYECTO.....	4
EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	4
OBJETIVOS.....	5
Objetivo General .....	5
Objetivos Específicos .....	5
ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS .....	6
FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA .....	7
Anomalías Congénitas más Comunes de la Mano .....	7
Hipoplasia del Pulgar.....	8
Tipos de Prótesis de Manos .....	9
Prótesis estéticas.....	9
Prótesis Mecánicas.....	10
Prótesis eléctricas.....	10

Prótesis Neumáticas .....	11
Prótesis Mioeléctricas .....	11
Prótesis Híbridas .....	12
Evolución Tecnológica .....	12
Prótesis Biónica I-Limb .....	13
Prótesis Michelangelo .....	13
Prótesis Bebionic .....	14
Prótesis CyberHand .....	15
Discerniendo la Información Analizada .....	16
Escaneo 3D .....	16
Escáner 3D de Contacto .....	16
Escáner 3d sin contacto .....	17
Escaneo de la Mano con 3D Sense .....	17
Modelado 3D.....	19
Diseños de Prótesis.....	19
Impresión 3D.....	21
Arduino Nano V3 .....	23
PLANTEAMIENTO DE HIPÓTESIS: .....	24
METODOLOGÍAS DE INVESTIGACIÓN .....	24
Tipo de Investigación. ....	24
Método de Diseño .....	25
Clasificación de los Objetivos y Actividades.....	25
Establecer la Funcionalidad.....	36
Determinar los Requerimientos .....	37
Determinar las Características .....	37
Generar las Alternativas .....	38
Evaluar las Alternativas .....	38



Mejorar los Detalles .....	39
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS .....	40
Resultados de las Actividades Planteadas para los Objetivos .....	40
Comprobación de la Hipótesis .....	42
IMPACTOS .....	42
Social .....	43
Técnico .....	43
Económicos.....	43
PRESUPUESTO PARA LA PROPUESTA DEL PROYECTO.....	44
Costos del Diseño de la Prótesis .....	44
Costos de Construcción.....	44
Costo de Total del Proyecto.....	45
Costo de la Prótesis .....	45
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	46
Conclusiones .....	46
Recomendaciones.....	47
BIBLIOGRAFÍA .....	47
Bibliografía Consultada .....	47
Bibliografía Citada.....	49
ANEXO.....	52

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Sistema de tareas en relación a los objetivos planteados.....	6
<b>Tabla 2</b> Alternativas de Construcción .....	38
<b>Tabla 3.</b> Evaluación de Alternativas .....	39
<b>Tabla 4</b> Resultado de las Actividades Planteadas .....	40
<b>Tabla 5.</b> Costos de Diseño .....	44
<b>Tabla 6.</b> Costos de Construcción .....	45
<b>Tabla 7.</b> Costo Total del Proyecto.....	45
<b>Tabla 8.</b> Costos de la Prótesis .....	45

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1 .</b> Tipos de Pulgar Hipoplásico.....	9
<b>Figura 2.</b> Prótesis Estética .....	9
<b>Figura 3.</b> Prótesis Mecánicas.....	10
<b>Figura 4.</b> Prótesis Eléctricas .....	11
<b>Figura 5.</b> Prótesis Neumáticas .....	11
<b>Figura 6.</b> Prótesis Mioeléctricas .....	12
<b>Figura 7.</b> Prótesis Híbridas .....	12
<b>Figura 8.</b> Prótesis Biónica I-Limb .....	13
<b>Figura 9.</b> Prótesis Biónica Michelangelo .....	14
<b>Figura 10.</b> Prótesis Bebionic .....	14
<b>Figura 11.</b> Pulgar en Oposición Bebionic .....	15
<b>Figura 12.</b> Prótesis CyberHand.....	15
<b>Figura 13</b> Escáner 3D de Contacto .....	16
<b>Figura 14</b> Escáner de Triangulación .....	17
<b>Figura 15</b> Prueba Scanner .....	18
<b>Figura 16</b> Diseño de Pulgar con sistema de Eslabones.....	19
<b>Figura 17</b> Sistema de Tensores.....	21
<b>Figura 18</b> Proceso de Impresión 3D .....	22
<b>Figura 19</b> Arduino Nano .....	23
<b>Figura 20</b> Escaneo Mano Izquierda .....	25
<b>Figura 21</b> Mano Derecha y eliminación de pulgar .....	25

<b>Figura 22</b> Mano Derecha Súper Puesta Pulgar .....	26
<b>Figura 23</b> Grados de Flexión de las Falanges del Pulgar .....	27
<b>Figura 24</b> Diseño de Falanges del Pulgar .....	28
<b>Figura 25</b> Programación en Arduino .....	29
<b>Figura 26.</b> Interface de Cura .....	30
<b>Figura 27</b> Impresión Metacarpio .....	31
<b>Figura 28</b> Impresión de Pulgar .....	32
<b>Figura 29</b> Impresión Falange .....	33
<b>Figura 30</b> Impresión de Mano en Escala Real .....	34
<b>Figura 31.</b> Prótesis para Pruebas Pulgar Extendido .....	35
<b>Figura.32</b> Prótesis para Pruebas Pulgar Extendido .....	35
<b>Figura.33</b> Prótesis de Pulgar Escala Real .....	36
<b>Figura 34</b> Representación caja Negra .....	36
<b>Figura 35.</b> Prótesis de Pulgar y sus Accesorios .....	41

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS.

**TITULO: "Diseño y Construcción de una Prótesis ergonómica de Pulgar"**

**Autor: Ulices Cedillo**

## RESUMEN

En el Ecuador existen personas de todas las edades que requieren de una prótesis, ya que sufrieron desmembraciones o flagelaciones, mientras que también existen personas con malformaciones congénitas en sus extremidades que afectan al desarrollo de sus actividades cotidianas, con una deficiente movilidad de las mismas y en casos más complejos con una inexistencia parcial o total de los miembros de sus extremidades.

Existen empresas que se dedican al desarrollo de prótesis de diversos tipos para suplir las necesidades de personas con malformaciones y desmembramientos, estas empresas tienen un enfoque en el cual las personas son simplemente clientes sin contemplaciones económicas acorde a sus estratos sociales.

Los innovadores humanistas con conocimientos científico tecnológicos nos vemos en la necesidad de crear elementos los cuales aporten a la comunidad generando así prótesis animatrónicas mismas que emplean componentes de bajo costo y son fáciles de construir para ayudar a personas que no pueden adquirir una prótesis fabricada por empresas de renombre internacional.

En las páginas subsiguientes se podrá abordar las fases que requiere el diseño y construcción de una Prótesis ergonómica de Pulgar enfocada a una infante con una malformación congénita conocida como hipoplasia de pulgar en una de sus manos, el diseño se efectúa mediante dispositivos digitales y software CAD CAM con el cual se obtienen modelos 3D digitales, para luego imprimir cada uno de los componentes que integran la prótesis en 3D, y esta es controlada electrónicamente por una placa Arduino Nano, para así alcanzar el objetivo de crear una prótesis construida mediante componentes, procesos y tecnología accesible en el Ecuador.

El diseño ergonómico es un aspecto muy importante en el presente proyecto puesto que debe ser fácil de adaptarse a la infante en cuanto a peso, comodidad y aspecto estético además de contemplar las medidas que se dan su crecimiento para que lleve una relación directa en proporciones y tamaño, gracias a la utilización de un scanner 3D, este proceso de actualizaciones de dimensiones se facilita y es versátil al re imprimir nuevas falanges a medida que se requieran.

Además se contempla la posibilidad de repetir el proceso para crear prótesis a personas de distintas edades con características únicas en sus manos y dar la apertura a más personas que deseen prótesis de estas características.

### **Palabras Clave**

Diseño, Prótesis, ergonómica de pulgar

# COTOPAXI TECHNICAL UNIVERSITY

FACULTY OF ENGINEERING SCIENCES AND APPLIED.

**TITLE: "Design and Construction of an Ergonomic Prosthesis of Thumb"**

**Author: Ulices Cedillo**

## SUMMARY

In Ecuador there are people from all ages who require prosthesis, either because they suffered dismemberment or flogging, while there are also people with congenital malformation in their extremities which affect the development on their daily activities, with poor mobility and in more complex cases with a partial or total non-existence of them

There are companies that are in charge to the development of different kinds of prosthesis to replace the needs of the people with malformations and flogging, this companies have an approach in which people are only their clients without economic considerations according their social status

Innovative humanists with technological-scientific knowledge are in need to create elements that contribute to the community, thus creating animatronic prosthetics that use low cost components and easy to construct in order to help people who are not able to acquire a prosthesis manufactured by companies of internationally know

In the next pages, it will be able to find the phases that require the design and construction of an Ergonomic Prosthesis of Thumb focused on a girl with a congenital malformation known as thumb hypoplasia in one of her hands, the design is carried out by using digital devices and CAD software CAM from which 3D digital models are obtained, and then print each one of the components that integrate the prosthesis in 3D, this is electronically controlled by an Arduino Nano plate, in order to achieve the goal of creating a prosthesis built by using components, processes and accessible technology in Ecuador.

The ergonomic design is a very important aspect in this project because it must be easy to adapt to the girl in terms of weight, comfort and aesthetic aspect besides taking in consideration the measures that give its growth so that it carries a direct connection in proportions and size, thanks to the use of a 3D scanner, this process of updates of dimensions is facilitated and also, it is versatile when reprinting new phalanges as they are required.

Besides, it contemplates the possibility of repeating the process to create prostheses for people from different ages with unique characteristics in their hands and give more people who require prostheses of these characteristics the opportunity to get them.

**Key words:** Design, Prosthetics, Thumb Ergonomics

# **AVAL DE TRADUCCIÓN**

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro Cultural de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal CERTIFICO que: La traducción del resumen de tesis al Idioma Inglés presentado por el señor Egresado de la Carrera de Ingeniería Industrial de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas: **CEDILLO MONCAYO ULICES RENÉ**, cuyo título versa “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PRÓTESIS ERGONÓMICA DE PULGAR**”, lo realizó bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo al peticionario hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimaren conveniente.

Latacunga, Enero del 2016

Atentamente,

Lic. José Ingancio Andrade  
**DOCENTE CENTRO CULTURAL DE IDIOMAS**

## PROYECTO DE TITULACIÓN II

### INFORMACIÓN GENERAL

**Título del Proyecto:**

Diseño y Construcción de una Prótesis Ergonómica de Pulgar

**Fecha de inicio:**

20/Mayo/2016

**Fecha de finalización:**

18/Enero/2016

**Lugar de ejecución:**

Quito -Ecuador

**Facultad que auspicia**

Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas ( CIYA)

**Carrera que auspicia:**

Ingeniería Industrial

**Equipo de Trabajo:****Datos Personales Tutor:**

**Nombres:** Edison Patricio

**Apellidos:** Salazar Cueva

**Fecha de nacimiento:** 5 de junio de 1977

**Teléfonos:** +593984179077

**E-mail:** edison.salazar@utc.edu.ec

**Estudios:**

- ✧ Universidad Técnica de Cotopaxi.
- ✧ Universidad Peruana de Ciencias Informáticas
- ✧ Universidad Tecnológica Indoamericana

**Títulos obtenidos:**

- ✧ Post grado Magister en Seguridad y Prevención de Riesgos del Trabajo
- ✧ Diplomado en administración de riesgos laborales

- ✧ Diplomado de especialista en seguridad y prevención de riesgos en la construcción
- ✧ Ingeniero Industrial

**Datos Personales Autor:**

**Nombres:** Ulices René  
**Apellidos:** Cedillo Moncayo  
**Fecha de nacimiento:** 8 de septiembre de 1987  
**C.C:** 171883077-9  
**Teléfono:** +593 984076604  
**Correo electrónico:** air.tec.ulices.cedillo@gmail.com

**Estudios:**

- ✧ Universidad Técnica de Cotopaxi
- ✧ Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico.
- ✧ Colegio Técnico Aeronáutico " Coronel Maya "

**Títulos obtenidos:**

- ✧ Tecnología en Mecánica Aeronáutica Mención Motores.
- ✧ Bachiller Técnico Industrial Especialización Motores de Aviación.

**Área de conocimiento:**

Diseño de Producto.

**Línea de investigación:**

Administración y Gestión de la Producción

**JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO**

En la actualidad la electrónica y la medicina están totalmente ligadas, es algo increíble ver en el día a día la facilidad con que se implementan prótesis biónicas gracias a la inserción de componentes electrónicos y mecanismos dentro de los seres humanos, todo esto nos asemeja a una película de ciencia ficción y nos lleva a pensar que esta realidad será inalcanzable para personas con un estrato económico medio o bajo, puesto que los componentes que estas



requieren así como también las horas de diseño necesaria para concebir una prótesis de esta naturaleza hacen que los precios sean excesivos para la comunidad promedio del Ecuador.

El presente proyecto busca romper el paradigma que plantea que es necesario un presupuesto elevado para el desarrollo de proyectos tecnológicos de índole social, demostrando que con una inversión inicial baja se pueden generar prótesis electrónicas.

Las consideraciones económicas son bastantes elevadas si se desearía adquirir una prótesis de pulgar que integre componentes electrónicos y sea construida fuera del Ecuador, un análisis breve indica que esta tendría un valor de alrededor 2500 dólares, sin la facilidad de que existan actualizaciones acorde al crecimiento de las manos de sus usuarios si fuese el caso de un infante o adolescente, mientras que el costo de la construcción de la prótesis ergonómica de pulgar, que integra un conjunto electrónico para su accionamiento, planteada en el presente proyecto es de 225 dólares, además que permite la actualización de componentes acorde al desarrollo de las falanges de sus usuarios con un costo muy accesible.

Una prótesis de pulgar funcional aporta razonablemente a una persona que sufrió un desmembramiento o malformación congénita, en vista de que el dedo pulgar está posicionado de manera opuesta a los demás dedos de la mano y en conjunto generan la pinza de sujeción tornándose algo complejo realizar una tarea cotidiana sin tener nuestras manos avilés.

Este proyecto tiene un desarrollo de aplicaciones prácticas del área de diseño de productos en este caso ergonómicos con una índole social para el diseño y construcción de una prótesis que subsane la carencia del pulgar de infantes comprendidos entre los 4 y 6 años de edad aporte en el desarrollo cotidiano de sus actividades sin afectar a su motricidad, contemplando el aspecto estético y las implicaciones sociales que este podría conllevar.

Es necesario considerar que cada prótesis es única y se ajusta específicamente a su usuario, en función de la malformación congénita que presenta o a su vez si sufrió de un desmembramiento en base a esto se plantea que una de las formas más rápidas para personalizar las prótesis es sencillo través del uso de un escáner 3D y la impresión de la misma con impresión 3D.

Por lo mencionado, se justifica el investigar las alternativas de construcción de una prótesis ergonómica de pulgar que permita la sujeción y manipulación de objetos, con técnicas modernas escaneo e impresión 3D con un bajo costo.

## **BENEFICIARIOS DEL PROYECTO**

El presente proyecto tiene beneficiario directo una infante de 5 años de edad la cual tiene una malformación congénita cuyo nombre científico es hipoplasia de pulgar, también están consideradas las personas que integran su entorno familiar el cual está constituido por alrededor de 10 integrantes.

Además pueden ser considerados como beneficiarios indirectos, personas que desee acceder a una prótesis de pulgar o una prótesis de los miembros de sus extremidades superiores; contemplando que residan o tengan acceso a la Zona 3, que es entorno en el cual se desarrolla la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Este proyecto de investigación aporta de forma indirectamente los estudiantes de la Universidad Técnica de Cotopaxi y todas las personas que deseen acceder a la información contenida en la misma, para el desarrollar proyectos similares o mejorar las prestaciones que tiene esta prótesis.

## **EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

En los recientes años se han realizado diversos estudios en cuanto al diseño, construcción y control de manos robóticas con movilidad de cada una de sus falanges a través de sistemas de control digital sumamente complejos puesto que el accionamiento de cada falange conlleva un sistema capaz de generar exponenciales de la presión que produce mediante sensores de compresión digitales con tamaños adecuados para localizarse en los extremos de cada dedo.

El desarrollo de estas manos aplicadas a seres humanos involucra sistemas capaces de receptor los micro impulsos de corriente que un musculo genera y es tan complejo como costoso que por esto se ha convertido en una tarea complicada debido a que encierra muchas sub áreas de investigación como electrónica, mecanismos, automatización y control pero por sobre todo la mecánica del ser humano desde el punto de vista médico.

Centros de investigación y desarrollo tan grandes como la NASA o empresas neumáticas como FESTO y empresas comercializadoras de prótesis como BEBIONIC han generado diseños tan

sofisticados que requieren de alrededor de 337 partes mecánicas para su funcionamiento y además de 14 perfiles distintos de programación para poder lograr una fijación de un objeto como un alfiler hasta una bolsa con 47 kg.

Presentándose así las primeras inquietudes de cuan complejo es el desarrollo de una prótesis para un infante de 4 a 6 años por su tamaño y por el concepto estético ergonómico que debe de ser cuidado para tener funcionalidad sin descuidar el aspecto, evitando el rechazo psicológico tanto de la usuaria como de las personas que la rodean.

Se contempla cuan complejo podría ser el uso de sensores y la facilidad de adquirirlos en Ecuador así como también de los actuadores que generaran el movimiento pulgar de un infante de 4 a 6 años.

La inquietud que mayor grado de atención requeriré es como construir y diseñar una prótesis de pulgar que ayude a infantes de entre 4 a 6 años de edad en la sujeción de objetos para que puedan generar la pinza de fijación, sin afectar a la estética de su mano o agregar componentes con peso innecesario.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

Construir una prótesis ergonómica de pulgar, mediante escaneo, diseño CAD CAM e impresión 3D que permita la sujeción de objetos.

### **Objetivos Específicos**

- ✧ Determinar las dimensiones que requiere la prótesis mediante escaneo y modelado 3D con el fin alcanzar una prótesis de medidas proporcionales a la mano de la infante.
- ✧ Diseñar la prótesis mediante software CAD CAM y software de programación electrónica, para que esta pueda tener movimiento.
- ✧ Construir la prótesis mediante impresión 3D, con la versatilidad de redimensionarse acorde al crecimiento de la infante.

## ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

La tabla que se presenta a continuación describe la correlación directa entre cada uno de los objetivos, las actividades que los mismos involucran, los resultados de estas actividades y sus respectivos medios de verificación con el fin de obtener una secuencia lógica en el desarrollo del presente proyecto de investigación.

**Tabla 1.** Sistema de tareas en relación a los objetivos planteados.

Objetivos	Actividad (tareas)	Resultado de la Actividad	Medios de Verificación
Determinar las dimensiones que requiere la prótesis mediante escaneo y modelado 3D con el fin alcanzar una prótesis de medidas proporcionales a la mano de la infante.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✘ Escaneo de la Manos</li> <li>✘ Digitalización y obtenciones mano derecha completa</li> <li>✘ Generación de planos con dimensiones del pulgar derecho</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✘ Modelo 3D de la mano derecha de la usuaria</li> <li>✘ Planos del dedo pulgar con dimensiones reales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✘ Archivos digitales de escaneo de la mano</li> <li>✘ Anexo 3 Planos de dimensiones de manos escaneadas</li> </ul>
Diseñar la prótesis mediante software CAD CAM y software de programación electrónica, para que esta pueda tener movimiento.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✘ Diseño de las falanges de la prótesis y sus articulaciones</li> <li>✘ Generación de programa para obtención de señales y control de servo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✘ Modelo digital del a prótesis</li> <li>✘ Placa Arduino, controlando y receptando señales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✘ Archivos digitales listos para impresión 3D</li> <li>✘ Conjunto Electrónico Funcional</li> </ul>
Construir la prótesis mediante impresión 3D, con la versatilidad de redimensionarse acorde al crecimiento de la infante.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✘ Impresión de componentes para la prótesis</li> <li>✘ Ensamble de la prótesis</li> <li>✘ Verificación de funcionamiento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✘ Componentes impresos a escala real</li> <li>✘ Accionamiento electrónico de la prótesis</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✘ Prótesis física funcionando correctamente</li> </ul>

Fuente: (Cedillo, 2016).

## **FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA**

En cuanto a la fundamentación científico técnica relacionada al presente proyecto de investigación, es necesario la adquisición de conocimientos previos relacionados con las malformaciones de congénitas de pulgar y sus diversos tipos así como también analizar los diversos tipos de prótesis y su evolución, además de lo referente los procesos de Escaneo 3D, diseño asistido por computador e impresión 3D

### **Anomalías Congénitas más Comunes de la Mano**

El análisis desarrollado por he interpretado al Idioma español nos dice:

Las alteraciones congénitas afectan aproximadamente entre el 1 y 2% de todos los recién nacidos vivos y las alteraciones en las extremidades superiores se observan en aproximadamente el 10% de estos pacientes. Se estima que la incidencia actual de malformaciones o alteraciones congénitas en la mano es de 2.3 casos por cada 1,000 nacidos vivos. (Lamb, 1998, pág. 79)

Para fraseando los contenidos de autores con conocimiento ávidos en el tema tenemos que

La etiopatogenia de las alteraciones congénitas de la mano es muy variada. Pueden ocurrir de manera esporádica, o ser el resultado de una alteración genética heredable. Existen otras causas menos comunes como lo son factores ambientales, la dieta e infecciones, entre otras. La mano se desarrolla entre la cuarta y la octava semanas de gestación embrionaria, y la mayoría de las anomalías ya se ha generado antes del momento del diagnóstico del embarazo. (Chong , 2010, pág. 96)

Tomando las para labras de Purandare mismas que indican lo siguiente:

Algunas alteraciones congénitas de la mano pueden ser severas y afectan importantemente la función. Así mismo, producen un impacto psicológico significativo tanto en los padres como en el paciente pediátrico; por lo que el tratamiento debe ser multidisciplinario, enfocándose primordialmente a la función y la estética. (Purandare & Plunkett, 1999, pág. 174)

### **Hipoplasia del Pulgar.**

Tomando el siguiente concepto:

Esta patología se refiere a un pulgar generalmente más pequeño o poco desarrollado. Puede ocurrir de manera aislada o ser parte de algún síndrome con afección o deficiencia radial de la extremidad superior; tal es caso del síndrome Holt-Oram, el síndrome de Vater y la anemia de Fanconi. Después del pulgar duplicado, la hipoplasia del pulgar es la segunda anomalía más frecuente del primer rayo de la mano. Generalmente de predominio bilateral hasta en un 60% de los casos, proporcionado por (Oda & Pushman, 2010, pág. 128). Tay en conjunto con Moran no indican que: “En ocasiones, un pulgar hipoplásico puede presentar una importante limitación de los rangos de movimiento a nivel de la articulación interfalángica, relacionado generalmente a alteraciones anatómicas a nivel del tendón flexor pollicis longus y el tendón del extensor pollicis longus.” (Tay & Moran , 2006, pág. 358)

De la interpretación de Takamaya y Nakao se da:

La clasificación de Blauth que divide al pulgar hipoplásico en cinco grados, encontrándolos de la siguiente manera:

Grado I) Representa una hipoplasia menor y no requiere tratamiento.

Grado II) El pulgar es pequeño y se caracteriza por un estrechamiento del primer espacio, así como inestabilidad de la articulación metacarpofalángica e hipoplasia de la musculatura tenar, no requiere de tratamiento quirúrgico.

Grado III) Anormalidades del tendón extrínseco en conjunto con las características del grado II. Este grupo se subdivide en 2 categorías de acuerdo a Manske y cols.

Grado IIIA) Estabilidad de la articulación carpo-metacarpal

Grado IIIB) Inestabilidad de la articulación carpo-metacarpal en asociación con hipoplasia proximal del primer metacarpiano. Generalmente requiere tratamiento quirúrgico consistente en transferencia del tendón aductor digiti minimi y en casos severos se requiere realizar una oponensioplastia.

Grado IV) «Pulgar flotante», caracterizado por un pulgar corto, inestable, que contiene una falange proximal y distal hipoplásica así como una aplasia total o subtotal del primer metacarpiano. A pesar de que se encuentra sujeto mediante un pedículo cutáneo, típicamente carece de musculatura intrínseca y extrínseca. Requiere tratamiento quirúrgico consistente en vulgalización.

Grado V) Representa una ausencia completa del pulgar. Es la forma más común de hipoplasia del pulgar, abarcando el 30% de todos los casos, Requiere tratamiento quirúrgico consistente en pulgarización, mismas que fueron tomadas de (Takayama & Nakao, 2002, págs. 154-159)

**Figura 1 .** Tipos de Pulgar Hipoplásico



**Fuente:** (Vidal Ruiz, Pérez, Salazar, Calzada Vázquez, & Castañeda Leeder, 2012)

### **Tipos de Prótesis de Manos**

Tomando las palabras de Montes y Dorador para la selección de la mejor alternativa de prótesis tenemos:

En la elección de la prótesis a utilizar existen varios factores que influyen directamente como el nivel de amputación, el tipo de displasia de la que se trate, la funcionalidad de la misma y finalmente el factor económico que es indispensable en el momento de adquirir la prótesis. Existen varios tipos de prótesis de mano que se han desarrollado utilizando diferente tecnología y conocimiento. (Díaz Montes & Dorador Gonzales, 2009, pág. 339)

### **Prótesis estéticas**

Richard F, nos dice lo siguiente:

Las prótesis estéticas, conocidas como prótesis pasivas, no tienen movimiento y solo cubren el aspecto estético del miembro amputado, en la fabricación de las mismas se emplean polímeros como PVC rígido, látex flexible o silicona, estos materiales son empleados por ser más livianos y requieren de menos mantenimiento, ya que no disponen de piezas móviles (Weir, 2004, pág. 32), como se observa en la Figura 2.

**Figura 2.** Prótesis Estética



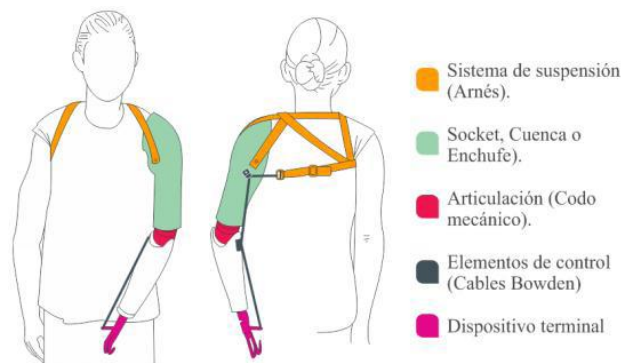
Fuente: (Brito, Quinde, Cusco , & Calle , 2013)

### Prótesis Mecánicas

Acorde al Criterio de Loiza y Arzola :

Las prótesis mecánicas cumplen funciones básicas como la apertura y cerrado de la mano, limitadas al agarre de objetos grandes y movimientos imprecisos, la señal mecánica es obtenida por medio de otro miembro del cuerpo como el codo o hombro, como se muestra en la Figura 3, para ello se implementa un arnés colocado en la espalda el cual generará la movilidad de la prótesis a través de un resorte. (Loiza & Arzola, 2011, pág. 197)

**Figura 3.** Prótesis Mecánicas.



Fuente: (Brito, Quinde, Cusco , & Calle , 2013)

### Prótesis eléctricas

Yang, Peña, Abdel- Malek, Amos, Lindkvist nos dicen:



Las prótesis eléctricas se basan en el uso de motores eléctricos, que pueden ser controlados por medio de servo-controles, pulsantes o interruptores, su principal desventaja es su reparación, su alto costo y su exposición a ambientes hostiles así como también su peso. En la Figura 4 se puede observar una prótesis eléctrica de la compañía Otto Bock que tiene como principal ventaja el agarre de objetos rápidamente y con precisión de forma activa gracias a los sensores en los dedos. (Yang , Pena Pitarch, Abdel-Malek, Patrick, & Lindkvist, 2004, pág. 571)

**Figura 4.** Prótesis Eléctricas



**Fuente:** (Brito, Quinde, Cusco , & Calle , 2013)

### **Prótesis Neumáticas**

Considerando los conceptos de Bundho:

Las prótesis neumáticas hacen uso de aire a presión obtenido por medio de un compresor, su ventaja principal es proporcionar una gran fuerza y rapidez de movimientos; sus desventajas principales son los dispositivos que se implementan para su control y funcionamiento ya que son relativamente grandes y su mantenimiento es costoso y difícil ( Bundhoo, 2009, pág. 22) . En la Figura 5, tenemos la prótesis neumática Shadow.

**Figura 5.** Prótesis Neumáticas



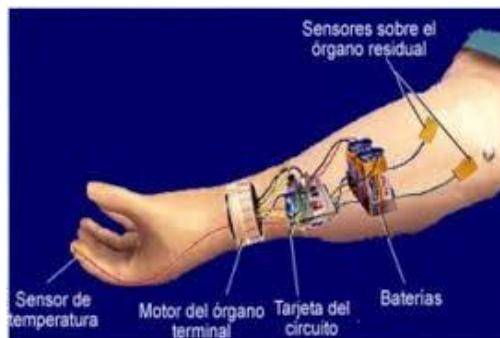
**Fuente:** (Brito, Quinde, Cusco , & Calle , 2013)

### **Prótesis Mioeléctricas**

Considerando lo concebido por Okuno, Yoshida y Akazawa se puede decir que :

Las prótesis Mioeléctricas son en la actualidad una de las de mayor aplicación en el mundo, ya que brindan un mayor grado de estética y un elevado porcentaje de precisión y fuerza, basándose en la obtención de señales musculares las mismas que son obtenidas mediante el uso de electrodos que permiten la extracción de la señal que es amplificada, procesada y filtrada al control para el manejo de la prótesis. (Okuno, Yoshida, & Akazawa, 2005, pág. 52)

**Figura 6.** Prótesis Mioeléctricas



**Fuente:** (Brito, Quinde, Cusco , & Calle , 2013)

### **Prótesis Híbridas**

Una determinación clara y concisa es la de Quinayás:

Las prótesis híbridas son utilizadas por personas que tienen amputaciones desde arriba del codo, ya que combina la acción del cuerpo con el accionamiento por electricidad. Es muy frecuente en las prótesis híbridas que utilicen un codo accionado mediante el cuerpo y un dispositivo al final controlado en forma Mioeléctricas, que puede llegar a ser un gancho o una mano. (Quinayás, 2010, pág. 29)

**Figura 7.** Prótesis Híbridas



**Fuente:** (Quinayás, 2010)

### **Evolución Tecnológica**

Una consideración de la evolución de las prótesis en los últimos años puede ser toma de las palabras de Ramírez, Flores, García, Gonzales que dicen textualmente:

En estos últimos años, el desarrollo tecnológico ha crecido enormemente y el gran responsable de este avance es el hombre que en su afán de buscar soluciones a los problemas que se presentan en la sociedad, ha logrado dar grandes pasos con el fin de facilitar las condiciones de vida.

En lo que se refiere a la evolución tecnológica de prótesis de mano usando tecnología actual se ha logrado grandes avances permitiendo la fabricación de prototipos que emulan en gran porcentaje los movimientos que la mano humana realiza, entre las prótesis más destacadas mencionamos. (Ramirez , Flores, Garcia, & Dorador , 2001, pág. 392)

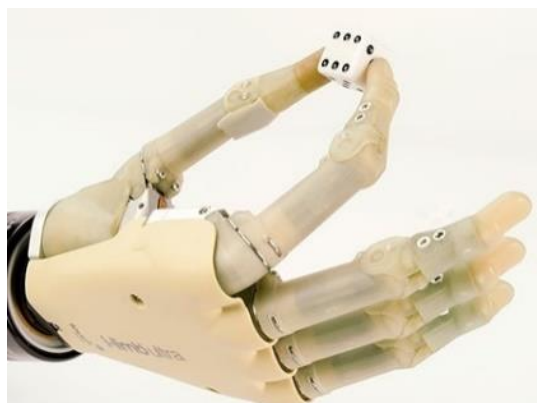
### **Prótesis Biónica I-Limb**

En cuanto a la Prótesis I-Limb Quinayás expresa:

La prótesis biónica I-Limb es una de las más utilizadas en la actualidad e implementada en varios países, ya que cumple con la mayoría de los movimientos básicos de la mano que un ser humano común y corriente realiza, facilitando al paciente el retorno a la vida laboral y mejorando sus condiciones de vida.

La mano biónica I-Limb, cuyos dedos son controlados independientemente, permite realizar una gran cantidad de movimientos dado que el pulgar puede rotar hasta 90°, hacer pinza y realizar agarres de precisión y de potencia de diferentes formas (Quinayás, 2010) , en la Figura 8 se presenta la I-Limb y el dedo con sus partes.

**Figura 8.** Prótesis Biónica I-Limb



**Fuente:** (Brito, Quinde, Cusco , & Calle , 2013)

### **Prótesis Michelangelo**

En el proyecto de graduación de Pérez el conceptualiza lo siguiente:

La prótesis biónica de Michelangelo, se caracteriza por realizar una gran variedad de movimientos precisos, gracias al control y mecanismos de fuerzas y velocidades de

agarre, ya que los dedos son controlados independientemente y el pulgar y la muñeca disponen de movilidad.

Internamente está constituida por acero y duraluminio de alta resistencia, externamente recubierta por elastómero de silicona; principalmente esta prótesis se caracteriza por sus seis grados de libertad y la resistencia al agua (Pérez Romero, 2011, pág. 33). En la Figura 9 se muestra la prótesis Michelangelo.

**Figura 9.** Prótesis Biónica Michelangelo



**Fuente:** (Brito, Quinde, Cusco , & Calle , 2013)

### **Prótesis Bebionic**

Contemplando lo mencionado Guay refiriéndose a la prótesis Bebionic nos dice: “La prótesis Bebionic con gran parentesco en sus componentes mecánicos a la I-Limb, construida por Steeper RS tiene la finalidad de emular la funcionalidad de la I-Limb pero a un costo más reducido aproximadamente \$10 000 dólares” (Guay, 2012, pág. 44) . En la Figura 10, tenemos la prótesis Bebionic.

**Figura 10.** Prótesis Bebionic



**Fuente:** (Brito, Quinde, Cusco , & Calle , 2013)

La última versión Bebionic 3, tiene movimientos articulados en las falanges en todos los dedos; con el pulgar en oposición que se coloca manualmente en dos posiciones como se muestra en la Figura 11.

**Figura 11.** Pulgar en Oposición Bebionic



**Fuente:** (Brito, Quinde, Cusco , & Calle , 2013)

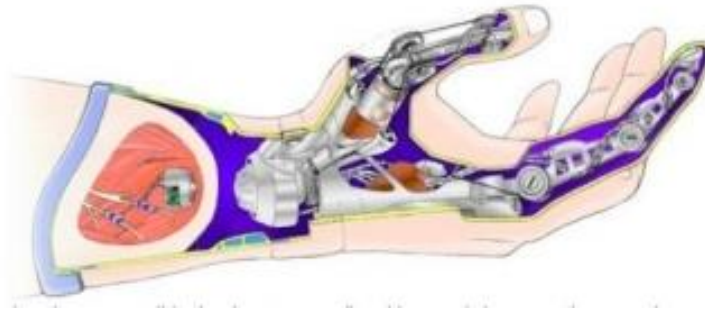
Permitiéndole obtener catorce posiciones diferentes con los que se consigue agarres precisos. La prótesis Bebionic es controlada por la contracción de los músculos del paciente afectado, tiene cinco actuadores lineales independientes que incorporan cinco velocidades con motores de fuerza y diseñado para un bajo consumo de energía.

### **Prótesis CyberHand**

Con relación a prótesis que integran al ser humano y ala electrónica tenemos la concepción de Dario, Chiara, Guglielmelli, Laschi, Menciassi, Micera, Vecchi los cuales resumen lo siguiente:

La prótesis biónica de CyberHand es una con tecnología moderna y costosa, ya que se conecta los electrodos de la prótesis a las terminaciones nerviosas de la mano de la persona amputada mediante una cirugía, permitiéndole recoger la información del cerebro mediante sensores, es por ello que al paciente con amputación puede sentir la presión y la temperatura a la que está sometida la prótesis (Dario, et al., 2005, p. 29), en la Figura 12 se muestra la prótesis CyberHand.

**Figura 12.** Prótesis CyberHand



Fuente: (Brito, Quinde, Cusco , & Calle , 2013)

### **Discerniendo la Información Analizada**

Al analizar la información contextualizada de los autores citados se puede determinar que el desarrollo del proyecto lleva a una prótesis de tipo híbrida con un accionamiento y proceso de construcción similar a la prótesis Bebionics, pero con la limitante no integrar sensores de presión para poder alcanzar la ergonomía de la prótesis y también la consideración de que cada componente electrónico que se incluye requerirá un estudio de su funcionamiento y modo de utilización pormenorizado para alcanzar todas las prestaciones que estos puedan proporcionar desviando los objetivos no contemplados en el proyecto; también se debe de contemplar que proyecto de investigación busca una solución viable para ayudar a la sujeción de objetos de los infantes de 4 a 6 años de edad que presentan Hipoplasia de pulgar y para ello en los literales siguientes se contempla la información necesaria para alcanzar esto mediante técnicas de construcción modernas y de bajo costo .

### **Escaneo 3D**

Un escáner 3D es un conjunto de dispositivos electrónicos capaces de recoger muestras de la geometría de un objeto para poder generar un modelo tridimensional del mismo.

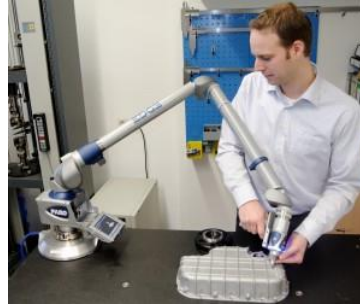
Su principio de funcionamiento se basa en obtener la posición en el espacio tridimensional de cada punto analizado a través de un interferómetro láser y una cámara de alta resolución.

A partir de este planteamiento, encontramos diferentes enfoques y tecnologías que buscan la obtención de archivos digitales de objetos. En general podemos dividir los escáneres 3d en:

#### **Escáner 3D de Contacto.**

Existe un elemento llamado palpador (punta de acero duro o zafiro) que se apoya y desplaza sobre el objeto a medir. La ventaja de este sistema es la alta precisión. Los inconvenientes son la lentitud del escaneo y la imposibilidad de trabajar con objetos frágiles como lo muestra la Figura 13.

**Figura 13** Escáner 3D de Contacto



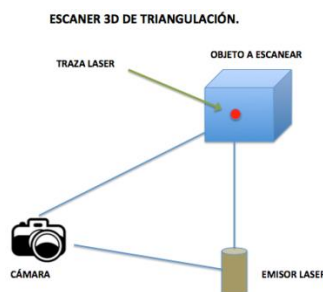
Fuente: (Cedillo, 2016)

### Escáner 3d sin contacto.

En este grupo encontramos multitud de técnicas, la mayoría basadas en la medición de luz u otro tipo de señales. Las técnicas activas suelen ser más precisas que las pasivas. Dentro de las primeras encontramos también algunas más indicadas para las mediciones de larga distancia (edificios y grandes objetos) como pueden ser los escáneres de Tiempo de vuelo (Time of Flight) y otras mucho más apropiadas para el escaneo en distancia corta, como la Triangulación. Particularmente me ha interesado más la aplicación de los escáneres 3D en el hogar, y por ello me centrare en la técnica de Triangulación que es la más utilizada en este tipo de escáneres.

Los escáneres de Triangulación emiten luz láser para determinar la forma y posición de un objeto, ayudándose de una cámara para localizar la traza laser proyectada sobre el objeto. El emisor laser, la cámara y la traza proyectada sobre el objeto forman un triángulo, de ahí el nombre de la técnica. A partir de ese triángulo y aplicando técnicas de geometría podemos obtener la posición de cada punto del objeto. Conocemos la distancia entre la cámara y el emisor láser (uno de los lados) y también el ángulo del emisor láser. El ángulo del vértice de la cámara (paralaje) puede ser determinado mirando la ubicación del punto del láser en la cámara. Con estos elementos tenemos ya lo necesario para ubicar el objeto. Como lo muestra la figura 14.

Figura 14 Escáner de Triangulación



Fuente: (Cedillo, 2016)

### Escaneo de la Mano con 3D Sense

El proceso de escaneo de la mano se lo efectúa gracias a un scanner 3D sense de procedencia norteamericana mismo que tienes las siguientes características:

**Sistemas operativos compatibles:** Windows 8 o posterior

**Volumen Para Escaneo:** Min: 0.2m x 0.2m x 0.2m

Máximo: 2m x 2m x 2m

Esto hace referencia al tamaño de los objetos los cuales puede capturar el scanner y esto es una de las razones por las cuales se lo escogió.

**Rango de operación:** Min: 0.2m

Máximo: 1.6m

**Tamaño de la imagen Profundidad:** 640 (ancho) x 480 (alto) pixeles

**Tamaño de la imagen en color (resolución del color) :**1920 (ancho)

1080 (alto) pixeles

**Campo de visión:** Horizontal: 45 °

Vertical: 57.5 °

**Rendimiento máxima de la imagen:** 30 fps (cuadros por segundo o fotografías por segundo capturadas por la cámara)

#### **Recomendaciones de hardware**

- ⌘ Procesador mínimo Intel® Core™ i5 5<sup>a</sup> Gen o un procesador equivalente
- ⌘ RAM: 2 GB como mínimo
- ⌘ Resolución de pantalla mínima :1280 x 1024
- ⌘ 4 GB de espacio disponible en disco duro

El escaneo de la mano requiere de la coordinación y precisión en su ejecución para alcanzar buenos resultados ya que el tamaño de la misma y la cantidad de detalles q esta integra dificulta el procedimiento es por esto que se efectuó varias veces el proceso, en la figura 15 se presenta una prueba del proceso de escaneo de una mano.

**Figura 15** Prueba Scanner





**Fuente:** (Cedillo, 2016)

### **Modelado 3D**

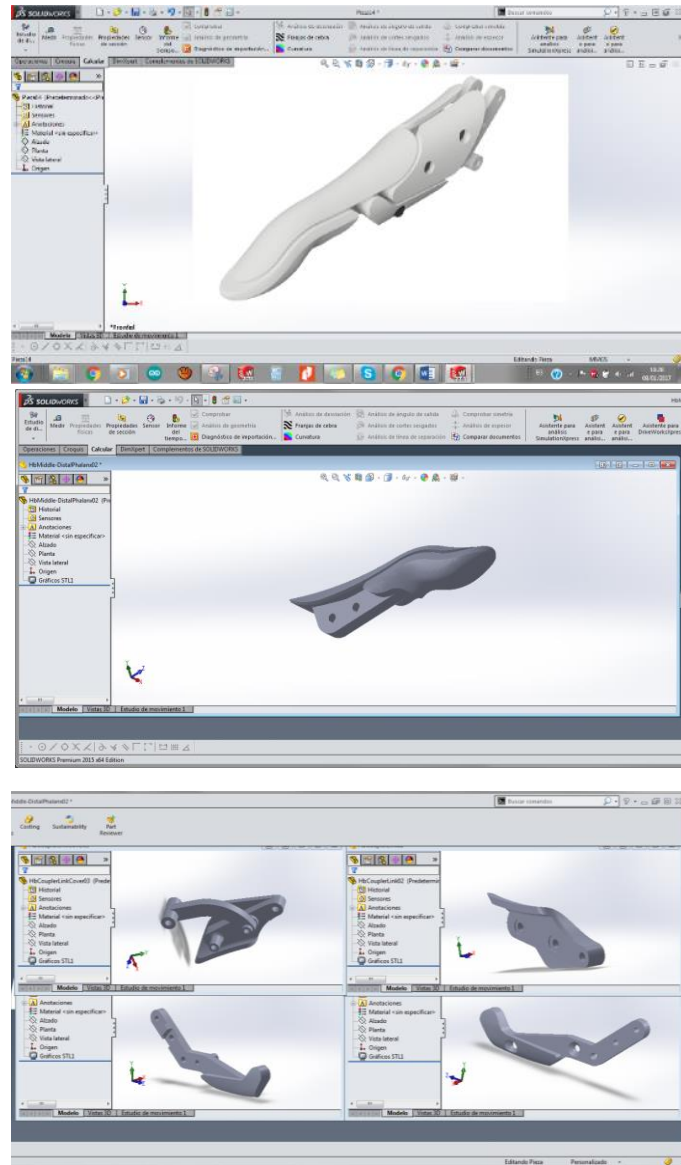
El proceso de modelado 3D de las partes que integran la prótesis se lo efectúa a través de Solid Works es un programa de diseño asistido por computadora para modelado mecánico. El programa permite modelar piezas y el conjunto de la prótesis para extraer de ellos tanto planos como otro tipo de información necesaria para la producción. Es un programa que funciona con base en las nuevas técnicas de modelado con sistemas CAD. El proceso consiste en trasladar la idea mental del diseñador al sistema CAD, construyendo virtualmente prótesis.

Para esto fue necesario contemplar los movimientos que debe de ejecutar el pulgar y sus grados de acción con el fin de obtener una prótesis que asemeje el movimiento de retracción del dedo pulgar.

### **Diseños de Prótesis**

El diseño de la prótesis contempla el aspecto del escaneo 3D de la mano de la infante que será la beneficiaria y contempla el análisis del movimiento del dedo pulgar de tal forma que permita sujetar objetos sin ningún inconveniente, para ello se planteó dos tipos de conjuntos mecánicos que requirieron de análisis de componentes y prestaciones los cuales se muestran a continuación como, el modelo de eslabones mismo que integra gran cantidad de piezas, como se muestra en la figura 16.

**Figura 16** Diseño de Pulgar con sistema de Eslabones

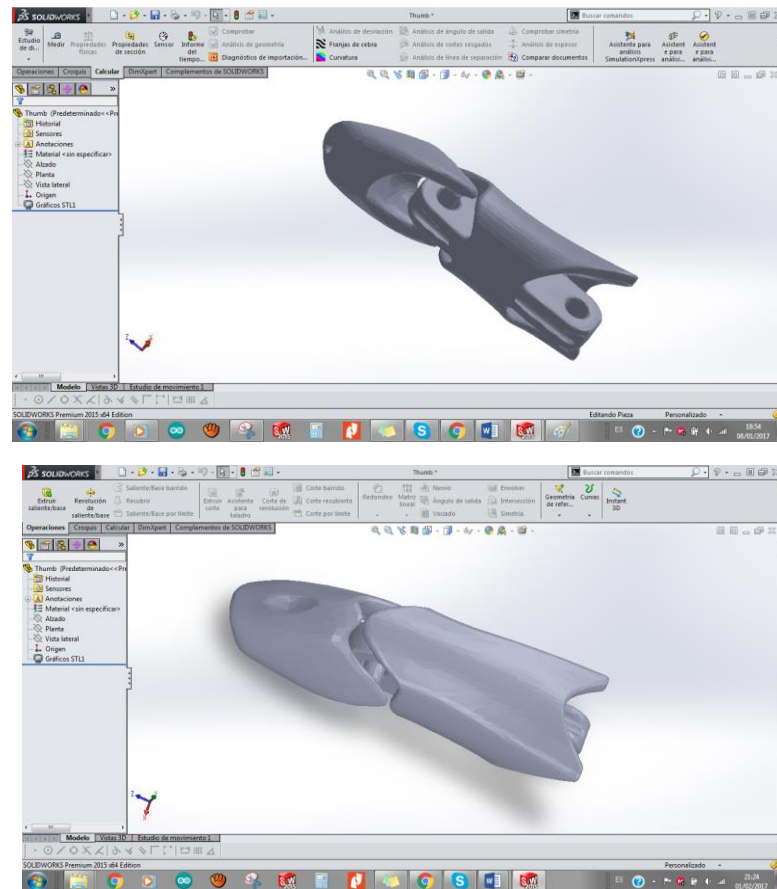


Las figuras presentadas en la parte superior muestran los componentes y el conjunto de accionamientos que se requiere para la integración de movimiento de la falange y el metacarpo median el mecanismo de eslabones

**Fuente:** (Cedillo, 2016)

Y el modelo accionamiento mediante tensores que consiste en emplear una sección de hilo nylon mismo que emula el accionamiento de un tendón en una mano humana y una sección de hilo elástico que proporciona la extensión de la falange y el pulgar a posición de origen para de esta forma generar la extensión y retracción del pulgar con el fin de sujetar objetos de diversos tamaños el conjunto de componentes se presenta en la figura 17.

**Figura 17** Sistema de Tensores



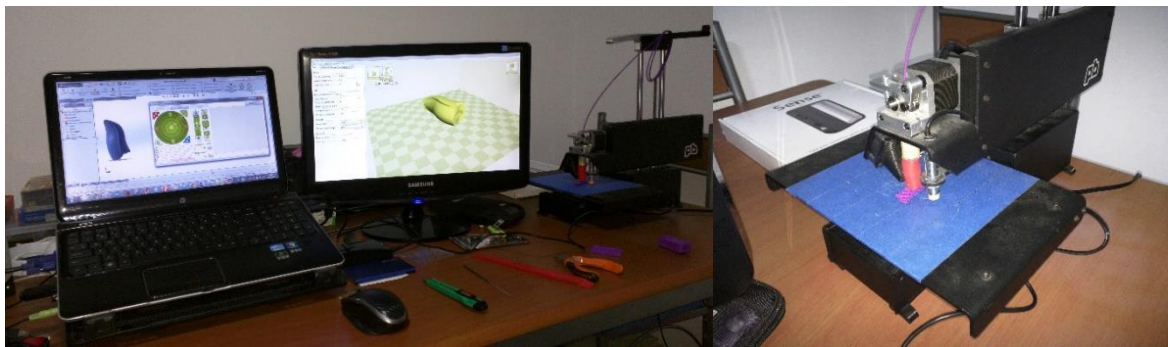
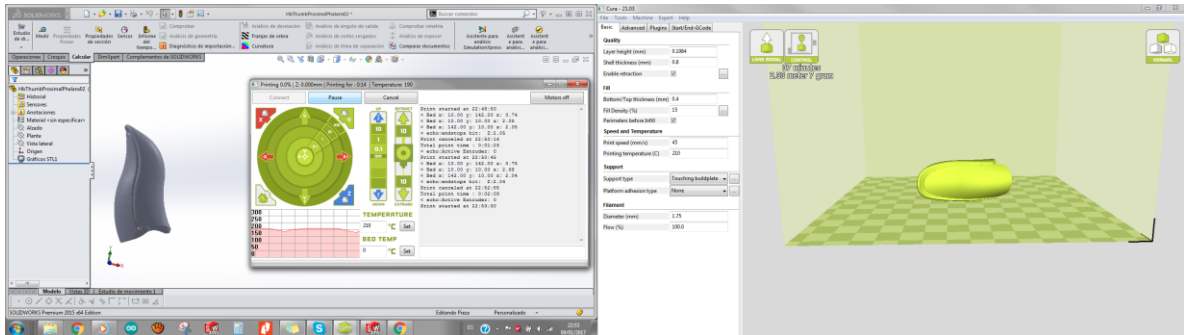
Modelado breve de componentes, pulgar y falange para pruebas de extensión y retracción del dedo de forma practica

**Fuente:** (Cedillo, 2016)

### **Impresión 3D**

El proceso de impresión 3D se lo genero a través de la extrusión de plástico PLA mediante una impresora 3D PrintrBot Simple este proceso consiste en cargar el diseño al software Cura este trasladara la imagen a un conjunto de coordenadas de X, Y, Z que a su vez será un lenguaje de programación llamado códigos G que se traducirán a la localización exacta donde se debe posicionar el plástico PLA en diversas capas superpuestas unas de otras con un espesor aproximado de 0.2 de mm desplazando varias veces sus ejes X, Y, Z hasta obtener el objeto solido modelado, en la figura 18 se presentan componentes impresos para las pruebas de funcionamiento.

**Figura 18** Proceso de Impresión 3D



La figura de la parte superior muestra el diseño en Solid Works así como su trasface al post procesador de impresión Cura y el proceso de impresión 3D con la Print Bot Simple

**Fuente:** (Cedillo, 2016)

Las especificaciones de la impresora 3D PrintBot Simple de procedencia norte americana son las siguientes:

**Modelo:** 1403

**Volumen de construcción X-Y-Z:** 150 mm x 150 mm x 150 mm

**Resolución de impresión:** 50 micrones

**Velocidad de impresión:** 80 mm / s max recomendado

**Filamento:** 1.75mm PLA y ABS (con cama de calentamiento)

**Extrusora:** Extrusora de Aluminio (accionamiento directo) con Extremo Caliente de Ubis de 1.75mm y boquilla extrusora de 0.4mm

**Cama de impresión:** temperatura ambiente, opcional cama caliente con temperatura máxima de 80°C

**Electrónica:** Printbot Rev F Printrboard con conexión micro-USB (cable incluido) y ranura para tarjeta micro SD para impresión sin cables

**Software:** Printbot no proporciona software, pero recomienda Cura. Disponible para descarga gratuita.

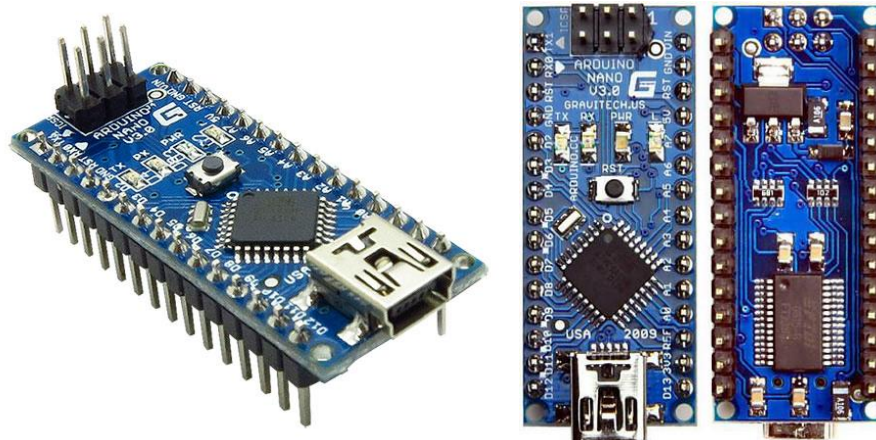
### Arduino Nano V3

El Arduino Nano es una pequeña y completa placa basada en el ATmega328 (Arduino Nano 3.0) o el ATmega168 en sus versiones anteriores (Arduino Nano 2.x) que se usa conectándola a una protoboard. Tiene más o menos la misma funcionalidad que el Arduino Duemilanove, pero con una presentación diferente. No posee conector para alimentación externa, y funciona con un cable USB Mini-B.

#### Características

- ✧ Microcontrolador: Atmel ATmega328 (ATmega168 versiones anteriores)
- ✧ Tensión de Operación (nivel lógico): 5 V
- ✧ Tensión de Entrada (recomendado): 7-12 V
- ✧ Tensión de Entrada (límites): 6-20 V
- ✧ Pines E/S Digitales: 14 (de los cuales 6 proveen de salida PWM)
- ✧ Entradas Analógicas: 8 Corriente máx por cada PIN de E/S: 40 mA
- ✧ Memoria Flash: 32 KB (ATmega328) de los cuales 2KB son usados por el bootloader (16 KB – ATmega168)
- ✧ SRAM: 2 KB (ATmega328) (1 KB ATmega168)
- ✧ EEPROM: 1 KB (ATmega328) (512 bytes – ATmega168)
- ✧ Frecuencia de reloj: 16 MH
- ✧ Dimensiones: 18,5mm x 43,2mm

**Figura 19** Arduino Nano



Vista en perspectiva y vistas superior e inferior de arduinoNano 3.0

**Fuente:** (Cedillo, 2016)

## **PLANTEAMIENTO DE HIPÓTESIS:**

La construcción de una prótesis ergonómica de pulgar mediante escaneo 3D, diseño CAD CAM e Impresión 3D que integra nuevos componentes a las manos de infantes de 4 a 6 años de edad que presentan hipoplasia de pulgar permitirá que sus manos generen la pinza de sujeción de objetos sin alterar la estética de las mismas o agregar componentes con peso innecesario.

## **METODOLOGÍAS DE INVESTIGACIÓN**

Se puede plantear que el conocimiento científico es la aplicación de ciencia en las tareas cotidianas con el fin de mejorar el medio natural y artificial en el cual se desenvuelve el hombre donde generalmente la ciencia se transforma en tecnología y a la actividad de producir nuevas ideas se debería de llamar Investigación Científica.

La palabra método puede interpretarse como el camino que se sigue para alcanzar un objetivo en forma literal y etimológica. La metodología de diseño es el camino por el cual se llega a un cierto resultado en la actividad científica, inclusive cuando dicho camino no ha sido fijado por anticipado de manera deliberada y reflexiva, siendo un instrumento de la actividad científica que se basa directamente en el estudio del método.

Para el desarrollo de una metodología idónea para el diseño y construcción de una prótesis de ergonómica de pulgar es necesario considerar un proceso creativo así como también la clasificación de objetivos y el establecimiento de actividades sin descuidar la especificación de requerimientos

### **Tipo de Investigación.**

La presente investigación es de tipo descriptiva ya que comprende el registro de cada una de las fases de diseño además del análisis de los resultados obtenidos en las mismas para la presentación de conclusiones relacionadas al procesos de diseño y construcción contemplando las recomendaciones necesarias para procesos de escaneo e impresión 3D.

## Método de Diseño

Existe una amplia gama de métodos sin embargo la gran mayoría recae en 7 pasos fundamentales que cumplen perfectamente con el proceso de diseño y construcción permitiendo llevar una armonía entre el problema y la solución al mismo y son los siguientes:

- ✘ Establecer y clasificar los objetivos y Actividades
- ✘ Establecer la funcionalidad
- ✘ Determinar los requerimientos
- ✘ Determinar las características
- ✘ Generar las alternativas
- ✘ Evaluar las alternativas
- ✘ Mejorar los detalles

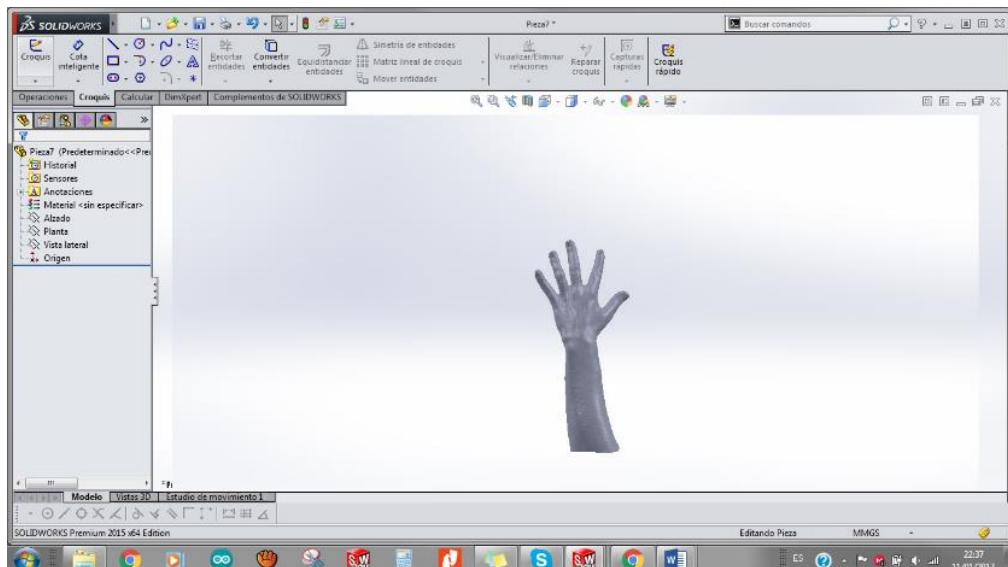
A continuación se describe cada una de las etapas mencionadas anteriormente, enfocadas al diseño del prototipo en cuestión.

### Clasificación de los Objetivos y Actividades

Un paso importante en el diseño de la prótesis ergonómica de pulgar es establecer los objetivos y las actividades que deben de cumplirse para obtener el producto final mismo que fueron mencionados en la tabla 1 y serán por memorizados a continuación:

**Escaneo de manos.** Este proceso se realizó con ligeras complicaciones en vista que la infante para la cual se diseñó el prototipo no lograba mantener sus manos totalmente estáticas mientras duraba el proceso de escaneo, por este motivo se tuvo que repetir el proceso por varias ocasiones hasta alcanzar los resultados deseados y presentados en la figura 20 y figura 21

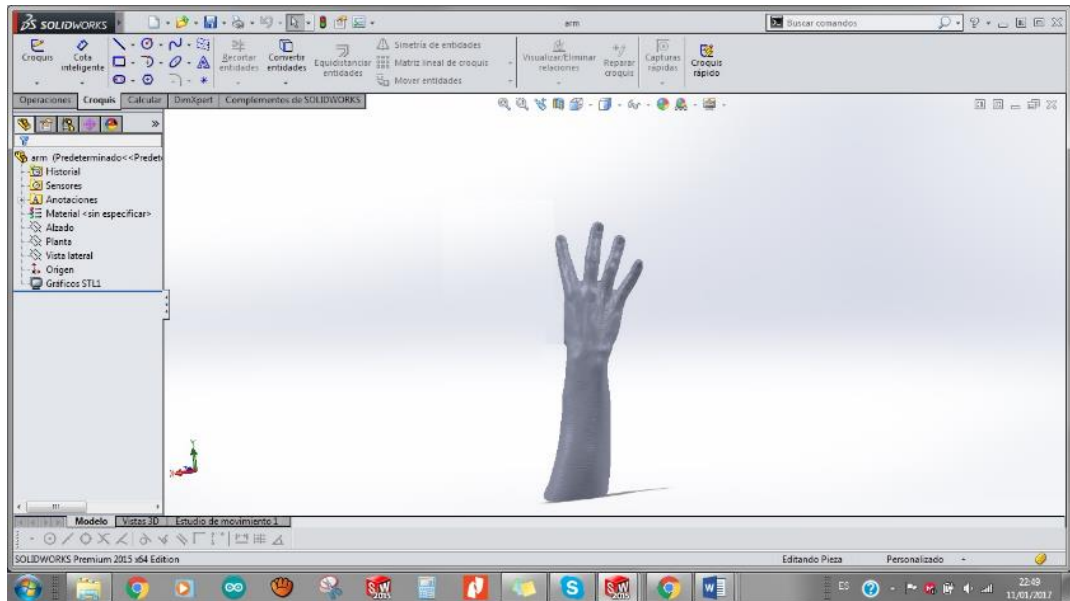
**Figura 20** Escaneo Mano Izquierda



Mano Izquierda con escaneada

**Fuente:** (Cedillo, 2016)

**Figura 21** Mano Derecha y eliminación de pulgar

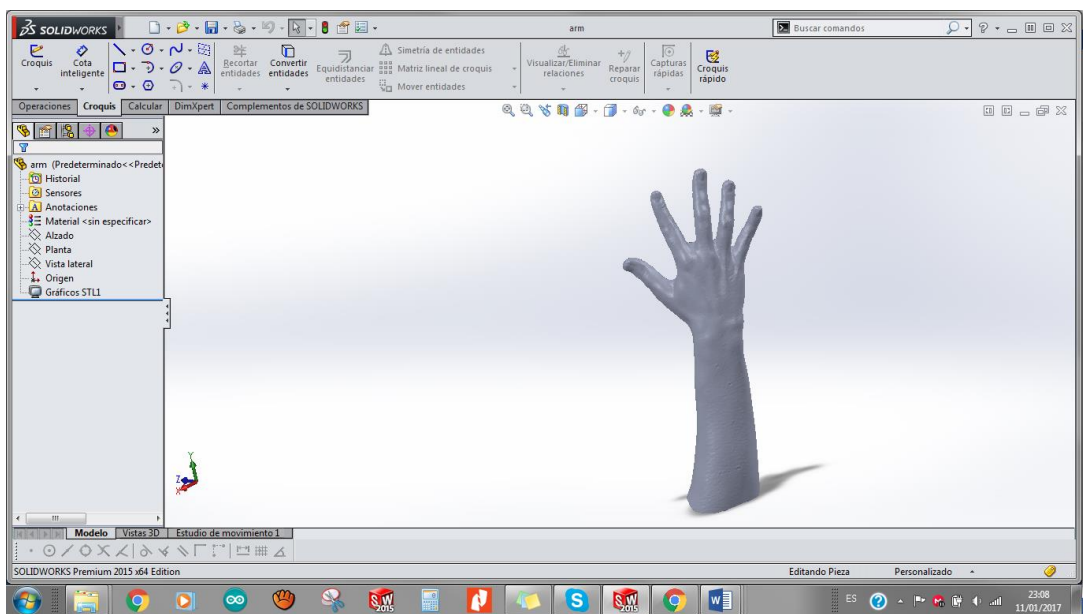


La imagen muestra mano derecha eliminada la sección de pulgar que no tiene movilidad

**Fuente:** (Cedillo, 2016)

**Digitalización y obtención de Mano derecha completa.** En cuanto a la digitalización de la mano derecha complementando la inexistencia del pulgar se genera una superposición del pulgar de la mano izquierda que puede ser visualizada en la Figura 22 este procedimiento nos permitirá la obtención de dimensiones de las falanges que integraran la prótesis de pulgar.

**Figura 22** Mano Derecha Súper Puesta Pulgar



Mano derecha con edición para la integración del pulgar de la mano izquierda en la mano derecha

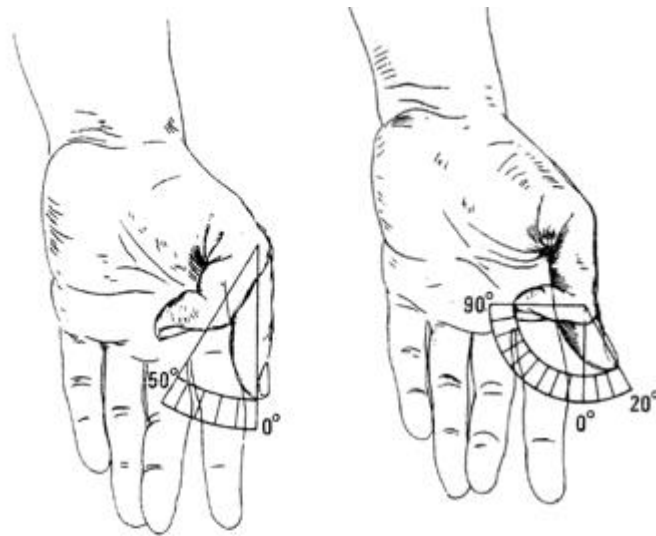
**Fuente:** (Cedillo, 2016)



**Generación de planos del pulgar Derecho.** La generación de los planos con las dimensiones del pulgar derecho se efectuó a través de Solid Work y se presenta en Anexo 2 junto con el plano de las dimensiones de la mano izquierda.

**Diseño de falanges de la Prótesis.** El diseño de las falanges que integran la prótesis se los realizo posterior al estudio de los grados de flexión y extensión del pulgar y que se presentan en la figura 23.

**Figura 23** Grados de Flexión de las Falanges del Pulgar

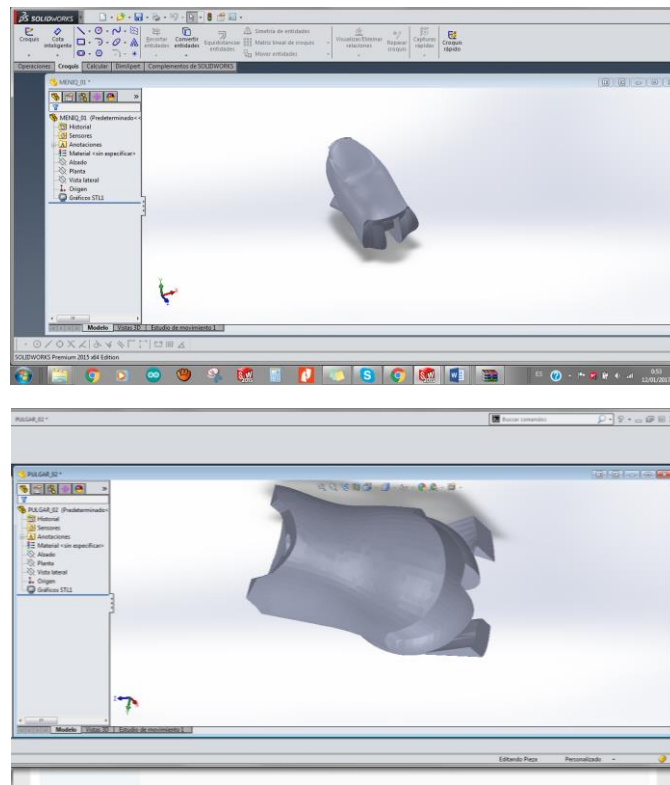


Pulgar Metacarpofalángica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hiperextensión 0° - 10°</li> <li>• Flexión 0° - 50°</li> </ul>
Pulgar Interfalángica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hiperextensión 0° - 20°</li> <li>• Flexión 0° - 90°</li> </ul>
Pulgar Carpometacarpiana	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aducción Palmar 0°</li> <li>• Abducción Palmar 0° - 45°</li> <li>• Aducción Radial 0°</li> <li>• Abducción Radial 0° - 60°</li> </ul>

**Fuente:** (Cedillo, 2016)

Debemos considera que la ergonomía es el conjunto de conocimientos de carácter multidisciplinar aplicados para la adecuación de productos, sistemas y entornos artificiales a las necesidades, limitaciones y características de sus usuarios, optimizando la eficacia, seguridad y bienestar. Posterior a este análisis se generó los modelos de los componentes de las falanges a través de Solid Works siendo los mostrados en la figura 24 el dimensionamiento de estas puede ser visualizado de forma detallada dentro de los planos que se encuentran en el Anexo 4

**Figura 24** Diseño de Falanges del Pulgar



La Imagen superior muestra una vista en perspectiva del pulgar y la posterior muestra la sección de la falange media

**Fuente:** (Cedillo, 2016)

**Generación de Programa para obtención de señales y control del servo.** El desarrollo de la programación se basa en el lenguaje de Arduino que es el empleado por la placa Arduino Nano V3, mismo contiene los comandos para el cambio de posición de un servo que necesita una señal digital cambiar sus estados siendo dirigido por la señal analógica que produce una resistencia variable y el acondicionamiento de análogo a digital, esta programación y sus comandos se presenta en el software como lo muestra la figura 25 y de manera textual es la siguiente:

- ✘ Para la creación del nombre del programa:

```
#include <Servo.h>
```

- ✘ Para la creación de parámetros del servo :

```
Servo myservo;
```

- ✘ Identificación del pin de entrada analógico:

```
int potpin = 0;
```

✧ Definición de variable de lectura del pin 0:

```
int val;
void setup()
{
```

✧ Determina que el pin 9 es la salida que controla al servo:

```
myservo.attach(9);
}
void loop()
{
```

✧ Lectura del Valor del Potenciómetro:

```
val = analogRead(A0);
```

✧ Crea el escalamiento de valores para ajustarse al movimiento del servo:

```
val = map(val, 90, 10, 0, 179);
```

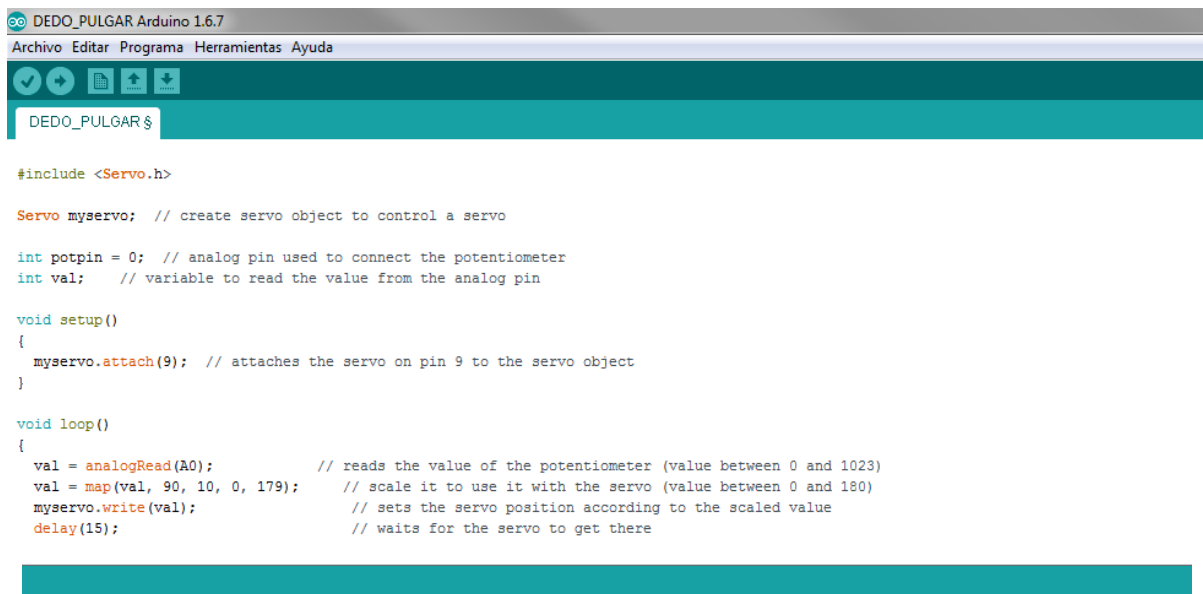
✧ Ajusta la posición del servo de acuerdo con el valor escalado:

```
myservo.write(val);
```

✧ Retorna el servo a la posición inicial:

```
delay(15);
}
```

**Figura 25** Programación en Arduino



```
DEDO_PULGAR Arduino 1.6.7
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
DEDO_PULGAR $
#include <Servo.h>

Servo myservo; // create servo object to control a servo

int potpin = 0; // analog pin used to connect the potentiometer
int val; // variable to read the value from the analog pin

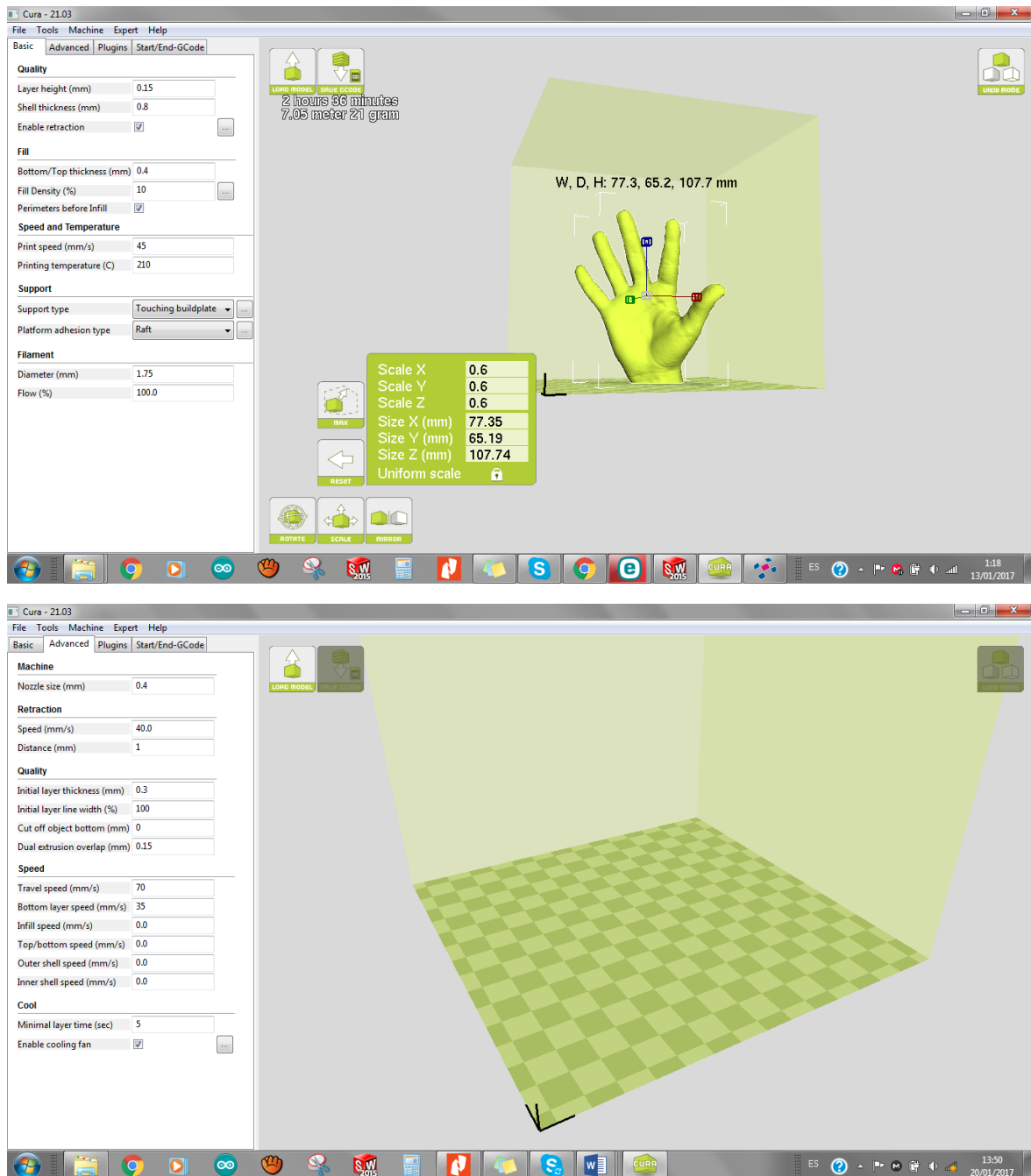
void setup()
{
  myservo.attach(9); // attaches the servo on pin 9 to the servo object
}

void loop()
{
  val = analogRead(A0); // reads the value of the potentiometer (value between 0 and 1023)
  val = map(val, 90, 10, 0, 179); // scale it to use it with the servo (value between 0 and 180)
  myservo.write(val); // sets the servo position according to the scaled value
  delay(15); // waits for the servo to get there
}
```

**Fuente:** (Cedillo, 2016)

**Impresión de Componentes para la prótesis.** El proceso de impresión de las falanges requiere de la especificación de parámetros dentro del software cura con el fin de obtener una impresión adecuada y resultados idóneos en la figura 26 se presenta el programa Cura mismo que controla a la impresora.

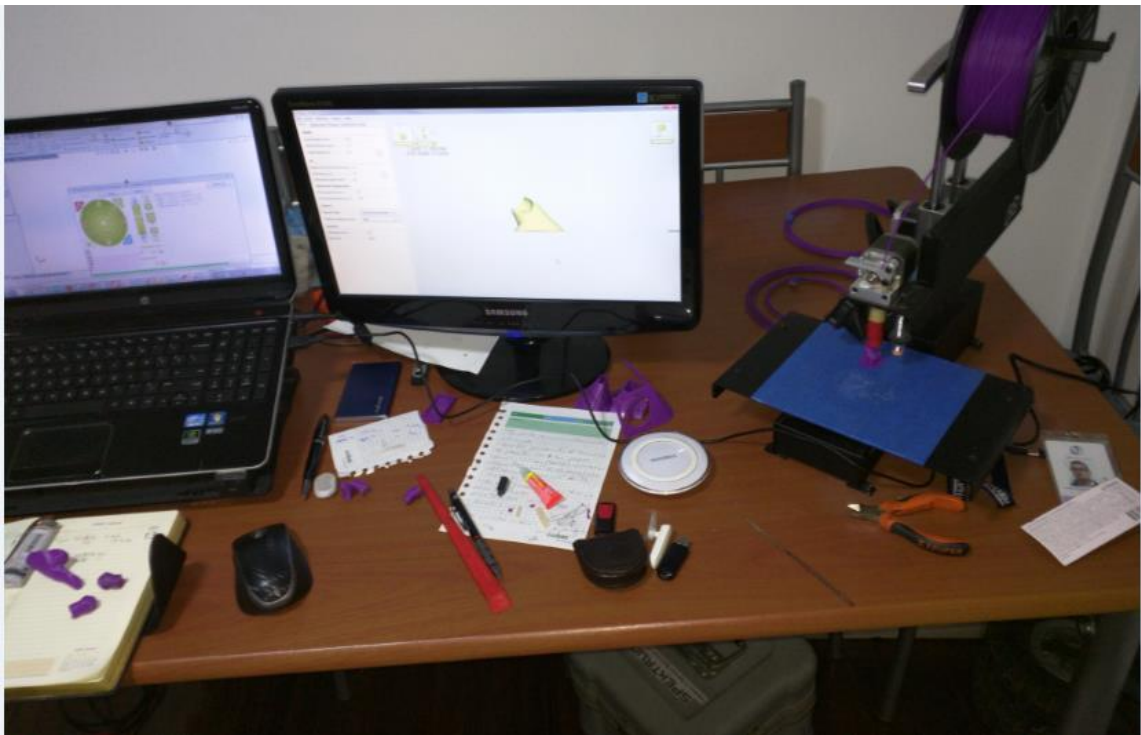
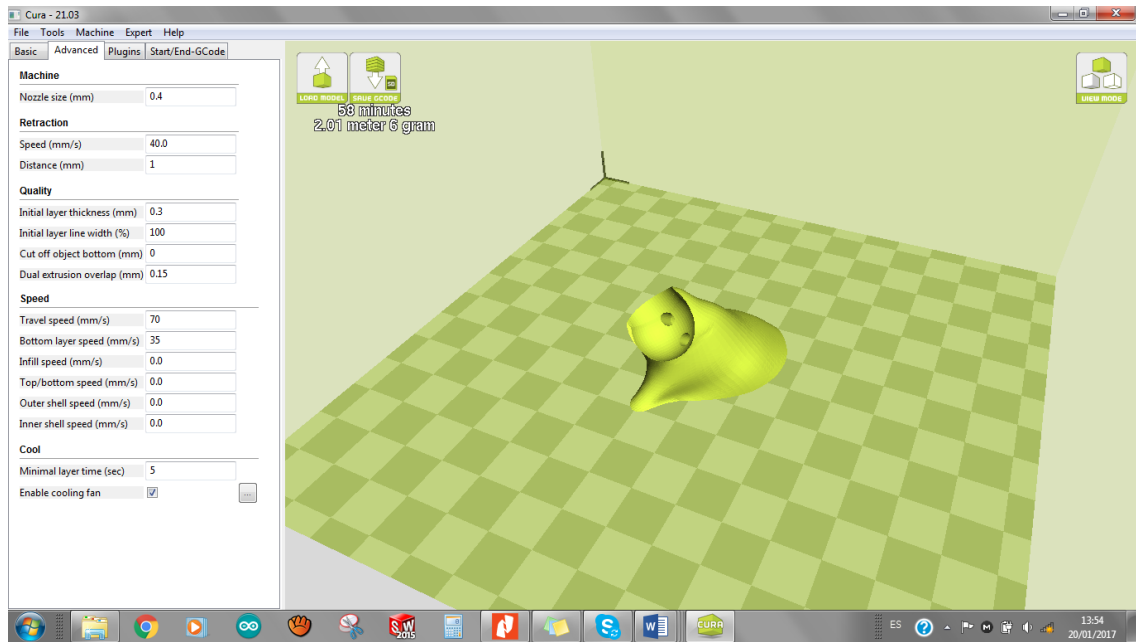
**Figura 26.** Interface de Cura



Fuente: (Cedillo, 2016)

La impresión del metacarpo exige una cierta destreza en el uso de la impresora y la calibración de la misma puesto que dependerá mucho de la localización de el mismo sobre los ejes de la impresora 3D para obtener los resultados esperados esta localización y el proceso de impresión se puede visualizar en la figura 27

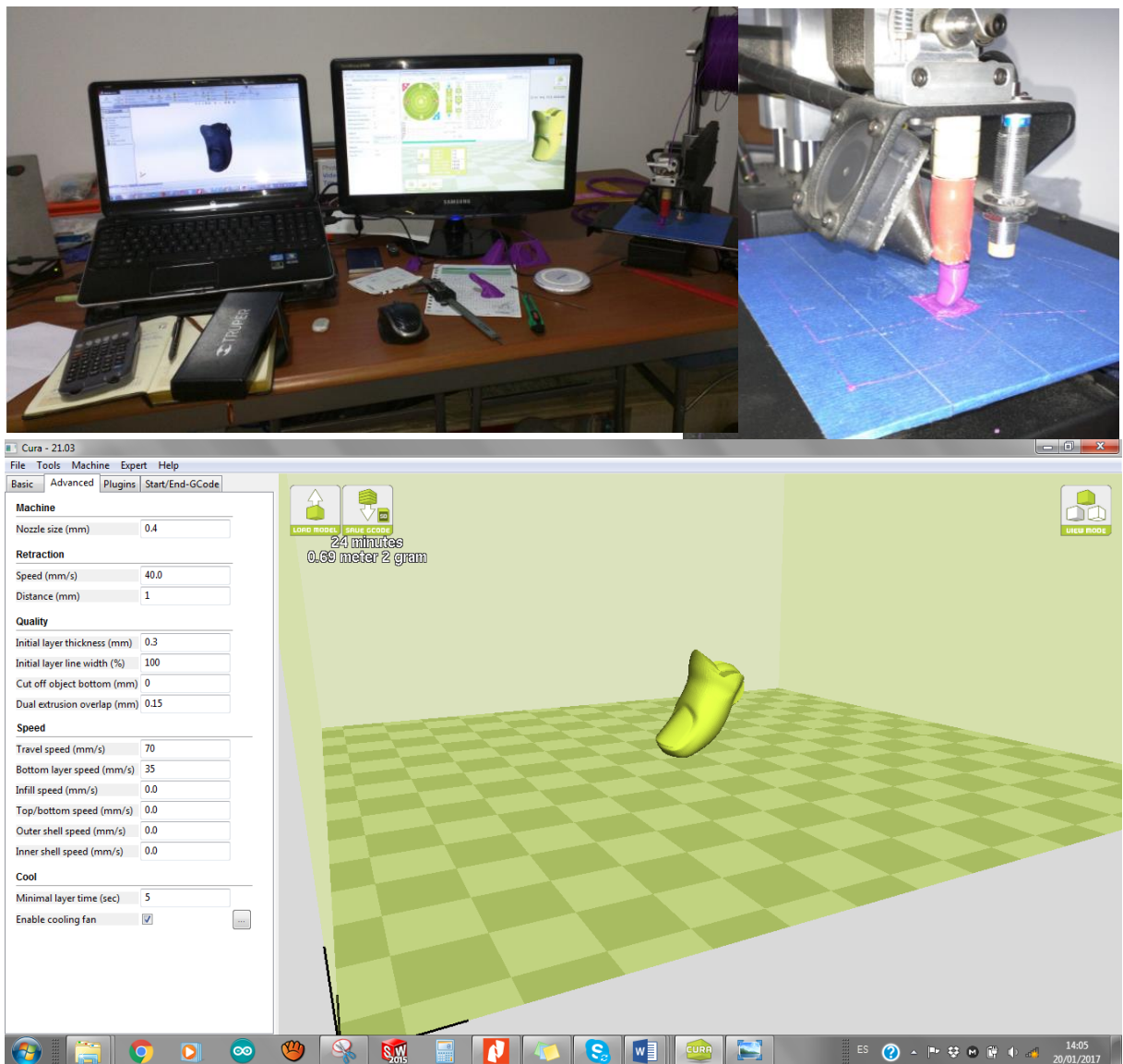
**Figura 27** Impresión Metacarpo



**Fuente:** (Cedillo, 2016)

La impresión del pulgar requiere la utilización de una configuración de plataforma de impresión y soportes para ello se necesita de destreza en el uso de la impresora y la calibración de la misma puesto que dependerá mucho de la localización de pieza sobre los ejes de la impresora 3D para obtener los resultados esperados esta localización y el proceso de impresión se puede visualizar en la figura 28.

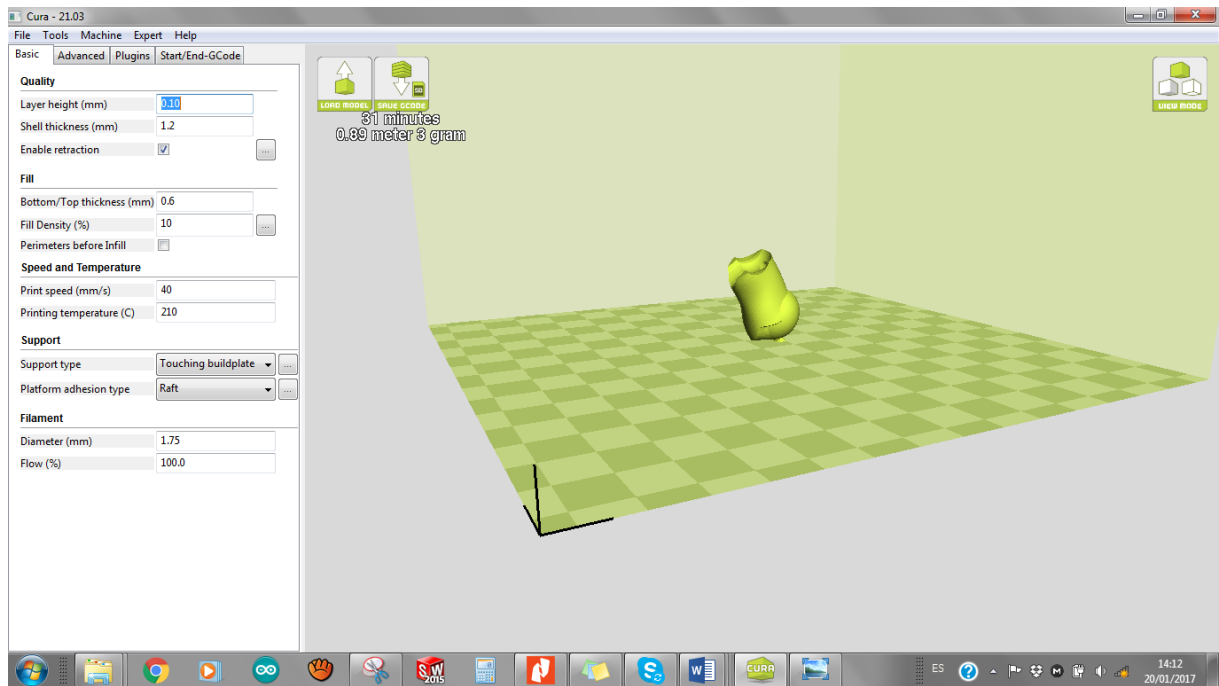
**Figura 28** Impresión de Pulgar



**Fuente:** (Cedillo, 2016)

La impresión de la falange requiere la utilización de una configuración de plataforma de impresión y soportes para ello se necesita de destreza en el uso de la impresora y la calibración de la misma puesto que dependerá mucho de la localización de pieza sobre los ejes de la impresora 3D para obtener los resultados esperados esta localización y el proceso de impresión se puede visualizar en la figura 29.

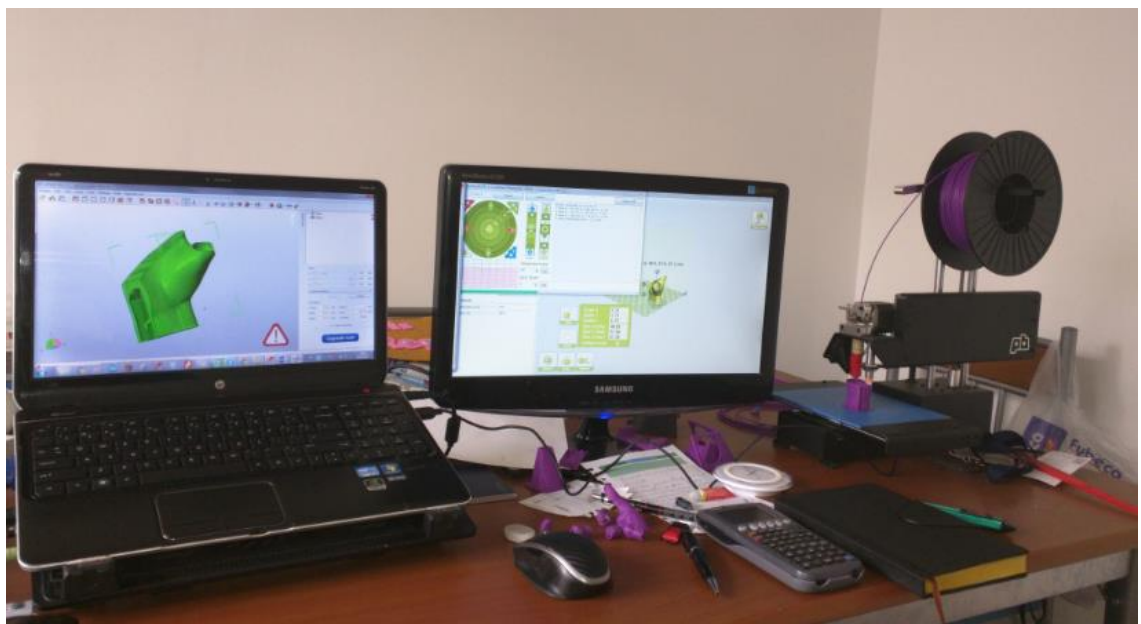
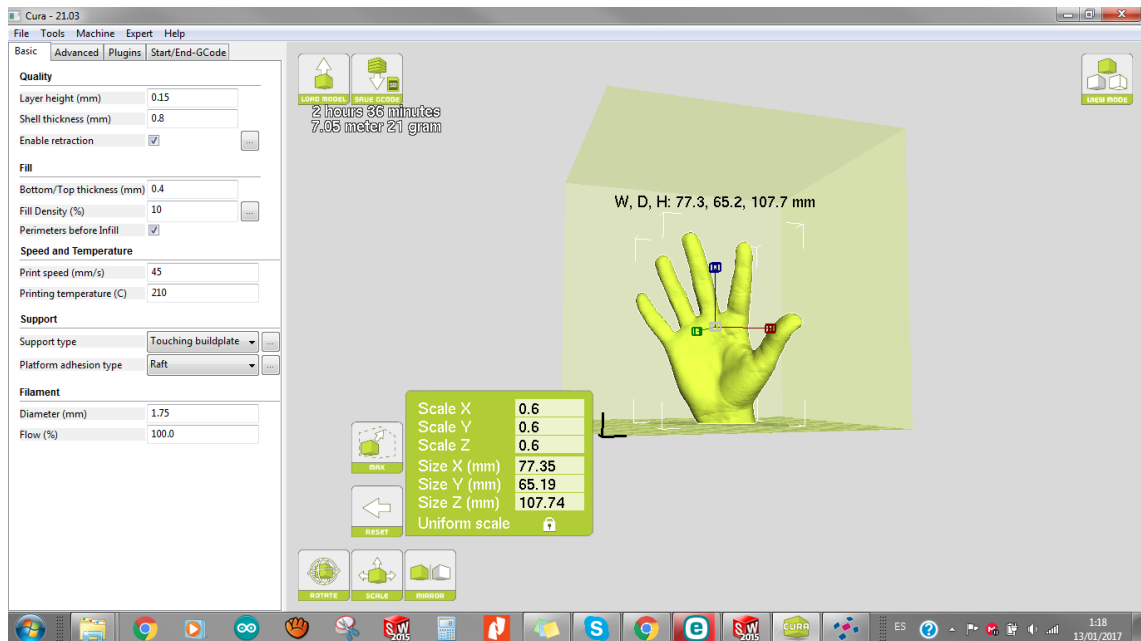
**Figura 29** Impresión Falange



**Fuente:** (Cedillo, 2016)

También se genera la impresión de una mano en escala real para lo cual se necesita otra configuración de plataforma de impresión y soportes para ello se necesita de destreza en el uso de la impresora y la calibración de la misma puesto que dependerá mucho de la localización de pieza sobre los ejes de la impresora 3D para obtener los resultados esperados esta localización y el proceso de impresión se puede visualizar en la figura 30.

**Figura 30** Impresión de Mano en Escala Real

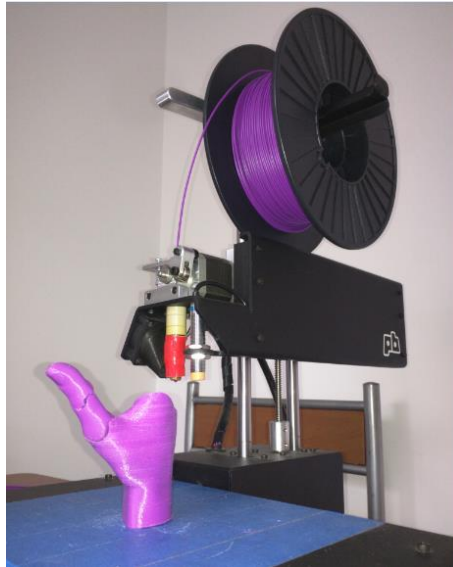


**Fuente:** (Cedillo, 2016)



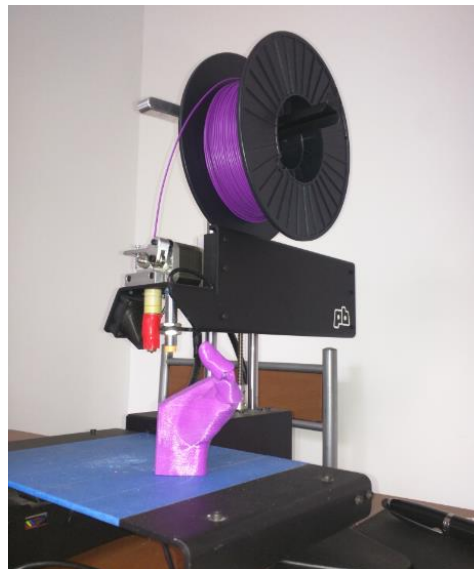
**Ensamble de la Prótesis.** Una vez efectuadas las impresiones con diversas configuraciones de temperatura, velocidad y espesor de las capas de impresión se alcanza una prótesis para ejecutar movimientos de extensión retracción como las presentadas en la figuras 31 y figura 32.

**Figura 31.** Prótesis para Pruebas Pulgar Extendido



**Fuente:** (Cedillo, 2016)

**Figura.32** Prótesis para Pruebas Pulgar Extendido



**Fuente:** (Cedillo, 2016)

**Verificación de Funcionamiento.** Una vez realizadas las pruebas de escala y colores se obtiene la prótesis representada en la figura 33 misma que será definida colores acorde al gusto de la infante y se determina que el accionamiento electrónico solo se dará a nivel de pruebas por el hecho de que la prótesis en la escala la cual le es útil en este momento no permite alojar a los componentes electrónicos que la controlan.

**Figura.33** Prótesis de Pulgar Escala Real

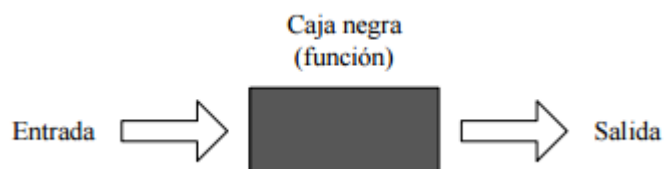


**Fuente:** (Cedillo, 2016)

### **Establecer la Funcionalidad**

Esta etapa da inicio con el planteamiento de un enfoque dirigido hacia los objetivos que se deben lograr y no en cómo se harán, visualizando la prótesis a diseñar como si fuera una caja negra figura 34. Esta analogía plantea que la caja negra contiene la función requerida para transformar entradas en la salida deseada sin plantearnos ninguna otra concepción que la de permitir sujetar objetos.

**Figura 34** Representación caja Negra



**Fuente:** (Cedillo, 2016)

### **Determinar los Requerimientos**

La finalidad de especificar los requisitos es conseguir un parámetro claro para obtener las especificaciones y componentes principales de la propuesta de diseño, para lo cual los requerimientos principales son:

- ✘ Sujeción cilindra y sujeción tipo pinza
- ✘ Dimensiones del pulgar proporcionales a las de la mano que no presenta hipoplasia
- ✘ Dos articulaciones para el dedo pulgar
- ✘ Peso no superior a los 30 gr
- ✘ Disponibilidad de Materiales y Componentes en el Ecuador
- ✘ Mantenimiento Mínimo y Sencillo
- ✘ Accesible a personas de diferentes estratos económicos
- ✘ Posibilidad de replicar la prótesis en diferentes escalas

### **Determinar las Características**

Las características se encuentran totalmente ligadas a los requerimientos es por es lo que se plantearan con una correlación de los mismos y son las siguientes:

- ✘ Para la sujeción cilindrada y la sujeción tipo pinza se contemplara la flexión de las dos falanges que integran la prótesis en proporción a la contracción del dedo índice.
- ✘ Para obtener dimensiones del pulgar proporcionales a las de la mano que no presenta hipoplasia el diseño digital contempla claramente la ergonomía y anatomía de la mano con hipoplásica y la de la mano sin hipoplasia para contrastarlas y dar dimensiones adecuadas y proporcionales.
- ✘ Con el fin de obtener un peso que no supere los 30 gr los compontes son impresos con un mallado tipo panel de abeja para evitar pesos innecesarios.
- ✘ Al requerirse la disponibilidad de Materiales y Componentes en el Ecuador se consideró que los componentes electrónicos sean los habituales en el comercio nacional así como también que el material empleado en la impresión 3D sea PLA que se vende en los locales de impresión 3D
- ✘ Para alcanzar un mantenimiento mínimo y sencillo de planteo que ninguna de las partes de la prótesis integre componentes complejos o difíciles de desarmar de esta manera no se requiere de mantenimiento especializado.

- ✘ Con el fin de permitir la accesibilidad a personas de diferentes estratos económicos se cuidó cada uno de los costos de construcción y materiales hasta alcanzar un valor de 225 dólares para una prótesis ergonómica de Pulgar
- ✘ Para permitir la posibilidad de replicar la prótesis en diferentes escalas los archivos digitales generados permiten la impresión en cualquier escala que se requiera.

### Generar las Alternativas

Las alternativas para la obtención de la prótesis ergonómica de pulgar, contempladas acorde a las prestaciones tecnológicas existentes en el Ecuador son las descritas en la siguiente tabla:

**Tabla 2** Alternativas de Construcción

<b>Objetivos</b>	<b>Alternativas</b>
Obtención de medidas	Toma de Medidas mediante Vernier Digital
	Obtención de medidas a través de Moldes de yeso
	Escaneo 3D
Modelado de la prótesis	Modelado mediante Netfabb
	Modelado Digital Mediante Blender
	Modelado Digital Mediante Solid Works
Construcción de la Prótesis	Construcción de falanges de manera artesanal
	Construcción de secciones a través de resinas vertidas en moldes
	Construcción de Falanges mediante impresión 3D

**Fuente:** (Cedillo, 2016)

Cada una de las alternativas presentadas en la sección anterior requieren de especialización en el tema o a su vez un nivel de conocimiento y destreza necesario para su desarrollo motivo por el cual se podría ampliar el equipo de trabajo del presente proyecto es por eso que se plantea una evaluación de Alternativas.

### Evaluar las Alternativas

Las Alternativas expuesta anteriormente requieren de una evaluación que determine el grado de complejidad que presentan para el desarrollo del proyecto en vista de que a mayor grado de complejidad mayor será el tiempo que requieran para su desarrollo, este análisis se presenta en la siguiente tabla:

**Tabla 3.** Evaluación de Alternativas

Alternativas	Nivel de Complejidad		
	Alto	Medio	Bajo
Toma de Medidas mediante Vernier Digital	X		
Obtención de medidas a través de Moldes de yeso	X		
Escaneo 3D		X	
Modelado mediante Netfabb	X		
Modelado Digital Mediante Blender	X		
Modelado Digital Mediante Solid Works		X	
Construcción de falanges de manera artesanal	X		
Construcción de secciones a través de resinas vertidas en moldes	X		
Construcción de Falanges mediante impresión 3D		X	

**Fuente:** (Cedillo, 2016)

Como se había planteado inicialmente el proceso de construcción a través de técnicas modernas de escaneo, modelado e impresión 3D son la solución más viable puesto que no requieren de la asesoría o inmersión de personas externas en el desarrollo del proyecto y además son las más accesibles en cuanto a que no requieren de gran cantidad de insumos para ensayos por prueba y error y no presentan complicaciones algunas puesto que no generan retrasos o inconvenientes para el diseño y construcción de la Prótesis.

### **Mejorar los Detalles**

Con la finalidad de mejorar los detalles se efectúan pruebas de impresión con diferentes configuraciones de velocidad de impresión, espesor de las capas, resolución, posicionamiento de componentes y un análisis detallado de colores y presentación de acabados en base a los colores.

## ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

### Resultados de las Actividades Planteadas para los Objetivos

Los resultados de las actividades pueden ser contrastados mediante una tabla en la cual se detalla de manera clara como se alcanzaron y se cumplió con los objetivos planteados para el desarrollo del presente proyecto.

**Tabla 4** Resultado de las Actividades Planteadas

	<b>Resultados planteados para la Actividad</b>	<b>Resultados Alcanzados de la Actividad</b>
Determinar las dimensiones que requiere la prótesis mediante escaneo y modelado 3D con el fin alcanzar una prótesis de medidas proporcionales a la mano de la infante.	Modelado 3D de la mano de la Usuaría	Archivos digitales del escaneo de la mano de la infante en formato STL y en Formato SLDGW con errores y escaneos completo de las manos.
	Planos del Dedo Pulgar con Dimensiones Reales	Archivos Digitales de planos del dedo pulgar y sus componentes presentados de forma impresa en el anexo 3 del presente proyecto.
Diseñar la prótesis mediante software CAD CAM y software de programación electrónica, para que esta pueda tener movimiento.	Modelo digital de la Prótesis	Archivos digitales de cada uno de los componentes del dedo pulgar formato STL listos para imprimir a la escala que se desee y en Formato SLDGW listos para efectuar modificaciones o mejoras en los diseños.
	Placa Arduino , controlando y receptando Señales	Componentes electrónicos interconectados de forma segura capaces de brindar movimientos de extensión y retracción a las dos falanges móviles de la prótesis ergonómica de pulgar de pulgar.
Construir la prótesis mediante impresión 3D, con la versatilidad de redimensionarse acorde al crecimiento de la infante.	Componentes impresos a escala real	Varios componentes impresos en diversas escalas y colores para pruebas funcionales
	Accionamiento electrónico de la Prótesis	Prótesis funcional a escala superior a la que presenta la infante

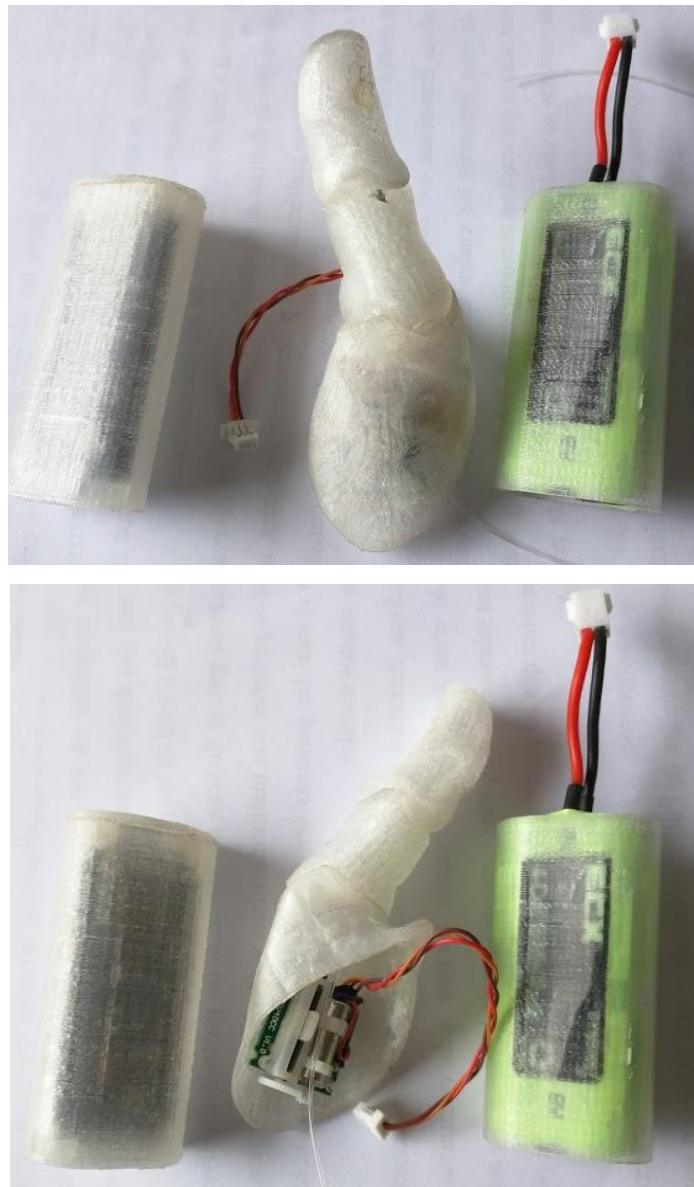
**Fuente:** (Cedillo, 2016)

De la tabla presentada se puede concluir que se logró alcanzar los objetivos planteados y cada una de las actividades relacionadas con los mismos, con una dificultad significativa en vista de

que la mano que presenta hipoplasia de pulgar del infante es aún muy pequeña para utilizar la prótesis de pulgar que integra componentes electrónicos.

La prótesis con sus componentes electrónicos así como también sus accesorios es decir conjunto electrónico de control y su batería es la que se muestra en la figura 35, que se presenta a continuación:

**Figura 35.** Prótesis de Pulgar y sus Accesorios



**Fuente:** (Cedillo, 2016)

Planteándose de esta manera que la posibilidad de emplear una prótesis de pulgar por un infante de 4 años es algo compleja si se desea que guarde una relación de proporcionalidad con su mano

y generándose la posibilidad de que le sea útil a partir de los 5 o 6 años de edad en adelante con un nuevo redimensionamiento e impresión de los componentes en una escala superior a la inicial.

### **Comprobación de la Hipótesis**

La hipótesis presentada es:

La construcción de una prótesis ergonómica de pulgar mediante escaneo 3D, diseño CAD CAM e Impresión 3D que integra nuevos componentes a las manos de infantes de 4 a 6 años de edad que presentan hipoplasia de pulgar, permitirá que sus manos generen la pinza de sujeción de objetos sin alterar la estética de las mismas o agregar componentes con peso innecesario.

La comprobación de la misma será la siguiente:

- ✘ Al realizar el escaneo de la mano y realizar el diseño de la prótesis de acuerdo a las medidas de la mano opuesta que no presenta deformaciones, se pudo obtener la representación real de las medidas que son necesarias para el modelado 3D con Solid Works para su posterior construcción mediante impresión 3D y de esta manera la prótesis mantendrá una ergonomía adecuada además de proporcionalidad al acoplarse el resto de la mano y brindar ayuda en la sujeción de objetos.
- ✘ El desarrollo de la electrónica para el movimiento de las falanges del pulgar, se encuentra planteado, pero no podrá ser implementado en este momento en vista que el tamaño del metacarpo con un vaciado interno no permite el espacio suficiente para alojar a la falange sin movimiento de la infante que utilizara la prótesis y al mecanismo del micro servo que replicara el movimiento normal del pulgar, en vista de que la infante tiene 4 años de edad y el tamaño de su mano genera una prótesis pequeña acorde a la proporción que debe tener.
- ✘ Determinándose que en la edad que presenta la infante el 18 de enero del 2017 no se podrá anexar a su mano el servo y el conjunto electrónico de control ya que perderá la prótesis el objetivo de ser ergonómica y más bien se generará una prótesis de tipo cosmética sin movimiento con un revestimiento de látex color piel, que aportara al proceso de adaptación a la prótesis por parte de infante hasta el momento en el cual su mano alcance las dimensiones necesarias para acoplar la electrónica de control.

### **IMPACTOS**

A continuación se plantea un análisis de los impactos sociales, técnicos y económicos generados durante el desarrollo del presente proyecto y por su producto final que este planteo



## **Social**

Gracias al diseño planteado en este proyecto, además de los estudios ergonómico respectivos, se puede ayudar al desarrollo de las actividades cotidianas de la infante que es la beneficiaria directa de esta prótesis; además se abre las puertas para diversos tipos de prótesis que se puedan ejecutar mediante lineamientos similares a los de la prótesis ergonómica de pulgar para el desarrollo de prótesis mediante el escaneo e impresión 3D, en vista de que la tecnología de este tipo ayudara a nuevos proyectos con mayores grados de complejidad tal sería el caso de una persona que carezca parcial o totalmente de una de sus extremidades superiores.

El impacto social que se alcanzó con este proyecto de innovación tecnología, motiva a los estudiantes de las Universidad Técnica de Cotopaxi y a la juventud emprendedora en si, a emplear recursos tecnológicos para ayudar a la sociedad de escasos recurso económicos o con problemáticas similares, al dejar de lado la utilización de la tecnología en fines comerciales, recreativos o bélicos y potencializar la utilización de la tecnología al servicio de la comunidad con la ruptura de paradigmas sociales, culturales y tecnológicos.

## **Técnico**

El proceso de escaneo e impresión 3D da una apertura al conocimiento relacionado a la biomecánica y bioingeniería con la concepción de diseños mecánicos de una manera increíblemente simplificada gracias a la reducción de los tiempos en el momento digitalizar objetos o seres vivos, dando así apertura a que los diseños cubran totalmente las necesidades personales de sus usuarios de manera fácil , así como también permite replicar componentes o rediseñarlos con mejoras para reproducirlos con un costo accesible y con una adecuada ergonomía.

Además se debe contemplar que la aplicación de tecnología de este tipo en la solución de problemas médicos abre la puerta a concebir soluciones fáciles y sin la necesidad de integrar componentes sofisticados o componentes elaborados mediante procesos complejos demostrando que la tecnología está al alcance de todos

## **Económicos**

El presente proyecto proporciona la facilidad de adquirir una prótesis ergonómica de pulgar para infantes con un precio de 225 dólares que lo cual representa el 60% de un salario básico unificado en el Ecuador, en comparación con el precio de una prótesis adquirida en el extranjero

se debe tener en cuenta que una con similares características tendría un valor de 4000 hasta 15000 proporcionales a la complejidad de la misma.

También se debe considerar que el impacto económico de replicar este tipo de prótesis para distintas aplicaciones podría ser un proyecto sustentable con una baja inversión inicial, quedando abierta posibilidad de generar un estudio de mercado y un estudio de rentabilidad para la formación de una empresa dedicada al diseño y construcción de prótesis mediante procesos de escaneo e impresión 3D

## **PRESUPUESTO PARA LA PROPUESTA DEL PROYECTO**

Mediante las siguientes tablas se detalla los gastos de diseño y construcción generados en la ejecución del proyecto, el estudio del presupuesto del proyecto es un factor importante y necesario porque permite determinar el costo real del proyecto para el diseño y construcción de la prótesis ergonómica de pulgar, una vez terminada la construcción se detallan con exactitud los recursos económicos empleados en materiales, máquinas, equipos y diseño:

### **Costos del Diseño de la Prótesis**

En la siguiente tabla se contemplan los costos relacionados a los diseños de la prótesis acorde al tiempo y número de propuestas de diseño así como también el costo de cada uno de los equipos requeridos.

**Tabla 5.** Costos de Diseño

<b>N°</b>	<b>ITEM</b>	<b>Cant</b>	<b>V. Uni USD</b>	<b>Cant Hrs.</b>	<b>V.Total USD</b>
<b>1</b>	Software Solid Woks	1	350	N/A	350
<b>2</b>	Scanner 3D Sense + Software	1	870	N/A	870
<b>3</b>	Trípode Vivitar	1	30	N/A	32
<b>4</b>	Escaneo 3D de manos	5	10	4	50
<b>5</b>	Software Cura impresión 3D	1	0	N/A	0
<b>6</b>	Diseño de Prótesis y sus accesorios	1	8	80	640
<b>7</b>	Programación Arduino	1	10	1	10
<b>TOTAL USD</b>					<b>1950</b>

Fuente: (Cedillo, 2016)

### **Costos de Construcción**

En la siguiente tabla se contemplan los costos relacionados a la construcción de la prótesis y también los equipos requeridos para construcción.

**Tabla 6.** Costos de Construcción

Nº	ITEM	Cant	V. Uni USD	Cant Hrs.	V.Total USD
1	Impresora 3D PrintrBot Simple Metal	1	850	N/A	850
2	Kilogramo de plástico PLA diámetro 1,75 mm	1	60	N/A	60
3	Arduino Nano + cableado + programación	1	45	N/A	50
4	Batería de 4,8 v NIH 2200mAh	1	20	N/A	20
5	Nano Servo Spectrum	1	45	N/A	45
6	Cargador Nivelador de Baterías y Accesorios	1	50	N/A	50
7	Impresión 3D de manos	3	40	30	120
8	Impresión 3D de modelos de prótesis	3	20	12	60
9	Impresión 3D carcazas de conjuntos de control	2	30	4	120
10	Ensamble de prótesis	3	10	2	30
<b>TOTAL USD</b>					<b>1400</b>

Fuente: (Cedillo, 2016)

### Costo de Total del Proyecto

En la siguiente tabla se contemplan los costos relacionados al diseño y construcción de la prótesis

**Tabla 7.** Costo Total del Proyecto

Nº	Detalle	Valor en USD.
1	Costos del Diseño de la Prótesis	1950
2	Costos por Construcción	1400
<b>TOTAL USD</b>		<b>3350</b>

Fuente: (Cedillo, 2016)

### Costo de la Prótesis

El costo de una prótesis es bastante bajo ya que los equipos, herramientas, materiales y software que se plantearon en las tablas previas serán empleados para varias prótesis mas y el diseño de ser el caso podría ser emplearse para varias personas mas tan solo ajustándola a las medidas de las manos de los usuarios.

**Tabla 8.** Costos de la Prótesis

Nº	Detalle	Valor en USD.
1	Escaneo 3D de manos	50
2	Diseño de Prótesis y sus accesorios	40
3	Programación Arduino	10
4	Arduino Nano + cableado + programación	45
5	Batería de 4,8 v NIH 2200mAh	20
6	Impresión 3D de modelos de prótesis	20
7	Impresión 3D carcazas de conjuntos de control	30
8	Ensamble de prótesis	10
<b>TOTAL</b>		<b>225 USD</b>

Fuente: (Cedillo, 2016)

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

- ✘ La revisión literaria del estado del arte correspondiente a las investigaciones y desarrollos relacionados con el diseño de prótesis híbridas y electrónicas se ve inmerso en el desarrollo de mano robóticas lo cual mostró un panorama amplio enfocándose a las carencias de los diseños actualmente utilizados. Por lo que fue posible identificar la necesidad de realizar una prótesis ergonómica de pulgar más a fondo mediante el Escaneo e Impresión 3D.
- ✘ La determinación de las dimensiones de la mano con la utilización de Sense 3D escáner requiere que el o los infantes se encuentre completamente estáticos por unos momentos para obtener los archivos digitales de sus manos, en vista de que el software del scanner entrega una imagen 3D bajo formato **.STL** esta debe de ser convertida en una archivo con extensión **.SLDPRT**.
- ✘ El diseño de la prótesis en software CAM-CAM es algo complejo hasta obtener los resultados deseados y posterior permite escalar la prótesis de una manera muy sencilla.
- ✘ La construcción de la prótesis mediante impresión 3D requiere de un cierto grado de conocimiento sobre el tema y se torna sencilla a medida que se comprenden los parámetros de velocidad de impresión y temperatura del plástico empleado, el escalar la prótesis a nuevas dimensiones acorde al crecimiento de la mano es sencillo ya que el software de impresión tiene una opción para ello.

## Recomendaciones

- ✘ Para la determinación de las dimensiones de la mano con la utilización de Sense 3D escáner ejecute el siguiente procedimiento:
  - ✘ Escanear la mano mediante un barrido completo manteniendo la trayectoria del escáner, procurando que la mano no se mueva en ningún momento.
  - ✘ Emplear un trípode y sistema de movimiento en 3 ejes para soportar el scanner y poder efectuar el barrido de la mano.
  - ✘ Guardar la imagen tridimensional de la mano como archivo STL.
  - ✘ Convertir el archivo **.STL** en un archivo **.SLDPRT**, mediante Netfabb, esta actividad permitirá editar el escaneo de la mano con Solid Works
  - ✘ Abrir el archivo **.SLDPRT** y modificar acorde a los requerimientos de las articulaciones que se deseen generar.
  - ✘ Escale los archivos a las dimensiones exactas para lograr la ergonomía de la prótesis
  - ✘ Una vez generadas las articulaciones y simuladas su movimiento genere los planos.
  
- ✘ Diseñe la prótesis en Solid Works de tal forma que cada uno de los componentes pueda ser escalado de una manera muy sencilla, contemplando que la mano de la infante crecerá hasta aproximadamente sus 17 años de edad; contemple también que el diseño de los mecanismos que accionen a la prótesis no sea complejo de imprimir ni tampoco sean complejos de ensamblar por sus usuarios.
  
- ✘ Para la impresión 3D contemple una velocidad de velocidad 40 a 60 mm/s y un espesor de las capas de impresión de 0.15 mm, además de ello considere una temperatura de 220 ° C; la posición de las piezas debe ser de tal forma que el plástico se localice sobre otra sección del mismo para esto si tiene piezas que deberán imprimirse en voladizo habilite la sección de soportes desde la plataforma de impresión ya que esto permitirá buenos resultados.

## BIBLIOGRAFÍA

### Bibliografía Consultada

- Bundhoo, V. (2009). Design and evaluation of a shape memory alloy-based tendondriven actuation system for biomimetic artificial fingers. En V. Bundhoo, *Design and evaluation of a shape memory alloy-based tendondriven actuation system for biomimetic artificial fingers* (pág. 22). Mauritius: University of Mauritius.

- Brito, J., Quinde, M., Cusco, D., & Calle, J. (2013). Estudio del estado del arte de las Prótesis de Mano. *Ingenius*, 58-64.
- Cedillo, U. (2016). *Investigación de Campo*. Latacunga.
- Chong, A. S. (2010). Common congenital hand conditions. *Singapore Med J*, 51(2):96.
- Dario, P., Chiara, M., Guglielmelli, E., Laschi, E., Menciassi, A., Micera, S., & Vecchi, F. (2005). Robotics as a future and emerging technology: biomimetics, cybernetics, and neuro-robotics in European projects. *IEEE Robotics and Automation Society*, vol 12, 29-45.
- Díaz Montes, J., & Dorador Gonzales, J. (2009). "Mecanismos de transmisión y actuadores utilizados en prótesis de mano. *MEMORIAS DEL XV CONGRESO INTERNACIONAL ANUAL DE LA SOMIM*, 335-345.
- Guay, M. (2012). Analyse Cinémato-statique d'un Doigt sous-actionné à 3 ddl pour une prothèse de membre supérieur. *Tesis de Maestría de la Universidad de Québec*, 44.
- Lamb, W. D. (1998). Congenital malformation of the hand and Forearm. *Incidence and Genetics*. In: *Buck-Gramcko*, 21-27.
- Loiza, J., & Arzola, N. (2011). Evolución y tendencias en el desarrollo de prótesis de Mano. <http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v78n169/a22v78n169.pdf>, 191-200.
- Oda, T., & Pushman, A. (2010). Treatment of common congenital hand condition. *Plastic and Reconst Surg*, 121-133.
- Okuno, R., Yoshida, R., & Akazawa, K. (2005). Compliant grasp in a myoelectric hand prosthesis. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, 48-56.
- Pérez Romero, M. (2011). Análisis cinemático e implementación de una mano robótica servoarticulada aplicable como Prótesis. *Tesis de Maestría*, 32-33.
- Purandare, N., & Plunkett, S. (1999). Co-occurrence of polydactyly and psychosis. *Br J Psychiatry*, 174.
- Quinayás, C. A. (2010). Diseño y Construcción de una Prótesis Robótica de Mano Funcional Adaptada a Varios Agarres. *Tesis de Maestría*, 27-28.
- Ramírez, J., Flores, I., García, M., & Dorador, J. (2001). Rediseño de interfaz para prótesis mecánica transhumeral. *Sociedad Mexicana de Ingeniería Mecánica*, 389-395.
- Takayama, S., & Nakao, Y. (2002). Modified abductor digiti minimi opponensplasty in congenital hypoplastic thumb with laxity of metacarpophalangeal joint. *Techniques in Hand and Upper Extremity Surgery*, 166-170.

- Tay, S., & Moran, S. (2006). The hypoplastic thumb. *J Am Acad Orthop Surge* 2006, 354-366.
- Vidal Ruiz, C. A., Pérez, D., Salazar, M., Calzada Vázquez, C., & Castañeda Leeder, P. (2012). Anomalías congénitas más comunes de la mano. *SMOP Revista Mexicana de Ortopedia Pediátrica*, 5-11.
- Weir, R. (2004). Design of Artificial Arms and Hands for Prosthetic Applications. En R. Weir, *Standart Handbook of Bionedical Eegieniering and Design* (págs. 32.6-32.7). Chicago, Illinois: Digital Engineering Library Mc Graw-Hill.
- Yang, J., Pena Pitarch, E., Abdel-Malek, K., Patrick, A., & Lindkvist, L. (2004). A multi-fingered hand prosthesis. *Mechanism and Machine Theory* 39, 555-581.

### **Bibliografía Citada**

- Bundhoo, V. (2009). Design and evaluation of a shape memory alloy-based tendondriven actuation system for biomimetic artificial fingers. In V. Bundhoo, *Design and evaluation of a shape memory alloy-based tendondriven actuation system for biomimetic artificial fingers* (p. 22). Mauritius: University of Mauritius.
- Brito, J., Quinde, M., Cusco, D., & Calle, J. (2013). Estudio del estado del arte de las Prótesis de Mano. *Ingenius*, 58-64.
- Cedillo, U. (2016). *Investigación de Campo*. Latacunga.

- Chong , A. S. (2010). Common congenital hand conditions . *Singapore Med J* , 51(2):96.
- Dario, P., Chiara, M., Guglielmelli, E., Laschi, E., Menciassi, A., Micera, S., & Vecchi, F. (2005). Robotics as a future and emerging technology:biomimetics, cybernetics, and neuro- robotics in european projects . *IEEE Robotics and Automation Society*, vol 12, 29-45.
- Díaz Montes , J., & Dorador Gonzales , J. (2009). “Mecanismos de transmisión y actuadores utilizados en prótesis de mano. *MEMORIAS DEL XV CONGRESO INTERNACIONAL ANUAL DE LA SOMIM*, 335-345.
- Guay, M. (2012). Analyse Cinémato-statique d un Doigt sous-actioné à 3 ddl pour une prothèse de membre supérieur. *Tesis de Maestria de la Univercidad de Québec*, 44.
- Lamb, W. D. (1998). Congenital malformation of the hand and Forearm . *Incidence and Genetics.In: Buck-Gramcko*, 21-27.
- Loiza, J., & Arzola, N. (2011). Evolución y tendencias en el desarrollo de prótesis de Mano. <http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v78n169/a22v78n169.pdf>, 191-200.
- Oda, T., & Pushman, A. (2010). Treatment of common congenital hand condition . *Plastic and Reconst Surg*, 121-133.
- Okuno, R., Yoshida, R., & Akazawa, K. (2005). Compliant grasp in a myoelectric hand protesís. *IEEE Engieniering in Medicine and Biology Magazyne*, 48-56.
- Pérez Romero, M. (2011). Análisis cinemático e implementación de una mano robótica servo articulada aplicable como Prótesis . *Tesis de Maestria* , 32-33.
- Purandare, N., & Plunkett, S. ( 1999). Co-occurrence of polydactyly and psychosis. *Br J Psychiatry*, 174.
- Quinayás, C. A. (2010). Diseño y Construcción de una Prótesis Robótica de Mano Funcional Adaptada a Varios Agarres . *Tesis de PAestria* , 27-28.
- Ramirez , J., Flores, I., Garcia, M., & Dorador , J. (2001). Rediseño de interfaz para prótesis mecánica transhumeral. *Sociedad Mexicana de Ingeniería Mecánica*, 389-395.
- Takayama, S., & Nakao, Y. (2002). Modified abductor digiti minimi opponensplasty in congenital hypoplastic thumb with laxity of metacarpophalangeal joint. *Techniques in Hand and Upper Extremity Surgery*, 166-170.
- Tay, S., & Moran , S. (2006). The hypoplastic thumb. *J Am Acad Orthop Surge* 2006, 354-366 .








- Vidal Ruiz , C. A., Pérez , D., Salazar , M., Calzada Vázquez, C., & Castañeda Leeder, P. (2012). Anomalías congénitas más comunes de la mano. *SMOP Revista Mexicana de Ortopedia Pediátrica* , 5-11.
- Weir, R. (2004). Desing of Artificial Arms and Hands for Prosthetic Applications. In R. Weir, *Standart Handboook of Bionedical Eegieniering and Design* (pp. 32.6-32.7). Chicago, Illinois: Digital Engineering Library Mc Graw-Hill.
- Yang , J., Pena Pitarch, E., Abdel-Malek, K., Patrick, A., & Lindkvist, L. (2004). A multi-fingered hand prosthesis. *Mechanism and Machine Theory* 39, 555-581.

# ANEXO

**Anexo 1**

**Dimensiones del Pulgar Derecho**

	<h1>Ficha de Observación</h1>	1-1	<b>F-O-0001.</b>
		Rev.: 01	
SECCION: Anexos		CLIENTE:	<b>N/A</b>
PRODUCTO: Planos Mano Derecha		Cód.:	
SUB ENSAMBLE: No Aplica		Nº DE PARTE:	
<b>PROCESO Nº 1</b>			
Fotografías para contraste de dimensiones			
Máquina: Nikon Coolpix 480	Instrumento de medición: Vernier Digital	Procemimiento: Medicion Falanges	
<p><b>Notas Relebantes:</b></p> <p>* La mano izquierda presenta estructura osea completa sin alteraciones en su formacion Congenita y es adecuada para ser escaneada</p>			
			
<b>PARÁMETROS A TOMAR EN CUENTA</b>		<b>PROCESOS</b>	
		ANTERIOR :	
		SIGUIENTE :	
ELABORADO POR:	FECHA	REVISADO POR:	FECHA
APROBADO POR:		FECHA	

	<h1>Ficha de Observación</h1>		1-1	<b>F-O-0001.</b>	
			Rev.: 01		
SECCION: Anexos			CLIENTE:	NA	
PRODUCTO: Planos Mano Izquierda			Cód.:		
SUB ENSAMBLE: No Aplica			Nº DE PARTE:		
<b>PROCESO Nº 2</b>					
Fotografías para contraste de dimensiones					
Máquina: Nikon Coolpix 480	Instrumento de medición: Vernier Digital	Procedimiento: Medicion Falanges			
<p><b>Notas Relebantes:</b></p> <p>* La mano derecha presenta estructura osea completa con alteraciones en su formacion congenita y es adecuada para ser escaneada</p>					
					
					
<b>PARÁMETROS A TOMAR EN CUENTA</b>			<b>PROCESOS</b>		
			ANTERIOR :		
			SIGUIENTE :		
ELABORADO POR:	FECHA	REVISADO POR:	FECHA	APROBADO POR:	FECHA



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:  
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM  
 ACABADO SUPERFICIAL:  
 TOLERANCIAS:  
 LINEAL:  
 ANGULAR:

REBARBAR Y  
 ROMPER ARISTAS  
 VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

Autor :

**Ulices Cedillo**

TÍTULO:

**Protesis Pulgar Mano Derecha**

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	Cedillo . U		14/01/2017
VERIF.			
APROB.			



**Ingeniería Industrial**

MATERIAL:  
 Plástico PLA

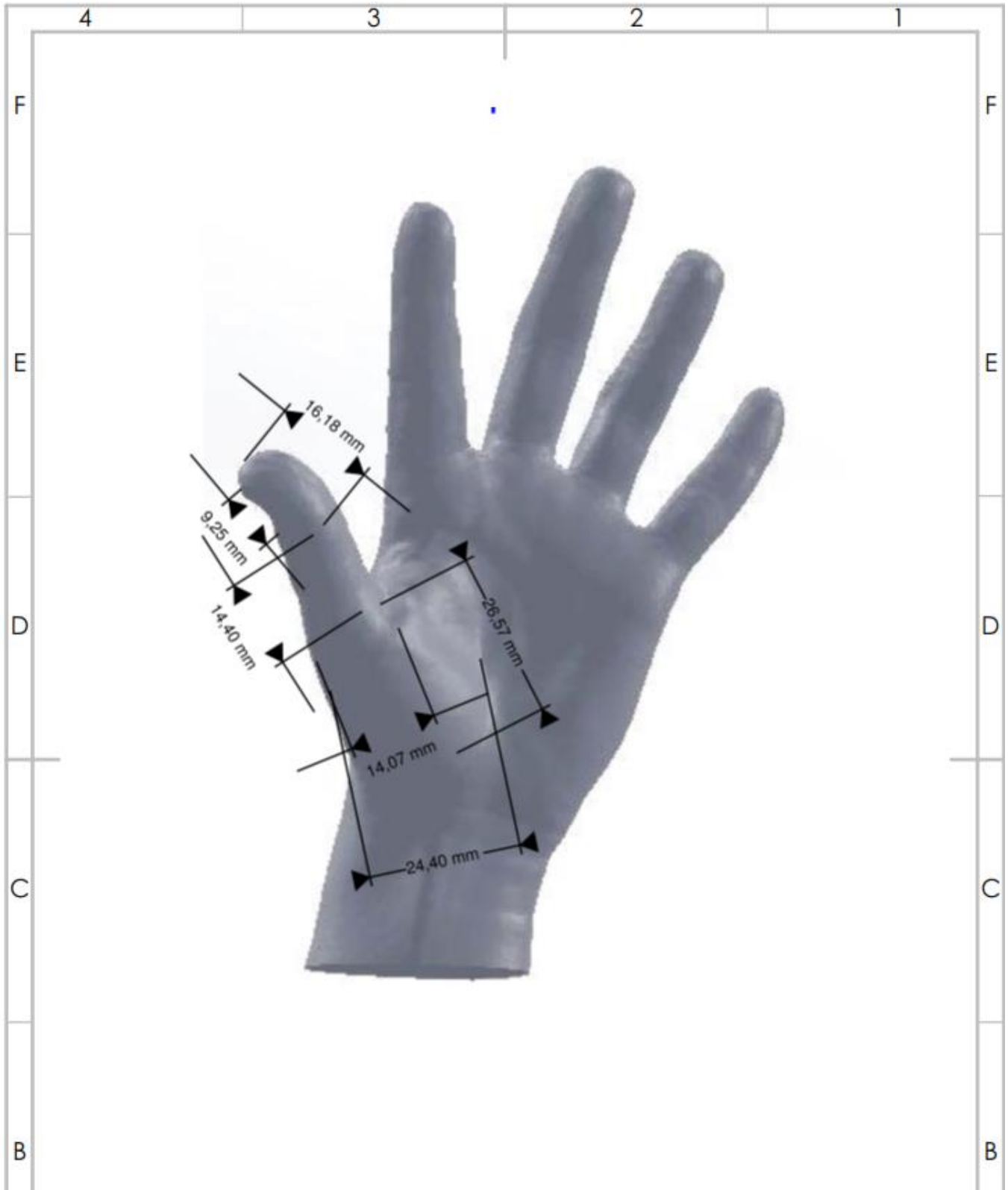
ANEXO. 2


A4

PESO:

ESCALA: 2:1

HOJA 1 DE 1



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
			Autor : <b>Ulices Cedillo</b>		
			TÍTULO: <b>Mano Izquierda</b>		
 <b>Ingeniería Industrial</b>			MATERIAL: Plástico PLA	ANEXO. 2	
			PESO:	ESCALA: 2.1	HOJA 1 DE 1

A

A

F

F

E

E

D

D

C

C

B

B

4

3

2

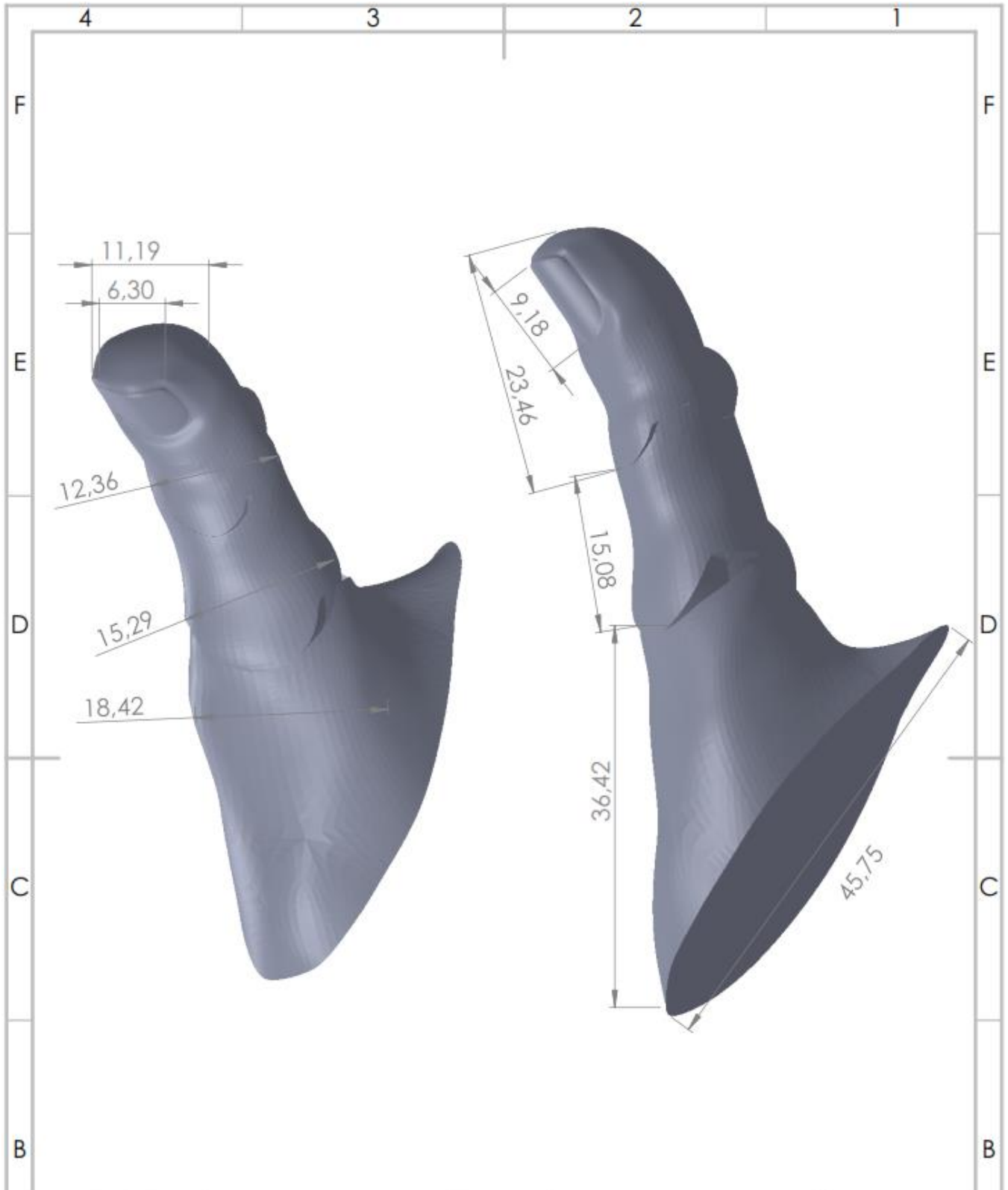
1

4

3

2

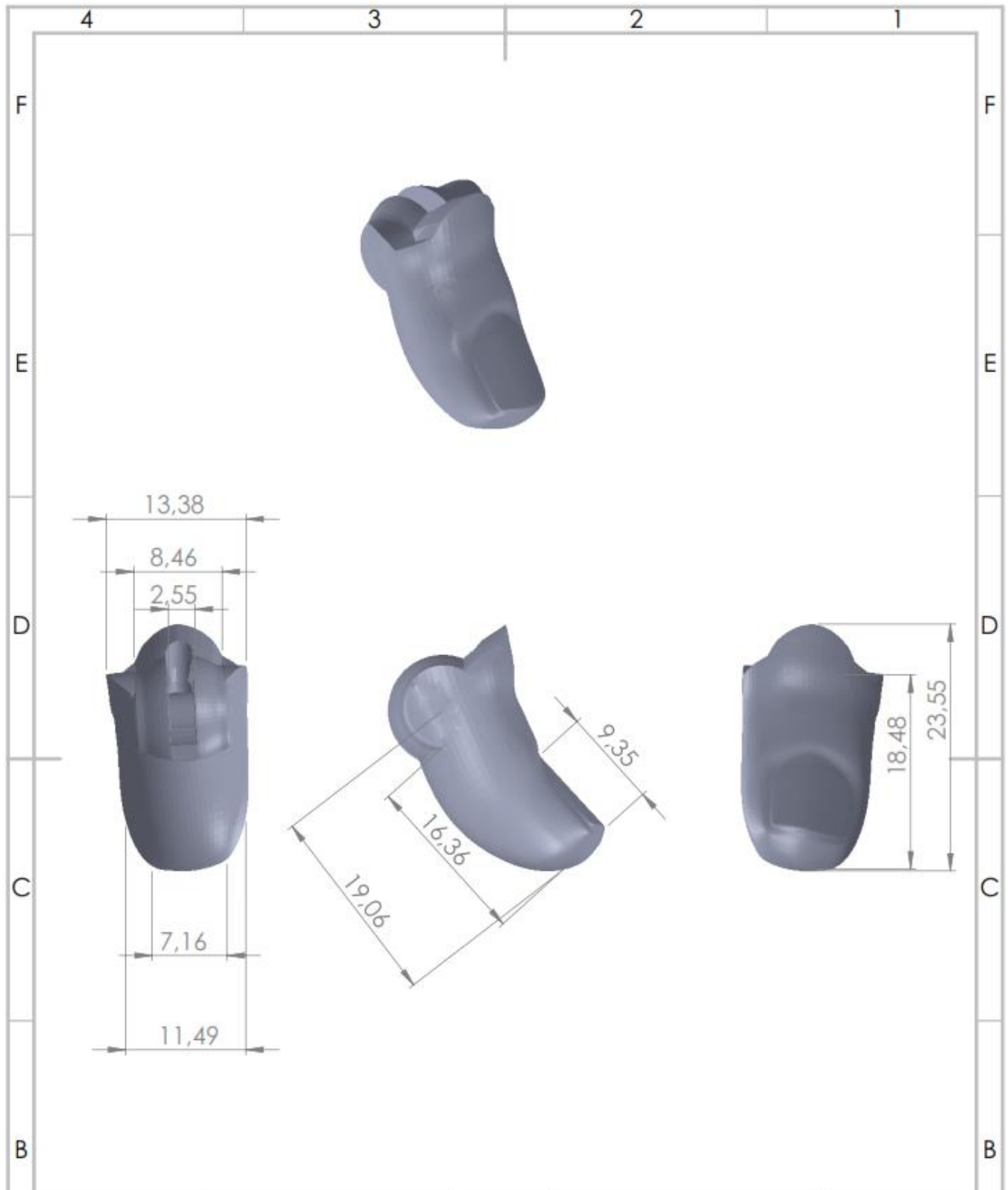
1



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
				Autor : <b>Ulices Cedillo</b>	
				TÍTULO: <b>Protesis Pulgar</b>	
 <b>Ingeniería Industrial</b>			MATERIAL: Plastico PLA	ANEXO. 3	
			PESO: 2 Gramos	ESCALA: 2:1	HOJA 1 DE 1

A

A



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:  
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM  
 ACABADO SUPERFICIAL:  
 TOLERANCIAS:  
 LINEAL:  
 ANGULAR:

REBARBAR Y  
 ROMPER ARISTAS  
 VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

Autor : **Ulices Cedillo**

TÍTULO:  
**PULGAR**

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	Cedillo, U		14/01/2017
VERIF.			
APROB.			



MATERIAL:  
 Plástico PLA

PESO: 2 Gramos

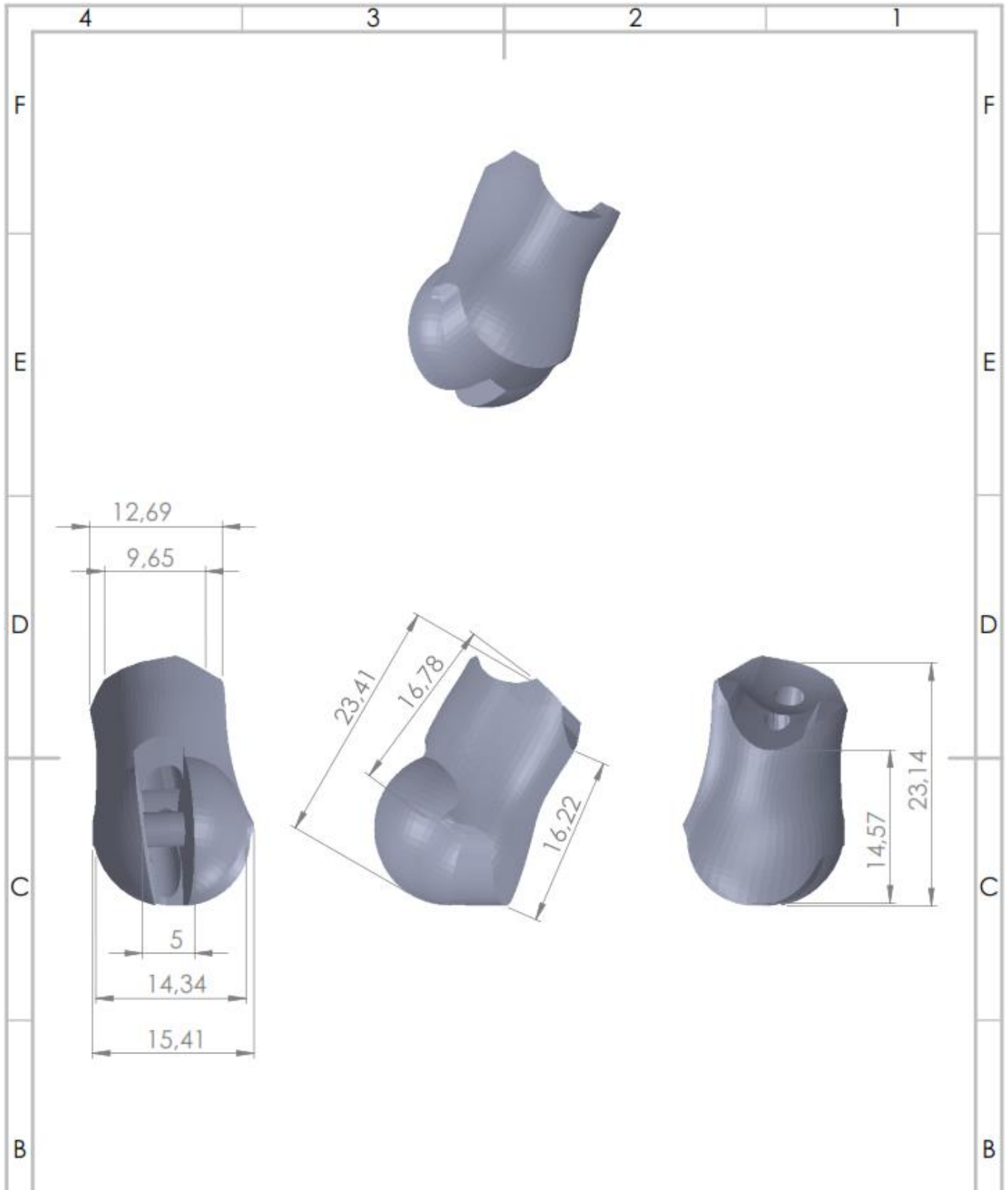
ANEXO. 4

ESCALA: 2:1

HOJA 1 DE 1

A4





SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:  
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM  
 ACABADO SUPERFICIAL:  
 TOLERANCIAS:  
 LINEAL:  
 ANGULAR:

REBARBAR Y  
 ROMPER ARISTAS  
 VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

Autor :

**Ulices Cedillo**

TÍTULO:

**FALANGE**

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	Cedillo . U		14/01/2017
VERIF.			
APROB.			

A



**Ingeniería Industrial**

MATERIAL:

Plastico PLA

ANEXO . 4

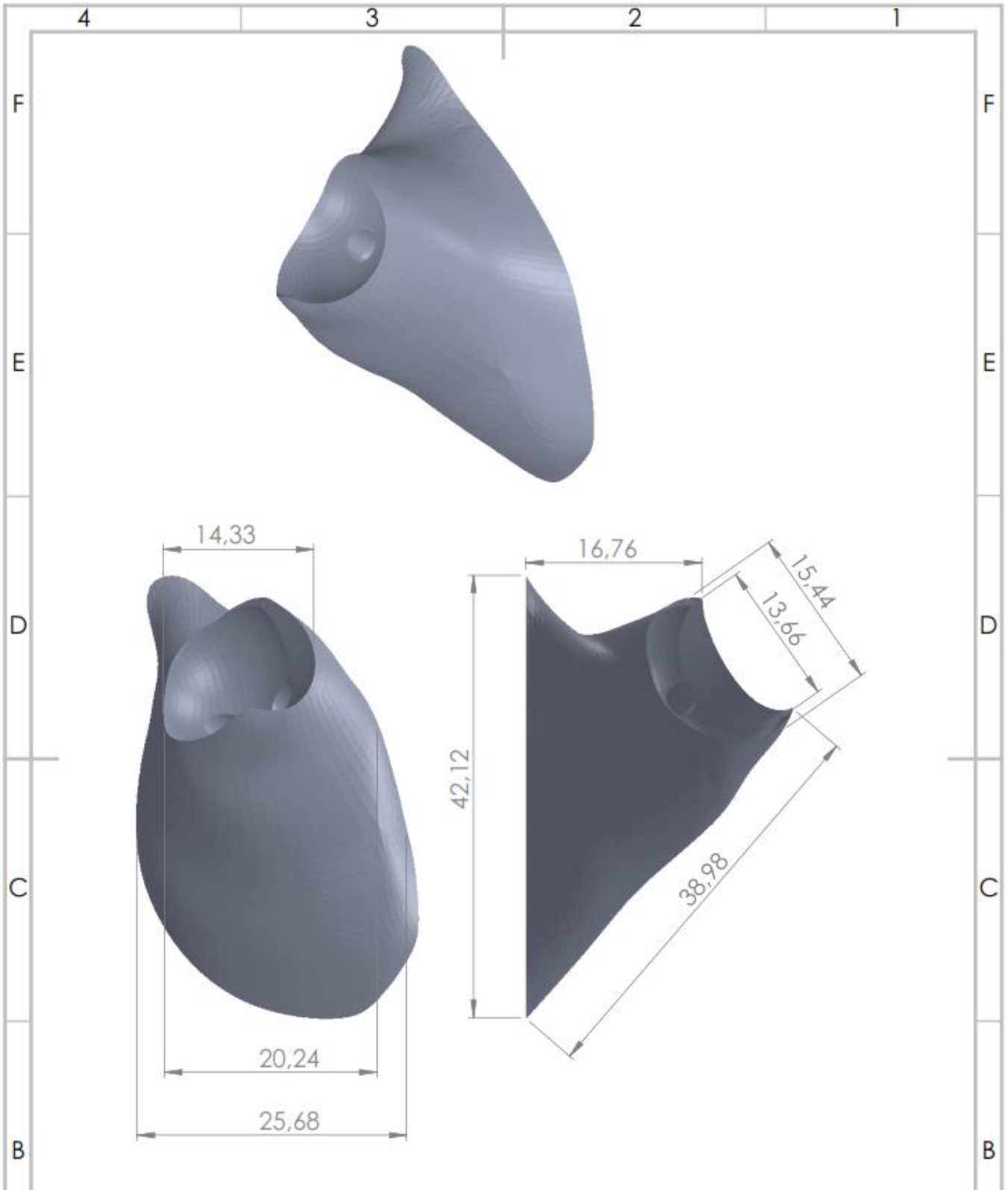
A4

PESO: 2 Gramos

ESCALA:2:1

HOJA 1 DE 1

A



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
			Autor : <b>Ulices Cedillo</b>		
			TÍTULO: <b>METACARPIO</b>		
 <b>Ingeniería Industrial</b>			MATERIAL: Plástico PLA		ANEXO. 4
			PESO: 2 Gramos		ESCALA:1:1
					HOJA 1 DE 1

A

A

B

B

C

C

D

D

E

E

F

F

4

3

2

1

4

3

2

1